



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DEL FLUORURO DEL AGUA DE POZO PROFUNDO DE PRADOS LA ENCRUCIJADA

Tutor Académico:

Prof. Leyda Escalona

Tutor Industrial:

Ing. Iris Merentes

Autores:

García Germán

Piñero Alexander

Valencia, Noviembre del 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DEL FLUORURO DEL AGUA DE POZO
PROFUNDO DE PADRADOS LA ENCRUCIJADA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
Presentado a la Universidad de Carabobo como requisito
para optar al título de Ingeniero Químico**

AUTORES

**Alexander Jesús Piñero Colmenares
Germán Efraín García Domínguez**

Valencia, Noviembre 2008

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: “PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DEL FLUORURO DEL AGUA DE POZO PROFUNDO DE PADRADOS LA ENCRUCIJADA”, realizado por los bachilleres García D. Germán E., C.I. 15.532.513 y Piñero C. Alexander J., C.I. 14.491.048, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

**Prof.(a) Leyda Escalona
Presidente**

**Prof.(a) Olga Martínez
Jurado**

**Prof.(a) Pablo Baricelli
Jurado**

Valencia, Noviembre de 2008



DEDICATORIA

A mi **Dios**, el todo poderoso, quien me creó y se mantiene fiel conmigo a pesar de mis grandes fallas. Quien por su gran amor dio su vida por mí y me dio el regalo de la salvación y vida eterna. Por ser el dador de la sabiduría el cual en su gran misericordia durante este largo camino me dio entendimiento para poder lograr esta gran meta. A él, el más alto honor de los todos los honores.

A mis padres, **Esther Domínguez de García y Marcos Gonzalo García Rojas**, quienes me han apoyado durante toda mi vida en metas, éxitos, fracasos y sueños. Uno de ellos hecho hoy día realidad como es la culminación de mi carrera. Han sido los pilares fundamentales para poder llevar a feliz término este hermoso sueño. También porque son las personas que lo han dado todo para que salga adelante como profesional, y con este triunfo les obsequio una pequeña parte de la recompensa que tanto se merecen.

A mis hermanos, **Yamileth y Marcos**, que aunque en ciertas ocasiones se han manifestado diferencias, me han apoyado mucho a lo largo de mi carrera. Mi hermana Yamileth, dándome recursos tanto económicos como morales, ha sido la que mayor ayuda me ha brindado a pesar de vivir en otro país (Estados Unidos).

A mi linda novia, **Yeliz Ester Roa Viera**, uno de los mas preciados regalos de Dios a mi vida, que ha estado conmigo en esta última etapa de mi carrera apoyándome incondicionalmente, llego a mi vida para darme la estabilidad sentimental que le faltaba a mi vida, convirtiéndose en mi ayuda idónea y bajo la bendición de Dios mi futura esposa.

“TE AMO MI PRINCESA MAS HERMOSA DEL UNIVERSO”.



***“Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría,
Y que obtiene la inteligencia;
Porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata,
Y sus frutos más que el oro fino.
Más preciosa es que las piedras preciosas;
Y todo lo que puedes desear, no se puede comparar a ella”.***

Proverbios 3:14-16

Santa Biblia

Germán García (El You)



DEDICATORIA

DEDICATORIA

a Dios y a todos lo que me apoyaron en el transcurso de mi carrera, mis padres, mi novia, tíos, hermanos, amigos y compañeros de clase a todos ellos va dedicado todo mi esfuerzo.

Piñero Alexander (El greñas)



AGRADECIMIENTOS

A Dios, sobre todas las cosas, su gran misericordia y amor me mantienen vivo.

A mis padres, por apoyarme, formarme y criarme todos estos años de vida, gracias a ellos he logrado muchas metas y proyectos y por hacerme sentir que todo es posible mientras haya vida y salud, los amo muchísimo.

A mi novia, Yeliz Roa por ayudarme y estar conmigo en los momentos difíciles.

A mis suegros y pastores Raúl Roa y Yelis Elena Viera de Roa, quienes han sido una columna espiritual la cual me ha sustentado y llenado de fuerzas de parte de Dios para no flaquear en esta última jornada como lo es la presentación de este proyecto de grado.

A la profesora Leyda Escalona (Tutora Académica), por su paciencia y vocación para guiarnos y ayudarnos a organizar todas nuestras ideas y así darle la debida forma a lo que resulto un excelente trabajo.

A la ingeniera Iris Merentes (Tutora Industrial) por su excelente colaboración en las adyacencias de Hidrocentro-Cagua.

Al profesor Tony Espinosa (Jurado) por darnos el privilegio de orientarnos de una manera espontanea y profesional en la realización de este proyecto.

A la profesora Olga Martínez (Directora de la Escuela de Química) por abrirnos las puertas y llenarnos de esperanzas y oportunidades cuando se pensaba que toda posibilidad de culminar este proyecto era nula y cada esfuerzo era en vano.



AGRADECIMIENTOS

Al personal de Hidrocentro Cagua y Guacara por su colaboración a la hora de prestarnos asesoría técnica y disponibilidad de los laboratorios donde se realizaron los debidos ensayos y pruebas.

A las secretarias de la escuela de química, Trina, Leida y especialmente Mary por todas las atenciones e informaciones necesarias para el debido protocolo del trabajo especial de grado.

A la secretaria de control de estudios Marilyn y a la secretaria del Director de DICES Carmencita, por brindarnos una mano desinteresada y apoyarnos de una manera solidaria y cariñosa. Por brindarnos seguridad de que todo iba a salir conforme a lo esperado.

A todos aquellos Profesores de la Escuela de Ingeniería Química y en general de la Facultad, quienes me orientaron en algún momento de la carrera en alguna materia concediéndome su ayuda incondicional con paciencia y dedicación, transmitiéndome así sus conocimientos.

A mi gran compañero de tesis Alexander Piñero, que a pesar que pasamos todo tipo de trabajo e incomodidades en conseguir información y ayuda para la realización de la tesis, estuvimos con actitud positiva ante las adversidades y trabajando fuertemente juntos hasta lograr nuestro objetivo.

A todos aquellos que estuvieron a mi lado apoyándome en el transcurso de este arduo camino. Ángel Aponte(Mao), Alexander (Alexeis), Alejandro Imre (Presidente centro de estudiantes de química), Douglas Alvares(Eirer), Víctor Garsva, Lupita, Raulito, Anllelis, Morocho, Jesús Roque (Portu), Miguel Díaz, Daniel Roque, Arnaldo, Enrique, Pedrito, Tía Rut y muchos otros quienes quizás no se nombren aquí, pero igual representaron un gran incentivo para lograr este propósito.



AGRADECIMIENTOS

A todos ustedes muchas gracias.

García Germán (El You)



AGRADECIMIENTOS

A Dios sobre todas las cosas por darme amor, vida y salud.

A mis padres, **Blanca Colmenares** y **Ramón Piñero** por darme su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por sus consejos que me han ayudado en el transcurso de mi camino para desarrollar y madurar mi personalidad si no fuese por ellos no hubiera logrado esta meta que me propuse. Gracias de verdad los amo

A mis hermanos, **Peggy Diorich**, **Aneory Salazar** y **Andreina Piñero** por apoyarme cada uno a su manera los quiero.

A mis primos, **Germán Gonzales (el gordo)** y **Norman Gonzales (catire)** porque en el transcurso de mi carrera me han apoyado moralmente y económicamente a ellos le debo muchas gracias primos los quiero.

A mis amigos y compañeros de clases, **Víctor Garsva**, **Rúi Cordero**, **Inre Alberti**, **Modesto Guzmán**, **Omar Maklad**, **Pedro ase**, **Douglas Alv Lezpe**, **Armando Roo**, **Miguel Díaz**, **Jesús Zambrano**, **Katiusca Talero**, **Junaika**, **Valeria**, **Eduardo coll**, por regalarme la bonitas experiencias que existieron durante mi vida y mi carrera.

A mi compañero de trabajo de grado, **Germán García (you)** por aceptar ser su compañero de tesis, acompañarme y apoyarme durante el desarrollo de esta investigación.

A las secretarias de la escuela de química, **Trina**, **Leida** y especialmente **Mary** por todas las atenciones e informaciones necesarias para el debido protocolo del trabajo especial de grado.

A la secretaria de control de estudios **Marilin** y a la secretaria del Director de DICES **Carmensita**, por brindarnos una mano desinteresada y apoyarnos de una manera solidaria y cariñosa. Por brindarnos seguridad de que todo iba a salir conforme a lo esperado.



AGRADECIMIENTOS

A mi novia, **Vanesa Chacón (juanita)** por darme el regalo más grande que he recibido que es el de aprender amar a alguien y por apoyarme en los momentos difíciles.

Piñero Alexander (El Greñas)



SUMARIO

El siguiente trabajo especial de grado tiene como objetivo general proponer una técnica para la disminución del fluoruro con la ayuda de la Compañía Hidrológica del Centro para ser aplicado en la planta de potabilización Prados La Encrucijada ubicada en la Urbanización de dicho nombre en la ciudad de Cagua estado Aragua, con la finalidad de suministrar a la población un agua de excelente calidad y que sea apta para el consumo humano.

Para cumplir con los objetivos planteados se toman como parámetros de interés aquellos que permitan conocer las características fisicoquímicas del agua. Entre los cuales se encuentran: color aparente, turbiedad, temperatura, pH, fluoruros, sulfatos, fluoruros, aluminio, hierro total, manganeso, nitritos, nitratos, minerales disueltos, cloro residual, calcio, magnesio, sulfuro, sílice, sodio+potasio, dióxido de carbono, cobre, dureza total, alcalinidad total y fosfatos. La caracterización y análisis de las muestras de agua se realizan en los laboratorios de Hidrocentro, contando con la colaboración del personal que allí labora.

A partir de los resultados obtenidos por los análisis, así como las mediciones realizadas en la planta y empleando matrices con criterio integrado, se propone la alternativa para el tratamiento de la disminución de fluoruros en el proceso de potabilización. Para la propuesta se documentan las acciones a tomar para implementarlas; además de calcular la relación de costo beneficio a la misma.

Entre los resultados más significativos se tienen que la mejor alternativa es el proceso de electrocoagulación, debido a que el mismo además de ser muy eficaz en la reducción del fluoruro, requiere escaso mantenimiento y no necesita adición de reactivos químicos, produciéndose poca cantidad de lodos.

La fuente de suministro de agua potable tiene concentración de flúor de 1,94 mg/L; la cuál excede el nivel máximo permitido por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua



Potable establecidas en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, que en su artículo 14, establece que la máxima concentración para el flúor es de 0,8 mg/L. Una planta piloto fue diseñada, compuesta por: unidad de electrocoagulación que utiliza placas de aluminio, un sedimentador de placas inclinadas, filtro prensa, bomba y accesorios para tratar un caudal de 6 LPM. Diferentes pruebas se realizaron con el equipo de electrocoagulación obteniéndose hasta un 85% en la reducción de flúor del agua de pozo en estudio, lográndose una disminución de 1,94 mg/L a 0,3 mg/L.

Para el implemento de la propuesta, una vez sumados los valores o presupuestos solicitados anteriormente (referidos a los equipos y accesorios) y de los costos de mano de obra, se prevé una inversión inicial de **105.431 Bs.F**, sin considerar las posibles modificaciones o cambios en la estabilidad económica a nivel nacional e internacional.

Se debe diseñar y construir un equipo de electrocoagulación de mayor capacidad para realizar pruebas de disminución de flúor en agua subterránea y así tener una idea más clara de su funcionamiento cuando trate volúmenes mayores, ya que los pozos construidos en la zona y otras localidades tiene capacidades mayores de 6 LPM. Se recomienda que el tratamiento sea por módulos.

**ÍNDICE GENERAL**

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	5
1.2.1. Situación actual.	5
1.2.2. Situación deseada.	6
1.3. OBJETIVOS.	6
1.3.1. Objetivos específicos.	6
1.4. JUSTIFICACIÓN.	7
1.5. LIMITACIONES.	8
 CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.	
2.1. ANTECEDENTES.	9
2.2. BASES TEÓRICAS.	14
2.2.1 PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL AGUA	14
2.2.2 MATRIZ DE COMPARACIÓN	20
2.2.3 EL FLÚOR	20
2.2.3.1 El flúor en el agua	20
2.2.3.2 Efectos perjudiciales del fluoruro	20
2.2.3.3 Fluorosis mundial	21
2.2.4 TECNOLOGÍAS DE REMOCIÓN	22
2.2.5 MATRIZ DE SELECCIÓN	38
2.2.6 BOMBA CENTRÍFUGA	38
2.2.6 INVERSIÓN INICIAL	39
 CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
3.1 Proceso de potabilización (Remoción de fluoruro)	40
3.1.1 Obtención del agua cruda	40



	Pág.
3.1.2 tratamiento	40
3.1.3 Etapas del proceso de tratamiento anteriormente utilizado	41
 CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO	
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
4.2. FASE DE DIAGNOSTICO	47
4.2.1 Caracterizar el agua cruda actual por medio de análisis físicoquímicos en el laboratorio, con el propósito de conocer la concentración del fluoruro	47
4.2.2 Evaluar las diferentes unidades encargadas del proceso de potabilización convencional, antes de suspender el funcionamiento de la planta, con el propósito de conocer si las unidades cumplían con las condiciones de diseño.	51
4.3 FASE DE ANÁLISIS	52
4.4 FASE DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	54
4.4.1 Proponer alternativas de tratamiento para la disminución de fluoruro, con la finalidad de escoger la alternativa que más se adecúe a los criterios técnicos.	54
4.5 FASE DE DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA	58
4.5.1 Desarrollar la propuesta seleccionada, con la finalidad de ejecutar la alternativa planteada para la solución de la problemática actual.	58
4.6 FASE DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA	61
4.6.1 Realizar un estudio de costos de la inversión inicial de la técnica seleccionada, con el fin de implementar la misma.	61
 CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA	
5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA	62
 CAPITULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA	
6.1 GENERACION DE ALTERNATIVAS	73



	Pág.
6.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	74
6.3 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	79
6.3.1 UNIDADES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO	79
6.3.1.1 Unidad de electrocoagulación	80
6.4 RESULTADOS CON EL TRATAMIENTO DE ELECTROCOAGULACIÓN	83
6.5 INVERSIÓN INICIAL DE LA PROPUESTA DESARROLLADA	87
 CONCLUSIONES	 89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
APÉNDICE A. Cálculos típicos	94
APÉNDICE B. Tablas y figuras Bibliográficas	101
APÉNDICE C. Reportes de análisis de laboratorio	110

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de potabilización del agua Prados La Encrucijada	4
Figura 2.1. Países con áreas endémicas de flúor en el agua subterránea de bebida	22
Figura 2.2 Efectos del pH en la eficiencia de remoción de flúor en: agua destilada desionizada (add), en agua de mar diluida (dam) y en agua geotérmica simulada (ags)	26
Figura 2.3 Sistemas de alúmina activada: flujos esquemáticos de modos de operación	27
Figura 2.4 Planta de precipitación por contacto diseñada y operada en Tanzania	36
Figura 3.1 Diagrama del proceso de potabilización anteriormente utilizado	41
Figura 3.2 Tanque de reacción	42
Figura 3.3 Dimensiones del tanque de reacción en vista de planta	43
Figura 3.4 Dimensiones del tanque de reacción en vista lateral	43
Figura 3.5 Sedimentador	44
Figura 3.6 Unidad de intercambio iónico	45
Figura 3.7 Tanque de distribución	45
Figura 3.8 Lecho de secado	46
Figura 4.1 Parámetros que caracterizan el agua cruda	49
Figura 4.2 Partes de un Diagrama Causa-Efecto	52
Figura 6.1 Diagrama causa-efecto para la potabilización del agua en la planta de tratamiento Prados La Encrucijada	70
Figura 6.1 Planta piloto de electrocoagulación para disminuir flúor de agua subterránea	80
Figura 6.2 Fuente de alimentación utilizada en el proceso de electrocoagulación	81
Figura 6.3 Unidad de sedimentación utilizada en el proceso de electrocoagulación	82



	Pág
Figura 6.4 Lechos de secados empleados para la recolección de lodos	83
Figura B.1 Comportamiento del factor de fricción como una función del número de Reynolds y la Rugosidad Relativa	104
Figura B.2 Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales	109



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Presencia de sales en el agua según la relación entre la alcalinidad total y parcial	16
Tabla 2.2 Efectos del fluoruro en el organismo según su grado de concentración	21
Tabla 4.1 Caracterización del agua subterránea del pozo 3 en la Urbanización Prados La Encrucijada	50
Tabla 4.2 Identificación de las distintas técnicas para la remoción de fluoruro	56
Tabla 4.3 Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente	57
Tabla 4.4 Datos necesarios para la determinación del caudal del agua	61
Tabla 6.1 Identificación de las distintas técnicas para la remoción de fluoruro	74
Tabla 6.2 Matriz de selección de la alternativa de tratamiento más conveniente	76
Tabla 6.3 Determinación del caudal proveniente del pozo profundo de Prados La Encrucijada	79
Tabla 6.4 Composición química del pozo antes y después de tratarse en el equipo de electrocoagulación	86
Tabla 6.5 Densidades de corrientes utilizadas durante la disminución de flúor.	86
Tabla 6.6 Costos aproximados de algunos equipos y accesorios de la propuesta seleccionada	87
Tabla B.1 Componentes relativos a la calidad organolépticos del agua potable	101
Tabla B.2. Componentes inorgánicos	102
Tabla B.3. Valores límites recomendables para el contenido de fluoruro en mg / L	103
Tabla B.4 Valores de longitudes equivalentes y de coeficientes de fricción para varios accesorios fricción	105
Tabla B.5 Resistencias debida a la entrada y salida de tubos	106
Tabla B.6 Propiedades del agua líquida	107
Tabla B.7 Dimensiones, Capacidades y Pesos de tuberías normalizadas de acero	108



INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes y de mayor requerimiento a nivel mundial. El agua potabilizada es enviada directamente al consumo humano, por lo que se debe garantizar que en la misma no exista presencia de sustancias que perjudiquen la salud. Por esta razón, surge la presente investigación con la finalidad de estudiar los diferentes procesos encargados para la disminución de fluoruros para logra tal fin; además de analizar las variables que influyen en el proceso.

En la ciudad de Cagua existen fuentes de suministro de agua potable con concentraciones de flúor que excede el nivel máximo permitido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecidas en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, que en su artículo 14, establece que la máxima concentración para el flúor es de 0,8 mg/L. La mayoría del agua potable que se suministra a la ciudad de Cagua es agua subterránea la cual es dependiente de los estratos litológicos. Investigaciones realizadas han demostrado que la presencia de flúor en agua subterránea provoca: dientes coloreados, veteados y fluorosis ósea (Seppa et al., 1998).

El flúor (F), número atómico 9 y peso atómico 19,0, es un elemento no metálico. El flúor es el primer miembro del grupo VII del sistema periódico por lo que tiene la valencia de -1 . Desde el punto de vista químico es sumamente activo, no se presenta en estado libre en la naturaleza, sino en combinación en la superficie de la tierra. Los minerales de flúor más importantes son fluorita o espato flúor, criolita (Na_3AlF_6), apatito, topacio [$\text{Na}_5(\text{Al}_3\text{F}_{14})$]. (Diesendorf et al., 1997; Sienko et al., 1965).

A través del tiempo se han utilizado distintos métodos de tratamiento para la disminución la presencia de flúor en agua subterránea tales como: precipitación química, intercambio iónico, adsorción utilizando alúmina activada, ósmosis inversa, así como electrocoagulación. Este último es el objeto de nuestra investigación.

La electrocoagulación utiliza una corriente eléctrica a través de electrodos (hierro,



aluminio o cadmio) produciendo iones positivos. Estos iones nulifican las cargas iónicas presentes en los contaminantes.

Una vez neutralizadas las cargas iónicas, se obtienen compuestos eléctricamente estables que, obedeciendo a las fuerzas de Van der Waals, comienzan a atraerse entre sí. Esto genera partículas cada vez más grandes, que por diferencia de densidades tienden a flotar o por gravedad se precipitan, haciendo posible su remoción por precipitación y/o filtrado.

El presente trabajo está conformado básicamente de seis (6) capítulos, los cuales se describen a continuación: capítulo 1, Planteamiento del Problema, conformados por la situación actual, la situación deseada y justificación de la investigación, así como también los objetivos planteados. El capítulo 2, Marco Teórico, en el cual se presentan los antecedentes y las bases teóricas que sustentan la investigación. El capítulo 3, Descripción del Proceso, donde se detallan las unidades y el proceso de la planta de tratamiento cuando se encontraba operativa. El capítulo 4, Marco Metodológico, se presenta la descripción metodología para desarrollar los objetivos planteados en la investigación. El capítulo 5, Análisis del Sistema, contempla el diagnóstico de la situación actual y el análisis de las variables que intervienen en el sistema de tratamiento. El Capítulo 6, Selección y Desarrollo de la propuesta, se presenta los resultados más relevantes en cuanto a la selección y desarrollo de la mejor alternativa, así como también el estudio de su factibilidad económica. Adicionalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografías y finalmente, los apéndices que sustentan algunos resultados obtenidos como la factibilidad económica de la propuesta.

Esta investigación es de gran importancia para Hidrocentro y principalmente para la comunidad de Prados La Encrucijada, ya que aporta soluciones para el desarrollo de una extraordinaria alternativa en la disminución de fluoruro, lo que refleja una ayuda a la empresa a cumplir con el compromiso que se plantea tanto con este sector de consumo, como de otras posibles localidades que pueden estar padeciendo una problemática similar.



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de esta sección se presenta una reseña de la problemática en estudio mediante la descripción del problema y la presentación de la situación actual y deseada. Además se muestra una serie de razones que justifica la realización de la investigación, los objetivos que la misma persigue y una serie de antecedentes que dan un aporte muy importante para el desarrollo y alcance de los objetivos planteados.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El pozo profundo para la extracción de agua potable Prados La Encrucijada se encuentra ubicado al sur del estado Aragua específicamente en la ciudad de Cagua. Dicho pozo es empleado por los pobladores de la Urbanización Prados La Encrucijada para el suministro de agua potable a la comunidad, pero este posee grandes concentraciones de fluoruro por lo cual se vieron en la necesidad de colocar una planta de tratamiento donde la misma no logró solucionar el problema por lo que fue sacada de servicio, debido a la ineficiencia del operador, falta de mantenimiento y que además solo lograba disminuir un pequeño porcentaje de concentración de fluoruro y alteraba otros parámetros como por ejemplo el aumento de la basicidad entre otros.

La planta que se dedicaba al tratamiento del agua cruda es de tipo convencional, consta de tres unidades rectangulares donde; la primera funciona como tanque de reacción, en esta se le adicionaba hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) con el propósito de reducir la alta concentración de fluoruro, el agua es bombeada a esta unidad mediante tres bombas; la segunda funciona como sedimentador donde se separa el carbonato de calcio (CaCO_3) precipitando el agua ablandada o con dureza reducida, el carbonato en forma de lodo se extrae por el fondo y va a los lechos de secado; y la tercera unidad mucho más pequeña posee un intercambiador iónico.

Finalmente se procedía a realizar análisis físico-químicos parciales del agua potabilizada, en el cual se evaluaban los siguientes parámetros: pH, color, turbidez, y la



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

concentración de fluoruro a la salida. Una vez realizado el análisis, el agua era transportada al tanque de distribución para su posterior suministro.

Actualmente, la población Prados La Encrucijada está constituida por 10.000 habitantes, lo que ha sufrido un incremento de la misma, abasteciéndose cerca de un 80% de la población, por lo tanto se requiere mejorar la calidad del agua, por eso es necesario disminuir la concentración de fluoruro ya que esta acarrea enfermedades que son perjudiciales para la salud de los pobladores de dicha zona.

En la figura 1.1 se puede apreciar cómo está estructurada la planta de tratamiento, la cual funcionaba como alternativa para la disminución del fluoruro aplicando la técnica de adición con cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

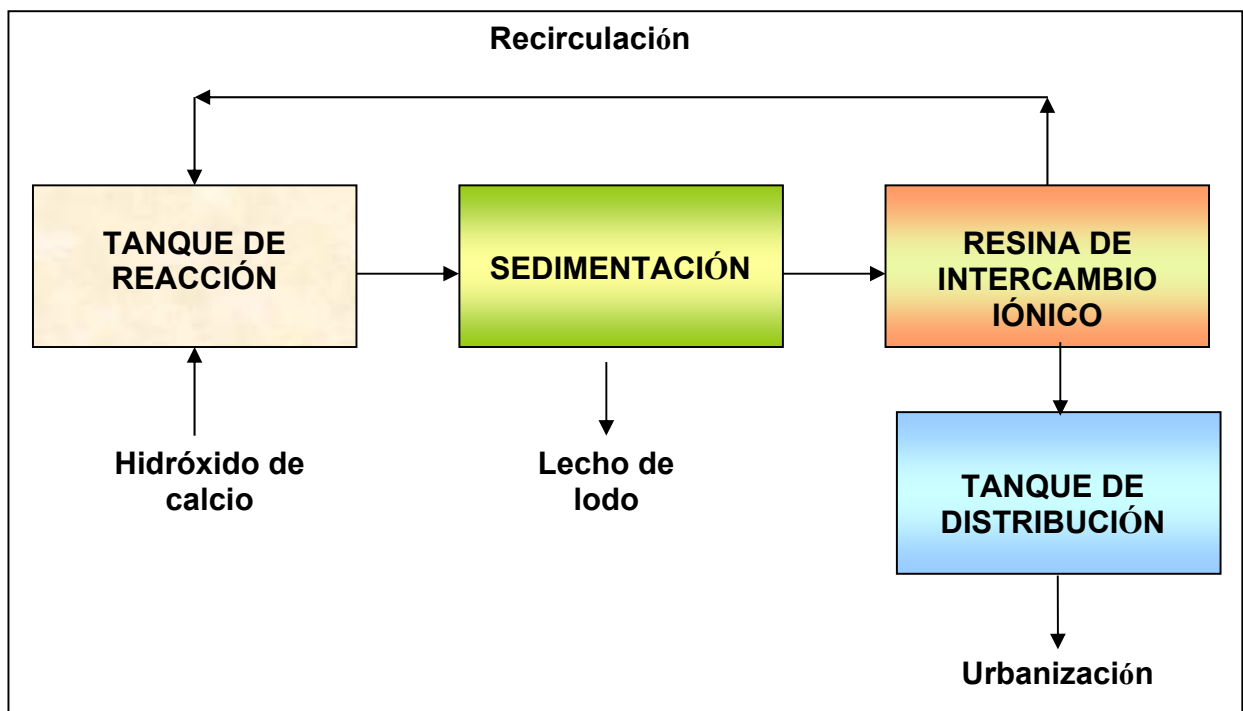


Figura 1.1 Diagrama de bloques del proceso de potabilización del agua Prados La Encrucijada



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El propósito del trabajo es lograr reducir el alto contenido de fluoruro presente en el agua de pozo profundo de Prados La Encrucijada a través de un tratamiento efectivo que garantice la disminución de este parámetro, cumpliendo así con las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecida en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, en su Artículo 14, y de esta manera suministrar a la población un agua de excelente calidad que sea apta para el consumo humano.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en la comunidad de Prados La Encrucijada se encuentra tres pozos de las cuales el primero está operativo, el segundo no está en funcionamiento y el tercero posee una planta de tratamiento. Dicha planta se encuentra totalmente paralizada, ya que al tratar el agua no cumple con los requerimientos exigidos por la especificaciones de la Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecida en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, en su Artículo 14, la misma contiene altas concentraciones de fluoruro y otros compuestos que se salen de los parámetros permitidos por la misma gaceta, anteriormente se utilizaba un procedimiento ineficiente lo cual no ayudaba a mantener las concentraciones en el rango establecido, es por eso que se plantea otras alternativas para el mejoramiento de la calidad del agua.

1.2.1 Situación actual:

En la actualidad a la población de Prados La Encrucijada se le está suministrado agua con alto contenido de fluoruro sin ningún tipo de tratamiento, ya que la planta de potabilización Prados La Encrucijada se encuentra paralizada debido a que esta no disminuía la concentración de fluoruro, por lo tanto no cumplía con las especificaciones de la Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecida en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, en su Artículo 14 y además presenta un alto grado de deterioro en todas sus unidades.



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.2 Situación deseada:

Los pobladores de la Urbanización Prados La Encrucijada necesitan la disminución del fluoruro en el agua de pozo profundo, ya que esta le acarrea problemas de salud como por ejemplo la fluorosis dental, de este modo se enfocará el estudio en la evaluación del agua cruda proveniente del pozo y con ayuda de la Compañía Hidrológica Del Centro (HIDROCENTRO) a través de sus laboratorios proponer la alternativa de tratamiento más factible para la disminución del fluoruro. El tratamiento a emplear debe garantizar la calidad del agua potable para el consumo de los pobladores, cumpliendo así con los requerimientos de las normativas vigentes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Proponer alternativas para la disminución de fluoruro del agua de pozo profundo ubicado en Prados La Encrucijada con el fin de abastecer agua de excelente calidad cumpliendo con los estándares de potabilización exigidos en las normas venezolanas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el agua cruda actual por medio de análisis fisicoquímicos en el laboratorio, con el propósito de conocer la concentración del fluoruro.
2. Evaluar las diferentes unidades encargadas del proceso de potabilización convencional, antes de suspender el funcionamiento de la planta, con el propósito de conocer si las unidades cumplían con las condiciones de diseño.
3. Proponer alternativas de tratamiento para la disminución de fluoruro, con la finalidad de escoger la alternativa que más se adecúe a los criterios técnicos.



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4. Desarrollar la propuesta seleccionada, con la finalidad de ejecutar la alternativa planteada para la solución de la problemática actual.
5. Realizar un estudio de costos de la inversión inicial de la técnica seleccionada, con el fin de implementar la misma.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El agua es imprescindible y totalmente necesaria para la vida, ya que, con ella es posible realizar las funciones vitales, por ello la importancia de su tratamiento. Ésta también es un recurso fundamental para el desarrollo económico, porque está involucrado en diversas actividades: industrias, servicios y agricultura, entre otras. Por lo tanto, el ser humano dispone del agua que hay en la naturaleza para usarla de distinta manera, pero como la misma no puede ser utilizada de forma directa debido a sus características físicas, químicas y biológicas, es necesario hacer unas correcciones y tratamientos que garanticen la eliminación de sustancias o partículas, impurezas y microorganismos contenidos en ella, ya que el agua en mal estado o con sustancias nocivas para el hombre, puede provocar numerosas infecciones que hasta pueden causar la muerte.

Es por eso la importancia del proceso de potabilización de este recurso. El agua debe ser de excelente calidad y por ende cumplir con las especificaciones de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecida en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, en su Artículo 14.

Debido a la importancia que tiene el suministro y la potabilización es necesario seleccionar la mejor alternativa que garantice una buena calidad del agua, ya que se favorecerá a la población de la urbanización Prados La Encrucijada.

Finalmente, es relevante destacar el aporte teórico y metodológico que podría representar el presente trabajo de investigación a través de la generación y aplicación



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

de alternativas que mejoren la eficiencia del proceso de potabilización y que sirva como posible solución para otros problemas con características similares en diferentes localidades.

1.5 LIMITACIONES

Para la realización de este trabajo se tiene como limitación el estudio centrado en la disminución del fluoruro y no en el problema de suministro de agua a la población Prados La Encrucijada.

Otra limitante es la propuesta en forma teórica de las alternativas y no de la implementación física de esta como también la evaluación de la planta para una posible mejora y no la puesta en marcha, adicionalmente la ubicación de los pozos con respecto a los laboratorios es distante y congestionado, dificultando el traslado de las muestras donde se puede ocasionar derrame o contaminación de las mismas.

Por último, la disponibilidad de los materiales y recursos en general, necesarios para establecer la alternativa que mejor se adapte a la solución del problema de esta manera provocar posible retrasos en el cumplimiento de los objetivos.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan algunos antecedentes que proporcionan una ayuda valiosa con el tema en estudio, además de las bases teóricas que fundamentan el presente trabajo.

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 Dib, Lorena y Anna Rodríguez. (2007) **“Propuesta para la disminución del consumo de agua en los sistemas de limpieza en sitio en área de filtración de una empresa cervecera”**. Universidad de Carabobo

Este trabajo tuvo como objetivo general proponer alternativas para disminuir el consumo de agua de limpieza en sitio (CIP) en el área de filtración con la finalidad de reducir los gastos de agua en el proceso de producción de cerveza, con el fin de generar alternativas para la disminución del consumo de agua.

La conclusión más importante es que mediante la aplicación de una matriz de selección y el análisis de los parámetros establecidos, se obtuvo que la alternativa seleccionada fué el dimensionamiento de un tanque de almacenamiento de agua recuperada, en conjunto con el establecimiento de un método operatorio.

El aporte de este trabajo es la utilización de distintas herramientas para la búsqueda de distintas alternativas y la selección de las mismas este último por una matriz de selección. La diferencia de este trabajo está basado en la disminución del consumo de agua en los sistemas de limpieza, mientras que el propuesto es la disminución de la concentración de fluoruro del agua.

2.1.2. Sánchez, María. (2005) **“Uso Racional y control de la contaminación en las industrias alimentaria, en el Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Córdoba.”** España.



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En esta sección se presenta una breve descripción del proceso de potabilización del agua así como también se indica el funcionamiento y especificaciones de los equipos que conforman el sistema de tratamiento en la Urbanización Prados La Encrucijada.

3.1 Proceso de potabilización (Remoción de fluoruro)

3.1.1 Obtención del agua cruda

Es el proceso de captación de la fuente de abastecimiento de agua, donde se utiliza un acueducto que es abastecido por tres afluentes subterráneos (Pozo n°1, Pozo n°2 y el Pozo n°3). Para la escogencia de los mismos se toman en cuenta características esenciales para garantizar un buen servicio de suministro de agua entre la cuales se encuentran: seguridad de abastecimiento, calidad, costo de operación y construcción. La planta potabilizadora Prado La Encrucijada cuenta con un una sola fuente la cual es el Pozo n°3.

3.1.2 Tratamiento

Es el proceso en que se produce la transformación del agua cruda en agua apta para el consumo humano. La planta es de tipo convencional (ver figura 3.1), consta de tres unidades para el proceso de tratamiento y dos adicionales donde no se realiza ningún tratamiento. Las tres primeras una de reacción, la siguiente de sedimentación, posteriormente una de intercambio iónico; las dos unidades adicionales funcionan en forma separada, una es el tanque de distribución para surtir el agua a la comunidad y la otra de lechos de secado proveniente del tanque sedimentador. El principal objetivo es lograr la remoción de fluoruros de manera eficaz para que el agua ya tratada tenga las condiciones aptas para el suministro a la población.



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

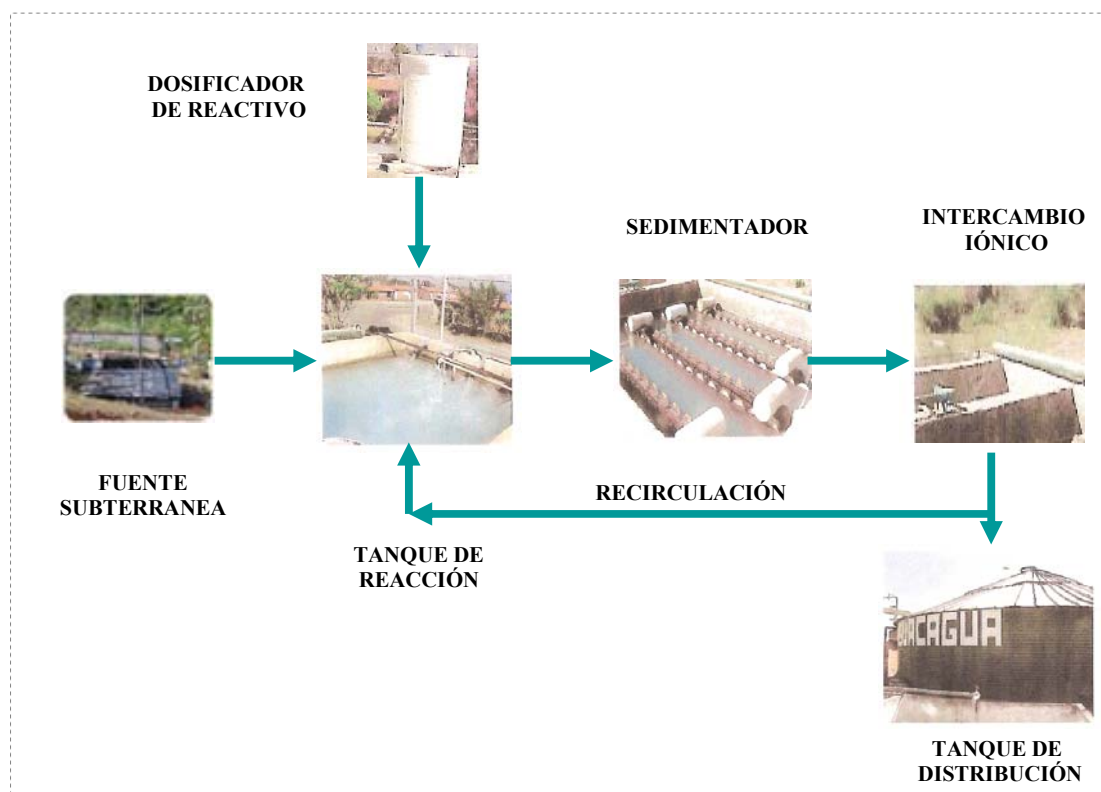


Figura 3.1 Diagrama del proceso de potabilización anteriormente utilizado.

3.1.3 Etapas del proceso de tratamiento anteriormente utilizado

- **Unidad de reacción y sedimentación**

El proceso de coagulación-floculación que se realizaba en la planta de tratamiento Prados La Encrucijada tenía como finalidad principal disminuir el contenido de fluoruro en el agua cruda.

Las unidades de coagulación y floculación están constituidas por dos zonas o dos tanques, uno de reacción y el otro de sedimentación.

- **El tanque de reacción o primera zona**

Donde se aplicaban las sustancias químicas: dióxido de carbono, hidróxido de calcio e



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

hipoclorito de sodio y se llevaba a cabo ambas etapas a la vez la coagulación y la floculación, la mezcla de las sustancias químicas era por medio manual, es decir no existía algún tipo de automatización del sistema, sencillamente se adicionaban los reactivos en un dosificador y luego mediante la manipulación de una válvula se añadía al tanque de reacción sin ninguna exactitud o intervalo de tiempo.

La unidad de reacción, (ver figura 3.2) de 2,40 m de ancho; 3,00 m de largo y profundidad variable entre 2,45 m para 1,87 m en trayectoria lineal y de forma inclinada 2,45 m hasta 0,66 m para el resto de longitud del tanque, tiene de esta forma una capacidad aproximada de 15,20 m³ en retención de líquido. En la figura 3.3 se observa las dimensiones del tanque de reacción en vista de planta y en la figura 3.4 la vista lateral.



Figura 3.2 Tanque de reacción



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

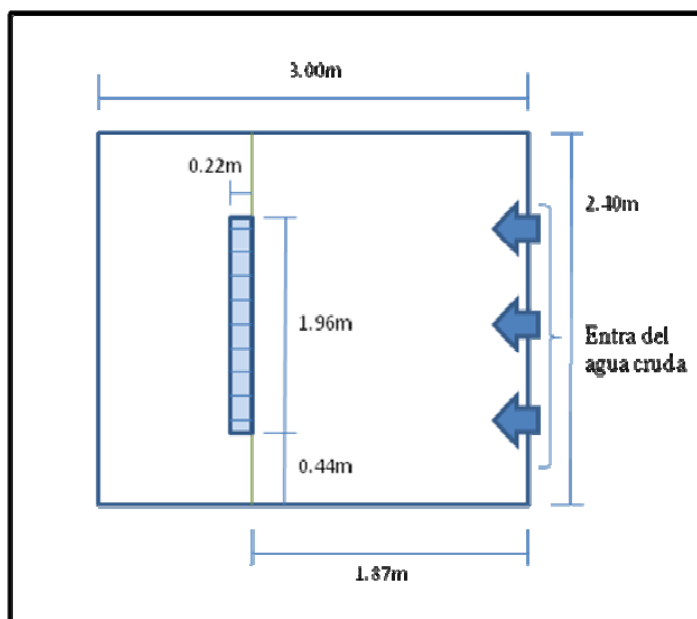


Figura 3.3 Dimensiones del tanque de reacción en vista de planta

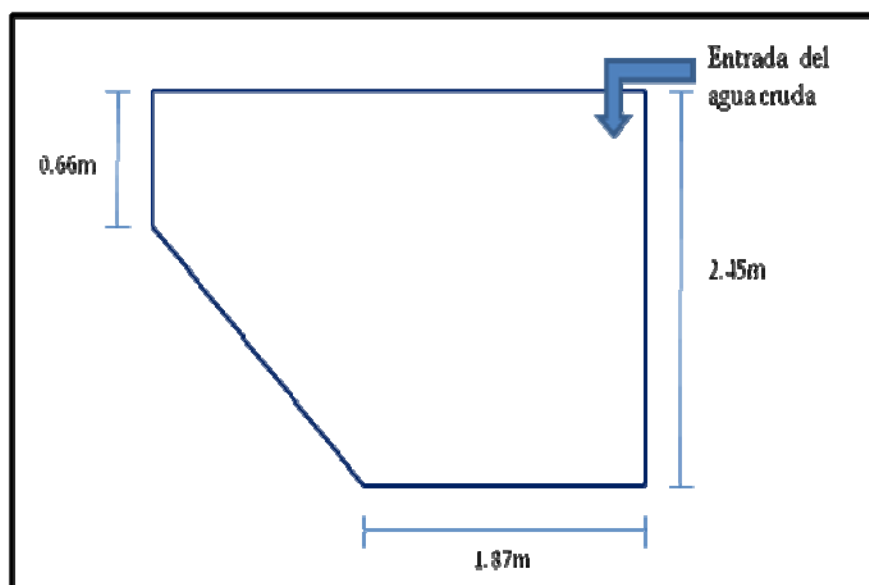


Figura 3.4 Dimensiones del tanque de reacción en vista lateral

▪ El tanque de sedimentación

Es la segunda zona, ubicada seguidamente al lado de la primera zona, lo cual se encuentra conectada con el tanque de reacción por medio de un orificio rectangular



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

ubicado en su parte inferior, está constituida por una serie de placas de fibra de vidrio colocadas con un cierto grado de inclinación dentro de la unidad, la superficie inferior es cónica y es donde se depositan los lodos químicos producto de las reacciones y del exceso de reactivos. (Ver figura 3.5)



Figura 3.5 Sedimentador

▪ Unidad de intercambio iónico

Es la última unidad del proceso, posee una resina de intercambio iónico con la finalidad de realizar una adsorción con fosfato tricálcico en forma de Apatito sintético ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2$), en el que los $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es reemplazado por el flúor para dar el hidroxiapatito insoluble, que puede regenerarse indefinidamente con soda, que transforma el fluorapatito en hidroxiapatito. El apatito sintético se obtiene de una mezcla controlada de cal y ácido fosfórico. El intercambiador posee un diámetro de 0,12 m, altura de 2,00 m y un caudal de servicio de 12 L/s. (ver figura 3.6)



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO



Figura 3.6 Unidad de intercambio iónico

- **Unidad de distribución**

La unidad o tanque de distribución es la última zona donde llega el agua tratada para su posterior envío a la comunidad, la misma es de forma cilíndrica, 10,00 m de diámetro y 3,00 m de altura con una capacidad para la retención de líquido de aproximadamente 235 m³. En la figura 3.7 se puede observar la geometría del tanque de distribución.



Figura 3.7 Tanque de distribución



CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

▪ **Unidad lechos de secado**

Es una de las unidades posterior a la evacuación de los lodos provenientes del tanque sedimentador, el lodo se deshidrata en tres tanques rectangulares descubiertos al ambiente cada uno de 3 m largo, 3 m de ancho y 0,80 m de altura, colocados uno al lado de otro (ver figura 3.8). Con la finalidad de depositar los lodos siendo este el método de deshidratación de lodo utilizado, una vez seco, el lodo se retira y desecha.

Estos lodos están formados principalmente por el exceso de cal no reaccionada y de los carbonatos de calcio precipitados.



Figura 3.8 Lecho de secado



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el tipo de investigación y una síntesis secuencial de la metodología seguida para el desarrollo y el cumplimiento de los objetivos propuesto, incluyendo dentro de estos tópicos, las actividades a realizar para dar cumplimiento a cada metodología planteada.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio para la disminución del fluoruro en el pozo profundo de Prados La Encrucijada presenta como finalidad la selección del mejor tratamiento o alternativa para la solución de este problema, es por ello que la investigación llevada a cabo es eminentemente evaluativa, por la implicación de muestreo, selección, medición de las variables, el análisis e interpretación de los datos que se lleva a cabo en el laboratorio como lo son las pruebas específicas y el proceso desarrollado a nivel de prueba. Dentro de este marco el estudio presenta diferentes fases para el cumplimiento de los objetivos:

4.2 Fase de diagnóstico

Esta etapa implica todo los objetivos relacionados con el conocimiento previo del proceso aplicado para la remoción de fluoruro, así como también, la identificación y el planteamiento de la diagnosis sobre la situación actual del sistema.

4.2.1 Caracterizar el agua cruda actual por medio de análisis fisicoquímicos en el laboratorio, con el propósito de conocer la concentración del fluoruro

4.2.1.1 Recolección de muestra del agua cruda

La recolección de muestras se estableció de acuerdo a los métodos normalizados (Standard methods). Las muestras de agua cruda se tomaron como muestra simple o puntual por ser constantes sus características durante un periodo considerable de



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

tiempo. Estas muestras se tomaron en conjuntos con el resto de las muestras a analizar.

Las muestras se recolectaron en envases plásticos previamente esterilizados con una capacidad de 2 L. Cada uno de los envases fueron tapados e identificados con la fecha, hora y punto de captación, luego se enviaron dichas muestras al laboratorio para su posterior análisis.

4.2.1.2 Determinación de los parámetros específicos que influyen en el funcionamiento de la planta.

Todos los parámetros para caracterizar el agua cruda se determinaron en el laboratorio de la compañía Hidrológica del centro (HIDROCENTRO) a manos de los técnicos encargados del mismo, siguiendo las metodologías establecidas en el Método estándar para el Análisis de Aguas Potables (APHA, AWWA y WPCF).

A continuación, en la figura 4.1 se observan los parámetros característicos del agua cruda, determinados por los técnicos del laboratorio de Hidrocentro.

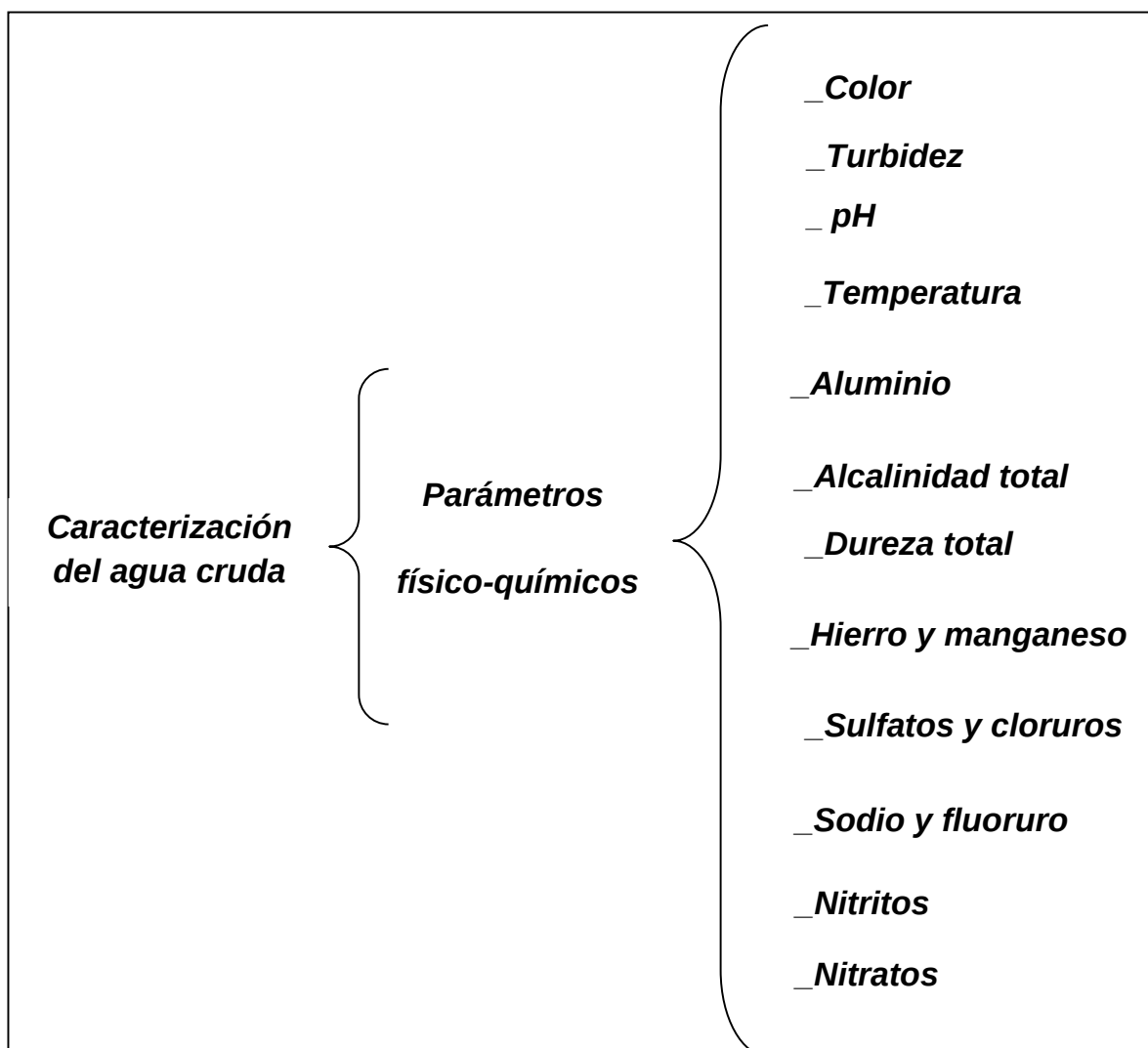


Figura 4.1 Parámetros que caracterizan el agua cruda

4.2.1.3 Comparación con las normas estándar de análisis de aguas en Venezuela.

Una vez realizado el análisis físico-químico se procedió a comparar los resultados con las normas sanitarias de calidad del agua potable a través de una matriz de comparación, para la verificación de los parámetros fuera de norma para su posterior estudio.



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se presenta la matriz de comparación con el fin de mostrar los parámetros fuera de normas (ver tabla 4.1).

TABLA 4.1
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL POZO 3 EN LA
URBANIZACIÓN PRADOS LA ENCRUCIJADA

Análisis	Máximo aceptable (mg/L)	Resultados (agua cruda)
Color (Pt/Co)		
Turbiedad (NTU)		
pH		
Cloruros (mg/L)		
Sulfatos (mg/L)		
Aluminio (mg/L)		
Hierro total (mg/L)		
Manganeso (mg/L)		
Fluoruros (mg/L)		
Nitritos (mg/L)		
Nitratos (mg/L)		
Cloro Residual (mg/L)		
Dureza Total (mg/L)		
Alcalinidad (mg/L)		
Temperatura (°C)		
Sodio (mg/L)		

Luego de aplicar y analizar la matriz de comparación se observó varios parámetros fuera de las normas sanitarias de calidad del agua potable, pero para fin de nuestra investigación se va estudiar la influencia del fluoruro como principal elemento a seguir.



4.2.2 Evaluar las diferentes unidades encargadas del proceso de potabilización convencional, antes de suspender el funcionamiento de la planta, con el propósito de conocer si las unidades cumplían con las condiciones de diseño.

4.2.2.1 Realización de visitas a la planta a fin de recorrer todas las etapas del proceso para obtener conocimiento de la misma.

Se realizó un recorrido a la planta de potabilización de Prados La Encrucijada por todas las etapas de proceso, la cual está constituida de tres unidades rectangulares donde; la primera funciona como tanque de reacción; la segunda funciona como sedimentador y la tercera unidad mucho mas pequeña posee un intercambiador iónico. Durante el recorrido se pudo precisar el mal estado de la planta y el no funcionamiento de la misma por no cumplir con los requerimientos específicos para la remoción de fluoruro.

4.2.2.2 Entrevistas con los ingenieros, técnicos y operadores.

Se realizó una entrevista con los ingenieros, con la finalidad de establecer cualquier duda referente al proceso, así como también recabar información proveniente de las experiencias de dichas personas en torno al mismo.

En el transcurso de la entrevista se realizaron una serie de preguntas que permitieron completar la comprensión de la problemática actual y la variable a estudiar, enfatizándose en la mejor alternativa para la remoción de fluoruro.

4.2.2.3 Revisión de los últimos reportes físico-químicos, planos y condiciones de diseño.

Este procedimiento se llevó a cabo con la ayuda de la Compañía Hidrológica Del Centro (HIDROCENTRO) a través de su último análisis realizado a la planta cuando estaba operativa, proporcionándonos así el último reporte emitidos por ellos;



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

además de la búsqueda del plano de la misma, para tener conocimiento sobre las condiciones con lo cual fue diseñada dicha planta.

4.3 Fase de análisis

Una vez completado la identificación y familiarización con el proceso, así como el diagnóstico de la situación actual del mismo, se procedió a analizar las variables y las posibles causas de alto contenido de fluoruro en el agua potable en la localidad.

4.3.1 Desarrollo del diagrama causa-efecto.

Cuando el objetivo de aprendizaje es que los estudiantes descubran las causas de un problema o de un suceso, o las relaciones causales entre dos o más fenómenos, el organizador gráfico ideal es un Diagrama Causa-Efecto (ver figura 4.2).

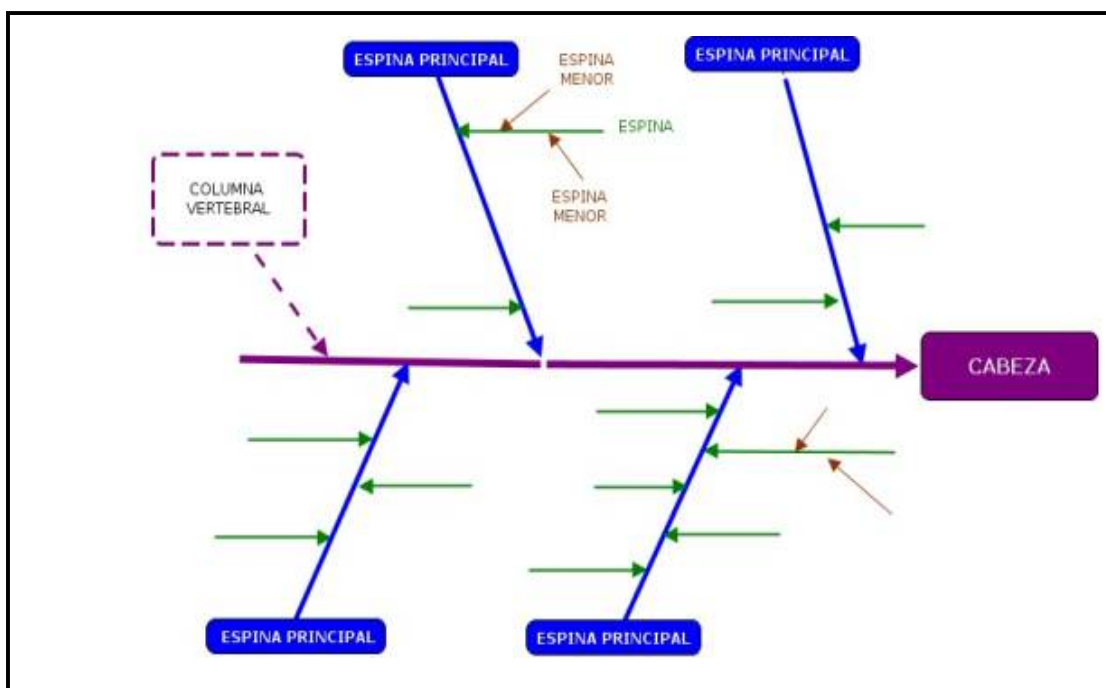


Figura 4.2 Partes de un Diagrama Causa-Efecto

Fuente: EDUTEKA (Documento en línea).



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

Se realiza una investigación bibliográfica acerca de esta herramienta. Existen diferentes métodos para la agrupación de variables, se selecciona el método de las 4M's, debido a que éste se adapta a procesos que no se conocen con detalle. Para el desarrollo del mismo, se siguen los siguientes pasos:

a.- Se identifica el problema:

Éste debe plantearse de manera específica y concreta para que el análisis de las causas se oriente correctamente y se eviten confusiones. Una vez el problema se delimite correctamente, debe escribirse con una frase corta y sencilla, en el recuadro principal. Para este caso particular, el problema ya se ha planteado al inicio de esta investigación, por lo tanto se estudiarán las causas que afecten: “La remoción de fluoruro”.

b.- Identificar las principales categorías dentro de las cuales pueden clasificarse las causas del problema:

Una vez realizada la tormenta de ideas, mencionada anteriormente, se procede a agrupar las variables por categorías importantes o comunes. Cada categoría que se identifique debe ubicarse independientemente en cada una de las espinas principales. En este caso se pueden definir algunas categorías, entre otras, como ejemplo: maquinarias, materia prima, mano de obra, etc.

c.- Identificar las causas:

En la tormenta de ideas, de igual forma ya se han especificado las causas o variables, de una manera desordenada, en el paso anterior se procedió a organizarlas y separarlas por categorías. Seguido a esto teniendo en cuenta las categorías encontradas, se identifican las causas del problema. Éstas son por lo regular, aspectos específicos de cada una de las categorías que, al estar presentes de una u otra manera, generan el problema. Las causas que se identifiquen se deben ubicar en las



espinas, Si una o más de las causas identificadas es muy compleja, ésta puede descomponerse en subcausas. Éstas últimas se ubican en las espinas menores, que a su vez confluyen en la espina correspondiente de la causa principal. Entre ellas se pueden mencionar, por ejemplo: mantenimiento, falta de supervisión de la planta; reactivos, aplicación sin exactitud (añadidos manualmente), etc.

4.4 Fase de selección de la alternativa

En esta fase de la investigación se realizó una búsqueda en la literatura y encuestas con especialistas en el área, con la finalidad de efectuar una tormenta de ideas, con el fin de orientar el estudio a las posibles alternativas tomando en cuenta la fase de análisis.

Para la generación de alternativas se procedió a la aplicación y análisis de una tabla con los diferentes tipos de tratamiento necesarios para la potabilización del agua con alto contenido de fluoruro, donde la cual se procedió a la realización de una matriz ponderada de comparación de las alternativas.

4.4.1 Proponer alternativas de tratamiento para la disminución de fluoruro, con la finalidad de escoger la alternativa que más se adecúe a los criterios técnicos.

4.4.1.1 Búsqueda en la literatura con el fin de plantear alternativas de solución para la disminución del fluoruro.

Para poder generar propuestas sobre la disminución de fluoruro, se realizó una búsqueda de material bibliográfico, investigaciones en la red mundial (internet), así como visitas a bibliotecas con el objetivo de tener una visión más amplia de la problemática existente y la necesidad de plantear soluciones a la misma, esta revisión tuvo como finalidad complementar la información obtenida en la entrevista con los ingenieros referente al proceso de potabilización para la remoción de fluoruro y técnicas a utilizar, permitiendo obtener con detalles la descripción técnica de algunos tipos de



tratamientos eficaces para la disminución del elemento fuera de norma en estudio. Adicionalmente esta investigación bibliográfica permitió profundizar aún más las diferentes técnicas especializadas para el tratamiento de remoción de fluoruro y la eficiencia de cada una de ellas. (Ver tabla 4.2).

4.4.1.2 Construcción de la matriz de selección.

Esta se aplicó luego de tener las alternativas de solución por medio de una tabla, con el objetivo de seleccionar la propuesta que logre la mejor remoción de fluoruro y brinde a la población un agua de excelente calidad que sea apta para el consumo humano.

Luego de arrojar posibles alternativas de mejora se realiza una comparación, en una matriz, estableciendo criterios como: disponibilidad de materia prima, cantidad de lodos generados, toxicidad de sustancias involucradas en el proceso, regeneración de materiales, cantidad de reactivos agregados al agua, cantidad de operaciones unitarias o etapas involucradas en el proceso. Cada criterio tendrá una ponderación la cual serán evaluadas del 0 al 10.



TABLA 4.2
IDENTIFICACIÓN DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS PARA LA REMOCIÓN DE FLUORURO

Técnicas para la remoción de fluoruro	Identificación de las técnicas
Alumina activada	
Fosfato tricálcico (hueso sintético)	
Precipitación por contacto	
Lodo de sulfato de aluminio	
Nalconada	
Electrocoagulación	
Carbón animal	
Ablandamiento con cal	

4.4.1.3 Comparación y elección de la alternativa más adecuada.

Una vez que se obtienen los valores de ponderación para cada alternativa según cada parámetro evaluado, se procedió a realizar la sumatoria de los mismos, seleccionando la alternativa con mayor valor obtenido como la que representa la mejor propuesta para la disminución del fluoruro. (Ver tabla 4.3).



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

TABLA 4.3
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO MÁS
CONVENIENTE

Concepto	Técnica								Escala de comparación	Criterio
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Materia prima										
Lodos generados										
Toxicidad										
Regeneración										
Cantidad de reactivos										
Operaciones unitarias										
Total										



4.5 Fase de Desarrollo de la Alternativa

En esta etapa de la investigación se procedió a describir de manera más específica la propuesta que fue seleccionada, definiendo, dentro de lo posible, los aspectos técnicos que presenta para poder lograr la implementación y el funcionamiento de la misma. Para ello se realizaron los cálculos requeridos para las distintas características establecidas como la realización de manuales de operación, dimensionamiento de los equipos, los beneficios económicos, costo de la inversión, costos de mantenimiento, efectos sobre la situación actual de la mesa técnica, entre otros.

4.5.1 Desarrollar la propuesta seleccionada, con la finalidad de ejecutar la alternativa planteada para la solución de la problemática actual.

4.5.1.1 Medición del caudal máximo de agua cruda por medio de mediciones experimentales de volumen – tiempo de llenado.

Esta se determinó por medio de tres mediciones experimentales volumen – tiempo de llenado, las cuales se recolectaron en tobos plásticos cilíndricos previamente identificado con el nivel de agua a utilizar tomando en cuenta el área de la base del recipiente y la altura de agua ya establecida, para así luego promediar los caudales obteniendo un único valor. (Ver tabla 4.4).

4.5.1.2 Recolección de muestra del agua cruda

La recolección de muestras se hizo mediante la captación del agua cruda con tobos plásticos, previamente esterilizados con una capacidad de 5 galones y cada uno de ellos tapados, para evitar cualquier tipo de contaminación que pueda ocurrir en el transcurso del traslado desde la planta hasta el laboratorio de la Compañía Hidrológica Del Centro (HIDROCENTRO).



4.5.1.3 Realizar los ensayos pertinentes en el laboratorio con la ayuda de ingenieros y técnicos, probando con distintas condiciones de operación, hasta obtener la condición más apropiada.

Para desarrollar la alternativa se tuvo que contar con la ayuda de la bibliografía, ingenieros y técnicos de la Compañía Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), por medio de la habilitación de un sistema ya existente en el laboratorio de la misma empresa ubicado en el Ciudad de Cagua, lo cual tenía como función desarrollar diferentes pruebas de tratamiento que implicaban el proceso de sedimentación para el estudio posterior de los lodos. La propuesta seleccionada se llevó a cabo experimentalmente a nivel de prueba. Los equipos utilizados en el proceso fueron: una bomba centrífuga la cual fue establecida mediante un cálculo hidráulico utilizando la ecuación de Bernoulli, un sedimentador, una cámara de tratamiento y una fuente de poder, esta última fue alquilada a una compañía de níquel cromo ubicado en la misma localidad de Cagua, ellos utilizaban dicha fuente para el suministro de corriente a una etapa previa del proceso, esta fue trasladada desde la empresa hasta el laboratorio de Hidrocentro el día Sábado 12 de Julio y colocada en el laboratorio a las 11:05 a.m., la misma fue devuelta el día Martes 15 de Julio a las 11:00 a.m. la capacidad de esta fuente es de 1000 A y 15 V; al momento de instalar el equipo en el laboratorio se contó con la ayuda del operario que labora en la empresa de cromo níquel, quien se encargó de la manipulación del equipo para llevar a cabo el proceso.

La unidad de sedimentación de propiedad de Hidrocentro, constaba de una series de dimensiones ya establecidas para el estudio de lodos, esta se toma para el desarrollo de la propuesta, las dimensiones del sedimentador consta de dos secciones; la superior de forma rectangular con 140 cm de profundidad x 140 cm de ancho x 130 cm de alto y la inferior cuya forma de pirámide truncada tiene en su base menor 30 cm, base mayor 140 cm, altura 60 cm y en la descarga de los lodos 10 cm de diámetro, el tanque contenía en su área transversal constante unas 6 placas inclinadas F.V.R. (fibra de vidrio reforzado) las cuales tienen una separación entre placas de 15 cm, las mismas tiene un tamaño de 130 cm de altura x 140 cm de ancho.



CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO

Para el diseño de la cámara de tratamiento se contó con la ayuda bibliográfica y sugerencia de la tutora industrial para su realización, tomando en cuenta los diferentes factores: cantidad de agua a tratar, espacio físico disponible, cantidad de energía que requiere entre otros, la misma se desarrolló bajo la supervisión del ingeniero en turno, esta consta de una series de placas de aluminio que trabajan como electrodos, ubicados de forma regular con un espaciado entre placas de un valor determinado.

Las pruebas se realizaron el día Sábado 12 de 2:30 p.m. a 6:30 p.m. y Lunes 14 de 9:00 a.m. a 12:00 p.m., con la ayuda de los ingenieros y técnicos de la Compañía Hidrológica Del Centro (HIDROCENTRO), donde para el funcionamiento del mismo se tuvo que establecer una serie de parámetro a seguir:

- ✓ Alimentación de la fuente de poder.
- ✓ Alimentación de agua cruda a la cámara de tratado.
- ✓ Variación de voltaje.
- ✓ Verificación del medidor de fluor para obtener la condición más apropiada para la disminución del mismo, tomando en cuenta que este se encuentre entre los parámetros exigidos por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable establecida en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998, en su Artículo 14.
- ✓ Abrir la válvula que alimenta a la unidad del sedimentador.
- ✓ Apertura de la válvula para la eliminación de lodos.
- ✓ Apertura de la válvula de paso del agua ya tratada libre de fluoruro.



TABLA 4.4
DATOS NECESARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DEL AGUA

Fluido	Volumen recolectado ($V \pm$) L	Tiempo de recolección ($t \pm$) s
Agua cruda		

4.6 Fase de factibilidad económica de la alternativa

En esta última parte para la factibilidad económica de la propuesta que ha sido planteada se procedió a realizar una revisión de la bibliografía correspondiente, a partir de la cual se determinaron los indicadores económicos necesarios a ser establecidos para la evaluación de la propuesta y las formulas requeridas para poder proceder a efectuar los cálculos de los mismos.

4.6.1 Realizar un estudio de costos de la inversión inicial de la técnica seleccionada, con el fin de implementar la misma.

4.6.1.1 Búsqueda de cada uno de los precios de los equipos y reactivos.

El desarrollo de esta investigación, se llevó a cabo con una búsqueda de material bibliográfico, investigaciones en la red mundial (internet), así como visitas a establecimientos especializados en tratamiento de aguas.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

En el presente capítulo se realiza el diagnóstico de la situación actual y se analizan las variables que intervienen en el sistema de tratamiento, con la finalidad de definir las variables más resaltantes o importantes que tiene influencia sobre la disminución de fluoruro, para así identificar las posibles causas que generan el problema planteado.

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

La realización del análisis del sistema se estableció por medio de un diagnóstico de la situación actual donde esta se efectuó mediante un proceso de observación y el asesoramiento por parte del personal de HIDROCENTRO.

Durante la observación y con la ayuda del personal encargado de la planta, se logró distinguir los diferentes bloques que conforma la misma, percibiéndose durante el recorrido el mal estado que esta tenía, lo cual junto a la ineficiencia de la técnica utilizada provocaron la parada de planta, debido a esto se tomaron en cuenta todas las posibles causas que generaron la toma de dicha decisión.

A continuación se presenta en forma de cuadro el diagnóstico realizado al sistema convencional, donde se especifican las deficiencias más significativas encontradas, así como algunas sugerencias preliminares para corregirlas.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES
Unidad de control	♦ Falla en los indicadores del equipo, lo que impide al operador verificar algunos parámetros importantes para el control, como lo son la temperatura y el pH. ♦ Instalaciones eléctrica sin empotramiento ni aislamiento del agua lo que podría generar corto – circuitos y daños severos a las instalaciones.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES
Bomba sumergible	♦ Alto grado de corrosión en la bomba de succión del agua de pozo que va dirigido al tanque de distribución, debido a la continua exposición al ambiente.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES
Tanque de reacción	♦ Alto grado de corrosión en los tubos que alimentan de agua cruda al tanque de reacción, al igual que el tubo de recirculación del agua tratada, debido a la continua exposición al ambiente y no estar protegidos por algunos anticorrosivos.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES	
Sedimentador		◆ Nivel alto de corrosión en los canales de flujo del agua libre de flóculos debido a la continua exposición al ambiente y de no estar protegido con un revestimiento anticorrosivo. ◆ Alto deterioro de las placas, debido a la falta de mantenimiento y supervisión de la unidad.
		
		



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES	
Intercambio lónico		◆ Deterioro del Intercambiador lónico, debido a la falta de mantenimiento y de supervisión. ◆ Alto nivel de corrosión tanto en las tuberías de alimentación como en la de recirculación, debido a la falta de un revestimiento de algún anticorrosivo o por falta de mantenimiento
		
		



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES
Dosificador de cal	 ♦ Uso de métodos inapropiados para la preparación de la solución de cal, para el cual no se cuenta con algún tipo de control para la medición de la concentración de la misma. ♦ Acumulación de hidróxido de calcio solidificado en la tubería de distribución, lo que ocasiona el atascamiento para la adición del mismo al tanque de reacción, así como la obstrucción en las tuberías.



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

EQUIPO	OBSERVACIONES
Lechos de Secado	 ◆ Presencia de algunos tipos de hierbas en cada uno de los sectores que conforman el lecho de secado debido a largo tiempo que tienen los mismos sin uso.

En los cuadros anteriores se elaboró un diagnóstico detallado de las deficiencias observadas en el sistema convencional, analizando las variables involucradas en el proceso que afectan la calidad del agua potable, específicamente en los aspectos: maquinaria, mano de obra, método utilizado y materia prima mediante un diagrama causa-efecto (ver figura 6.1)



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

En cuanto a la maquinaria, los equipos que se encontraban operando en la planta potabilizadora, poseían un alto nivel de deterioro; sin embargo la mayoría de los equipos trabajaban con una regularidad, con la excepción de que al hacerse una evaluación de la misma, se pudo constatar que esta no lograba disminuir el fluoruro, provocando la parada de planta para su posterior estudio, debido a esto, la calidad del agua se ve muy comprometida y es necesario realizar ajustes apresurados, ya que la misma es dirigida directamente al tanque de distribución solo con un tratamiento de cloración para su desinfección obviando la alta concentración de fluoruro existente, donde este surte el vital líquido a la gran cantidad de personas que residen en la Urbanización Prados La Encrucijada para cubrir la demanda y garantizar el suministro del agua.

El personal involucrado en la supervisión del proceso de potabilización, realizaban las operaciones de mantenimiento y adición de los reactivos, lo hacían de manera inadecuada, estos no asistían periódicamente si no eventualmente y al añadir los reactivos lo hacían de manera manual sin ningún tipo de control, los mismos no se encontraban preparados para solventar situaciones que se podían presentar como es la falla en los controladores, falla en la bombas, o cualquier otra situación que pueda comprometer la calidad del agua, ya que estos operarios eran los mismo miembros de la comunidad con una preparación que constaba de un curso básico de manejo de la planta dictado por los fabricantes de dicha estructura, por estas razones se considera la mano de obra como una causa en el proceso.

El método utilizado en este proceso es el ablandamiento con cal, la cual es usada frecuentemente para la reducción de la dureza total y no para la remoción de fluoruro, ya que esta remueve el mismo mediante la formación de un precipitado insoluble y por coprecipitación, pero esta técnica es poco eficaz, es por ello que esta representa la principal causa en este trabajo de investigación, además el agua presentaba un valor de dureza total inusualmente bajo para una fuente subterránea, por lo tanto, este método lo



CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

que hacía era reducir aún más la dureza total, por consiguiente el agua tratada tenía la característica de no eliminar el jabón y/o detergentes de los objetos o personas.

La materia prima del proceso es el agua cruda proveniente del pozo n°3, ubicado en la Urbanización de Prados La Encrucijada, la cual varía sus condiciones pero en poca proporción dependiendo de diversos factores como la pluviosidad o sequía, la temperatura entre otros; todos estos factores no pueden ser controlados por tal razón a pesar de ser una posible causa no pueden ser tomados en cuenta sino como fluctuaciones del sistema.

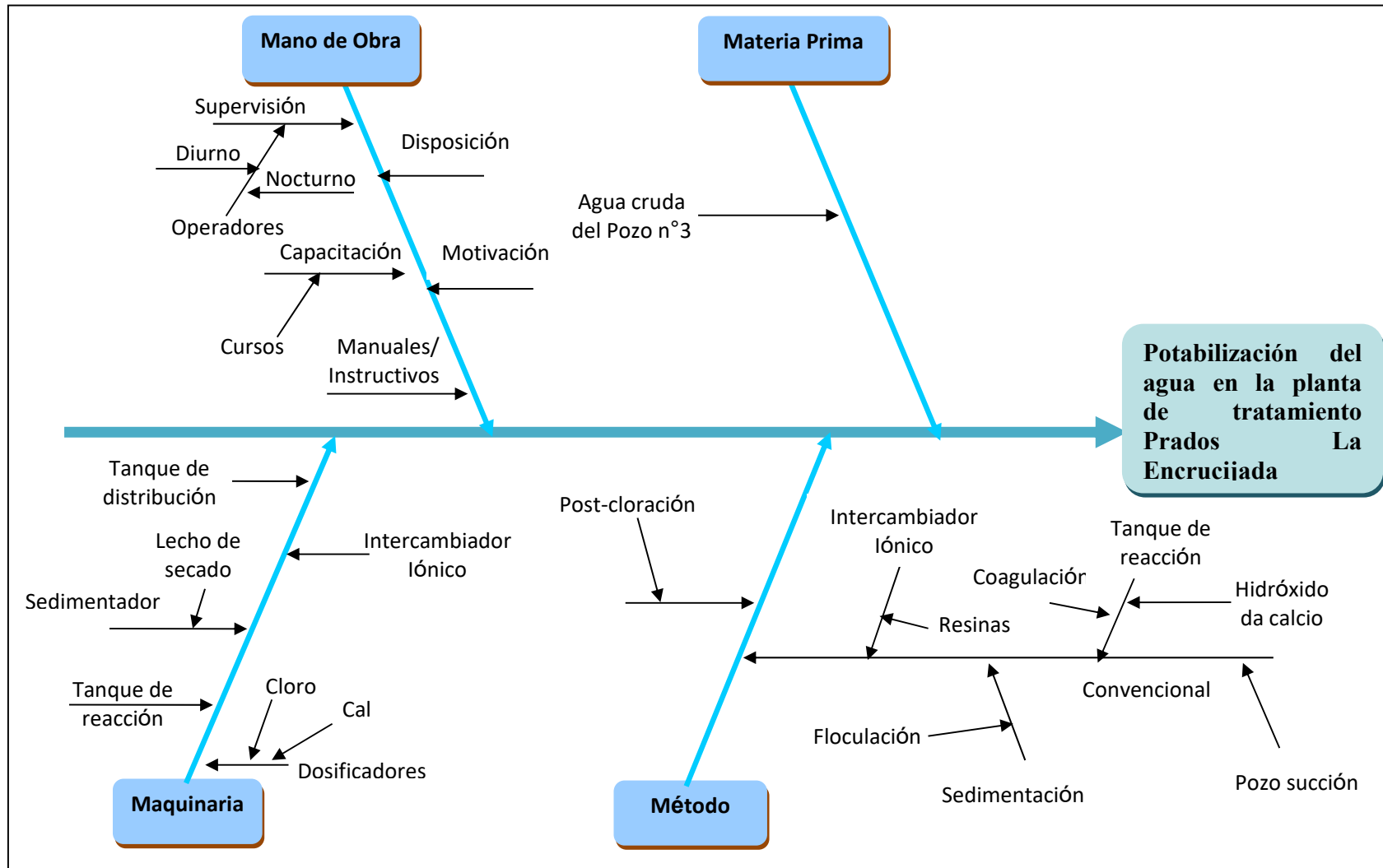


Figura 6.1 Diagrama causa-efecto para la potabilización del agua en la planta de tratamiento Prados la Encrucijada



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

CAPITULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En el siguiente capítulo se presenta la generación de diferentes alternativas para la remoción del fluoruro, luego se selecciona la mejor de estas según los criterios técnicos y posteriormente se desarrolla con el fin de solucionar el problema en estudio, por medio de la ejecución de las diferentes etapas del proceso y finalmente se mostrará un pequeño estudio en lo que concierne a los costos de inversión inicial para la ejecución de la alternativa seleccionada.

6.1 GENERACION DE ALTERNATIVAS

Una vez que se estableció las posibles causas del problema en estudio se procedió a generar diferentes opciones tecnológicas o de tratamiento que logren obtener una disminución del fluoruro. Se realizó un Diagrama Causa-Efecto (ver figura 6.1), en donde esta herramienta se utilizó basándose en las cuatro categorías seleccionadas como las de mayor relevancia.

Luego se procedió a través de una tabla identificar los diferentes tipos de tratamiento necesarios para la potabilización del agua (ver tabla 6.1), encontrados en la bibliografía y de haber efectuado las tormentas de ideas. De esta manera, se seleccionaron y evaluaron los siguientes procedimientos, considerando como criterio principal su capacidad de remoción y versatilidad para aplicarse al agua de consumo.

Para la disminución de fluoruro, se analizó como se podría solucionar esta falla. Tomándose en el principio anteriormente citado, se determinó que una posible alternativa sería la aplicación de otra tecnología como es el tratamiento con electrodos, basada en la electrocoagulación. Para la realización de la misma, es indispensable la creación de un modelo a escala piloto, con la finalidad de ejecutarla. Tomando en consideración las unidades necesarias, las dimensiones de las placas como también los diferentes factores que puedan influir en el resultado de la muestra final, como lo son la temperatura, el espacio, pH con el fin de determinar las limitantes del diseño.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

TABLA 6.1

IDENTIFICACION DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS PARA LA REMOCIÓN DE FLUORURO

Técnicas para la remoción de fluoruro	Identificación de las técnicas
Nalconada	1
Alúmina activada	2
Carbón animal	3
Fosfato tricálcico (hueso sintético)	4
Lodo de fosfato de aluminio	5
Precipitación por contacto	6
Ablandamiento con cal	7
Electrocoagulación	8

6.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para la selección de la propuesta, por medio de una matriz ponderada de comparación de las alternativas (Tabla 6.2), se procedió a un análisis técnico con los siguientes criterios:

- Disponibilidad de materia prima
- Cantidad de lodos generados
- Toxicidad de sustancias involucradas en el proceso
- Regeneración de materiales



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

- Cantidad de reactivos agregados al agua

- Cantidad de operaciones unitarias o etapas involucradas en el proceso

Donde cada criterio tiene una ponderación evaluada del 0 al 10 y se distribuyen en los diferentes tratamientos empleados para la remoción del flúor. Donde existe una mayor puntuación ese es el tratamiento a tomar en consideración.

Luego de haber sido establecidas las alternativas, se procedió a analizar los parámetros establecidos para la matriz de selección.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

TABLA 6.2
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO MÁS
CONVENIENTE

Concepto	Técnica								Escala de comparación	Criterio
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Materia prima	10	9	7	10	10	8	10	10	0-10	Mayor disponibilidad
Lodos generados	0	9	9	7	0	9	0	7	0-9	Menos lodos
Toxicidad	10	1	2	0	7	8	6	10	0-10	Menos tóxicos
Regeneración	0	5	5	5	0	5	0	4	0-5	Regeneración de materiales
Operaciones unitarias	3	0	0	0	3	3	0	3	0-3	Menos etapas involucradas
Cantidad de reactivos	3	2	2	0	2	1	1	3	0-3	Menos reactivos utilizados
Total	26	26	25	22	22	34	17	37		



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Esta evaluación discrimina las rutas o en este caso los procesos de remoción de fluoruros no viables técnicamente, con base en los criterios de comparación ya establecidos.

De esta manera las diferentes alternativas son excluidas según el valor final de ponderación:

- ❖ **Alternativa 1:** Técnica Nalconada, basada fundamentalmente en el concepto tradicional de reducción de flúor utilizando sales de aluminio, se excluye de la mejor alternativa con 26, principalmente por los altos costos del método, a pesar de ser muy simple la técnica, las reacciones químicas que intervienen en el proceso son complejas y algunas no son totalmente entendidas, además presenta mucha cantidad de lodos.
- ❖ **Alternativa 2:** Alúmina activada, a pesar que esta técnica puede reducir el fluoruro en altas concentraciones y disminuir el pH del agua cruda por el agregado de H_2SO_4 , la operación de esta tecnología es complicada y poco segura, además que el sabor del efluente es desagradable debido al alto contenido de SO_4^{2-} . Por lo tanto se excluye esta técnica con un total de 26.
- ❖ **Alternativa 3:** Carbón Animal, en el tratamiento del hueso a temperaturas más elevadas y prolongado tiempo de quemado el hueso modifica su estructura fisicoquímica perdiendo los grupos activos que le dan la capacidad de intercambio, se vuelve totalmente inactivo en forma irreversible. Por ello el tratamiento presenta varias etapas lo que dificulta el mismo, el total ponderado de 25 certifica el descarte de este método.
- ❖ **Alternativa 4:** Fosfato tricálcico (hueso sintético), el hueso a utilizar necesita de un tratamiento previo indispensable, presenta varias etapas que hacen el tratamiento más complejo, debido a eso se excluye de la mejor opción con una ponderación de 22.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

- ❖ **Alternativa 5:** Lodo de fosfato de aluminio, con 22 puntos en total no se considera como la mejor alternativa debido a las diversas etapas que involucra esta técnica, adicionalmente los reactivos requeridos son muy tóxicos lo que genera riesgos para la operatividad del proceso.
- ❖ **Alternativa 6:** Precipitación por contacto, no obstante a la efectividad de la técnica y partiendo del principio del método con hueso molido pero con mejor control, no logra ubicarse como la mejor opción, resultado segunda entre las alternativas con 34, debido a que la velocidad de filtración es baja por lo que a volúmenes mayores no resulta muy factible.
- ❖ **Alternativa 7:** Ablandamiento con cal, La relativamente alta solubilidad del fluoruro de calcio limita la reducción del flúor por ablandamiento solo, la desventaja de este proceso es la gran cantidad de lodos producidos y adicionalmente el agua a tratar presenta dureza muy baja por lo que esta técnica no es factible. Que dando en última opción de la mejor alternativa con 17.
- ❖ **Alternativa 8:** Electrocoagulación, el catión proviene de la disolución del ánodo metálico, ya sea fierro o aluminio. Requiere aplicaciones bajas de voltaje (menos de 50 voltios), con amperaje variable y de acuerdo con las características químicas del agua. Se obtiene un lodo más compacto. Esta opción resultó con mayor total de puntuación con 37 en total, por lo que se tomó como la mejor alternativa para la disminución del fluoruro.

Por lo tanto, de la tabla anterior se obtiene que las técnicas más viables son las de electrocoagulación y de precipitación por contacto por resultar con mayores puntuaciones (puntuación establecida arbitrariamente). Se tomó la tecnología de electrocoagulación, que resultó con una ponderación de 37, para desarrollarla como propuesta y observar su factibilidad en la solución del problema.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.3 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Luego de la selección de la alternativa de tratamiento o tecnología de disminución del fluoruro, se procedió al desarrollo de la misma: unidades involucradas en el proceso, accesorios empleados, especificación de las placas encargadas de la electrocoagulación, entre otros aspectos.

6.3.1 UNIDADES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO

Para el diseño del sistema de tratamiento seleccionado, se tomaron en cuenta las principales unidades que el mismo requiere, si bien el caudal promedio a escala real es de 6,220 L/s obtenido mediante el tiempo de llenado para un determinado volumen (ver tabla 6.3) en los efectos del desarrollo de la propuesta seleccionada este se cuantificó para un caudal de 6 LPM, así como los equipos y accesorios necesarios para la implementación de dicha tecnología.

TABLA 6.3
DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PROVENIENTE DEL POZO PROFUNDO DE
PRADOS LA ENCRUCIJADA

Fluido	Volumen recolectado ($V \pm 0,5$) L	Tiempo de recolección ($t \pm 0,01$) s
Agua cruda	12,3	2,01
	12,3	1,97
	12,3	1,95



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.3.1.1 Unidad de electrocoagulación

Debido a que la tecnología es basada en el implemento de electrodos, se diseño una **unidad de electrocoagulación** que utiliza **placas de aluminio** que funcionan como los electrodos (ver figura 6.1).

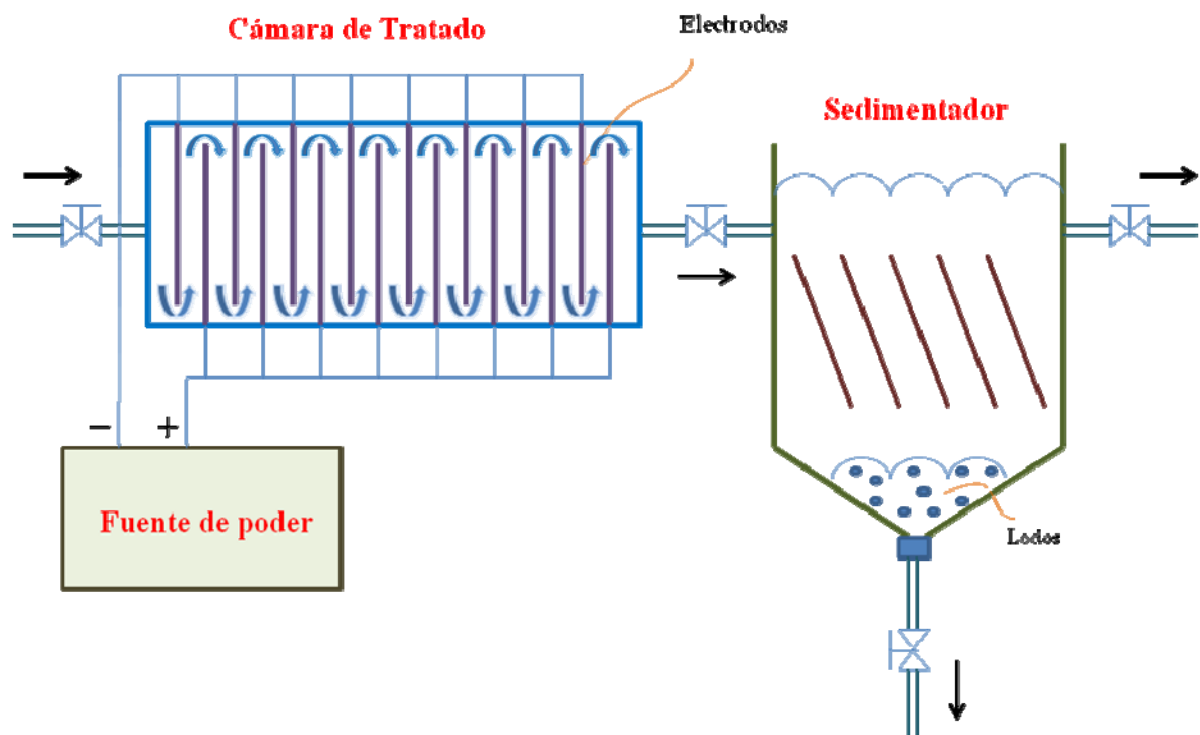


Figura 6.1 Planta piloto de electrocoagulación para disminuir flúor de agua subterránea

Fuente: Ming L. (1983).

Esta unidad constituida por un **tanque reactor** de 34 cm de largo, 32 cm de altura y 22 cm de ancho, el mismo es donde se localizan las placas de aluminio y se lleva el principio de la electrocoagulación. Las placas de aluminio que funcionaban como electrodos de sacrificios; estas fueron colocadas dentro del tanque, utilizándose 16 en total con una separación entre ellas de 2 cm. Las dimensiones de cada placa eran de 30 cm de largo y 18 cm de ancho.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Fuente de poder

La fuente de poder tiene una capacidad de 0-20 V y 0 - 1000 Amperes, la misma fue empleada para el suministro de energía eléctrica (corriente) a los electrodos de aluminio ubicados dentro del tanque a través de cables calibre de 6. En la figura 6.2 se puede observar algunas vistas de la fuente de poder utilizada en el proceso de tratamiento por electrocoagulación.



Figura 6.2 Fuente de alimentación utilizada en el proceso de electrocoagulación



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.3.1.2 Unidad de sedimentación

El sedimentador (ver figura 6.3) posee 6 placas inclinadas de fibra de vidrio reforzado y un filtro prensa, en esta unidad es donde las partículas cada vez más grandes precipitan por gravedad y los que por diferencia de densidades tienden a flotar se filtran.



Figura 6.3 Unidad de sedimentación utilizada en el proceso de electrocoagulación

6.3.1.3 Lechos de secado

Encargados de la recolección de los lodos provenientes de la unidad de sedimentación, esta es la última etapa de todo el proceso de electrocoagulación. El lodo generado en este proceso es más compacto con relación al de otras técnicas de tratamiento y pueden ser utilizados con el objeto de estudio para su provecho, ya que para esta investigación no fueron tomados en cuenta, por lo que los mismo fueron desechados. En la figura 6.4 se puede apreciar los lechos de secados utilizados para la recolección de los lodos generados.



Figura 6.4 Lechos de secados empleados para la recolección de lodos

6.3.1.4 Bomba centrífuga

El sistema no presenta pérdidas que puedan considerarse altas, el cabezal requerido de la bomba era 1,5m para tratar un efluente de 6 LPM. La potencia hidráulica fue de aproximadamente $1,98 \times 10^{-3}$ hp, lo que se evidencia que una de 0.5 hp fue más que suficiente para llevar a cabo la prueba, requiriéndose regular la válvula que se encontraba al ingreso de la cámara de tratamiento evidenciándose claramente que dicha potencia se encuentra muy por encima de la necesaria para lograr el efluente indicado anteriormente.

6.4 RESULTADOS CON EL TRATAMIENTO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Los resultados experimentales, realizados en el laboratorio de Hidrocentro Ubicado en Cagua, revelaron que la concentración de flúor de 1,94 mg/L se disminuyó hasta una concentración de 0,3 mg/L teniendo una eficiencia de remoción de hasta 85% utilizando placas de aluminio como electrodos de sacrificio. En la tabla 6.4 se observa que la concentración de flúor disminuyó de 1,94 a 0,3 mg/L, mientras que los parámetros de conductividad, turbiedad, pH, aluminio, dureza total y alcalinidad total no tuvieron un aumento significativo, que pudiera afectar de manera drástica el agua, lo que indica que el proceso de electrocoagulación es un proceso confiable.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En los experimentos realizados durante la disminución de flúor se utilizaron diferentes densidades de corrientes con el objeto de observar el comportamiento de la disminución de la concentración del flúor. Distintas densidades de corrientes se utilizaron tales como: 2,51; 3,42; 4,41 mA/cm² con un potencial eléctrico de 6 a 8 V, siendo la de 4,41 la que alcanzó disminuir el flúor hasta un 85%. (Ver tabla 6.5).

El pH que se recomienda debe ser menor de 9 y mayor de 6,5 donde la temperatura del agua puede ser entre 20 y 25 °C para así obtener una mayor eficiencia en la disminución de flúor, este tipo de proceso produce una menor cantidad de lodos ya que no se le adiciona ninguna dosis de reactivo químico si no que se está produciendo en el lugar complejos de hidroxialuminio los cuales reaccionan con el flúor para producir complejos de hidroxifloruro de aluminio los cuales son factibles de precipitarse.

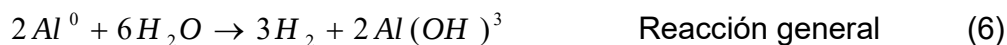
El mecanismo que se ha propuesto consiste en que el ánodo de aluminio se disuelve para formar Al⁺³; a un pH apropiado en primera instancia se forma el hidróxido de aluminio Al(OH)₃ para finalmente polimerizarse a Al_n(OH)_{3n}, este último compuesto tiene una gran afinidad con el flúor para así formar los complejos de hidrofluoruro de aluminio (Ming et al., 1983).



Por otra parte se ha mencionado que la producción de aluminio por medio de un proceso electroquímico forma una mezcla de hidroxifluoruro de aluminio durante la eliminación de flúor en agua residual en una empresa que elaboran semiconductores. El agua es hidrolizada y se forma gas hidrógeno, iones de hidróxido y aluminio; los cuales intervienen en la precipitación del flúor (Cook et al., 1990).



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA



La fuente de poder (tradicional) necesaria para llevar a cabo el suministro de corriente eléctrica a las electrodos o placas de aluminio, era de mucha capacidad, lo que trae como consecuencia que dicha fuente sea muy pesada, considerando a su vez que su eficiencia es menor (de aproximadamente 68%) en comparación con las de mayor tecnología, que aplican la teoría de conmutación logrando una eficiencia cercana a un 80% y su factor de potencia estimado es mayor al 95%. Este factor de potencia, reduce el costo de la energía.

La tecnología de conmutación permite una reducción importante de tamaño y peso. En nuestro caso la fuente de poder utilizada, poseía dicha tecnología, siendo su peso aproximado de 100 kilos, facilitando su instalación y mantenimiento sin requerir montacargas o grúa para esto. Sin embargo, es de considerar posibles errores en la lectura del equipo, ya que este se encontraba en alto grado de deterioro debido a su tiempo de uso.



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

TABLA 6.4

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL POZO ANTES Y DESPUÉS DE TRATARSE EN EL EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Parámetro	Antes	Después	Máximo aceptable en Gaceta Oficial N° 36.395 del año 1998
Fluoruro (mg/L)	1,94	0,3	0,8
Aluminio (mg/L)	0,026	0,032	0,2
Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	554	568	No Reglamentado
Turbiedad (ntu)	1,9	2,0	5
Alcalinidad Total (mg/L)	131,76	136,18	No Reglamentado
Dureza Total (mg/L)	55,27	68,35	500
pH	8,92	8,98	9

TABLA 6.5

DENSIDADES DE CORRIENTES UTILIZADAS DURANTE LA DISMINUCIÓN DE FLÚOR.

Densidad de corriente mA/cm^2	Concentración de flúor mg/L
0	1,94
2,47	1,57
3,43	0,9
4,41	0,3



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

6.5 INVERSIÓN INICIAL DE LA PROPUESTA DESARROLLADA

Los costos de inversión están conformados por aquellas inversiones tangibles, las cuales se basan en los precios de los equipos y accesorios y los de mano de obra.

✓ Costos de equipos y accesorios

Para ello se tomaron los equipos y accesorios necesarios, posteriormente se solicitó un presupuesto de los costos para la implementación de la propuesta a nivel de prueba, los mismos incluirían todos los materiales requeridos, en la tabla 6.6 se pueden apreciar dichos costos para el ejecute de la propuesta a nivel de prueba.

TABLA 6.6
COSTOS APROXIMADOS DE ALGUNOS EQUIPOS Y ACCESORIOS DE LA
PROPUESTA SELECCIONADA

Alternativa: Electrocoagulación	Cant idad	Costos por Unidad (Bs.F)	Costos asociados (Bs.F)
Fibra de Vidrio (1 m ² y 1mm de espesor)	13	400	5.200
Fuente de Poder (80 Amperios y 12 voltios)	1	90.000	90.000
Lamina de aluminio (70cm _x 120cm y 0,5mm de espesor)	2	150	300
Bomba centrifuga (6 LPM)	1	105	105
Tubería 2" hierro galvanizado (1m)	3	12	36
Cables calibre 6 (1m)	10	7	70
Válvula de bola 2"	4	30	120
Total Costos Asociados a equipos y accesorios			95.831



CAPÍTULO 6. SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

✓ Costos de mano de obra

Para los costos de mano de obra se consideró, un valor aproximado del 10% del presupuesto de los equipos y accesorios, ya que se debe tomar en cuenta que el montaje, manipulación y conocimiento de los equipos. Debe ser por un personal capacitado o calificado, para llevar a cabo dicha tarea. Resultando con un valor o costo de **9.600 Bs.F.**

Para el implemento de la propuesta, una vez sumados los valores o presupuestos solicitados anteriormente (referidos a los equipos y accesorios) y de los costos de mano de obra, se prevé una inversión inicial de **105.431 Bs.F.**, sin considerar las posibles modificaciones o cambios en la estabilidad económica a nivel nacional e internacional.



CONCLUSIONES

1. El fluoruro excede el límite máximo establecido en las normativas venezolanas, alcanzando un valor de 1,94mg/L.
2. Las unidades que conforman la planta de tratamiento utilizada en el pasado para la remoción de fluoruro, se encuentra en alto grado de deterioro.
3. La aplicación del diagrama causa-efecto, determinó que tanto el tratamiento aplicado, la metodología y mano de obra son los causantes principales de no remoción del fluoruro.
4. Mediante la aplicación de una matriz de selección y el análisis ponderativo de los criterios establecidos, se obtuvo que la alternativa seleccionada fue el tratamiento por electrocoagulación.
5. El sistema de electrocoagulación evita la adición de coagulantes químicos y además permite disminuir la presencia de flúor hasta un 97%.
6. La tecnología de electrocoagulación no necesita coagulantes químicos, por lo que se produce pocos lodos.
7. El tratamiento por electrocoagulación requiere poco mantenimiento y operación con respecto al sistema de precipitación química tradicional.
8. La corriente necesaria para disminuir la concentración del fluoruro a 0,3mg/L con un caudal de 6 LPM es de aproximadamente 38,2 Amperios.
9. El costo de los equipos, accesorios y mano de obra son **95.831** y **9.600 Bs.F.** respectivamente, siendo así la inversión inicial de la propuesta seleccionada a nivel de prueba de **105.431 BsF.**



RECOMENDACIONES

1. Se aconseja implementar la propuesta desarrollada por los autores de este trabajo.
2. Se recomienda realizar un estudio de las posibles modificaciones en las unidades de la planta fuera de servicio, para utilizarlas en la propuesta seleccionada, a fin de minimizar los costos de inversión.
3. Se debe diseñar y construir un equipo de electrocoagulación de mayor capacidad para realizar pruebas de disminución de flúor en agua subterránea y así tener una idea más clara de su funcionamiento cuando trate volúmenes mayores.
4. Se recomienda que el tratamiento sea por módulos, cuando se trate de caudales muchos mayores.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Álvarez, Z. y Ferreira F. (1994).** Estudio sanitario de las aguas de contacto (piscinas) en el Distrito Valencia Estado Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.
2. **Compañía Anonima Lazcano (2000).** Fallas y problemas de la desinfección con cloro sobre la calidad del agua. Desinfección efectiva. Perú Lima.
3. **Cook S.L. and Urich K.D. (1990).** Electrochemical fluoride removal in semiconductor wastewater. 44th Purdue Industrial. EEUU.
4. **Degremont Gilbert (1979).** Manual Técnico del agua (4 Edición). Bilbao.
5. **Dib, L y Rodríguez, A. (2007).** Propuesta para la disminución del consumo de agua en los sistemas de limpieza en sitio en área de filtración de una empresa cervecera. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
6. **Díaz, R y Sangrona, J. (2002).** Evaluación técnico-económica para la mejora del sistema de dosificación e inyección de químicos en la planta de potabilización Dr. Alejo Zuloaga de la C.A. Hidrológica del Centro. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
7. **Gaviria, J. y Nuñez, Y. (2001).** Evaluación y mejoramiento del proceso de potabilización del sistema convencional de la planta Dr. Alejo Zuloaga. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
8. **Gaceta oficial de la República de Venezuela Número 36.395.** "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable" (1998). Caracas. Venezuela



9. **Kuehl, R. (2001).** Diseño de Experimentos. Principios Estadísticos y Análisis de investigación. 2° Edición. Editorial Thomson Leardning. México.
10. **Laucho, V. (2002).** Mejoramiento de la dosificación de sustancias químicas y rediseño del sistema de dosificación de productos químicos. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de química. Universidad de Carabobo. Bárbula.
11. **Maxias, A. (2003).** Diseño de un sistema de potabilización para agua proveniente de pozo profundo en Ocumare de la costa, Estado Aragua. Universidad de Carabobo.
12. **Mendoza, L. (1984).** Tecnología del proceso de coagulación-floculación. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería.
13. **Ming L. Sunrui Y. Zhangium H. Bina Y. Wel L. Liu P. and Kefichero F. (1983).** Elimination of excess fluoride in potable water with coarcervation by electrolysis using aluminum anode. University of Akron. EEUU.
14. **Montgomery, D. y Runger, G. (1996).** Probabilidad y Estadística. Editorial Mc Graw Hill. Mexico.
15. **Sánchez, M. (2005).** Uso Racional y control de la contaminación en las industrias alimentaria, en el Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Córdoba. España.

PAGINAS WEB VISITADAS

1. **Banco Central de Venezuela (2008):** "Indicadores Económicos". Venezuela Disponible en: <http://www.bcv.org.ve/c2/indicadores.asp>



2. **Banco de Desarrollo del Estado (2008):** condiciones para financiamiento de proyectos público”. Venezuela. Disponible en:
<http://www.bandes.gov.ve/finnac/condiciones>
3. **Google (2008).** Sistemas para el tratamiento de agua. Disponible en:
www.aquamarket.com
4. **Luna J; Fuentes, J. y Casillas, F. (1999).** Manual de buenas prácticas de higiene y sanidad. Disponible en
<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/sanidad.html>
5. **Ramírez, F (2004).** Coagulación y Floculación en el proceso de tratamiento. Disponible en <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/coagulacion-floculacion.htm>

OTRAS PÁGINAS WEB

- http://atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts11.html
- [http://sdpt.net/SAP/fluoruro en el agua.htm](http://sdpt.net/SAP/fluoruro_en_el_agua.htm)
- <http://www.wikipedia.com>
- <http://www.eduteka.com>



CÁLCULOS TÍPICOS

A.1 Cálculo del caudal máximo del agua cruda

$$V_{H_2O} = Q \times t \quad \text{Ec. (A.1) (Perry, 1992)}$$

Donde:

V_{H_2O} : Volumen de agua almacenada. L

Q : Caudal máximo. L/s

t : Tiempo de llenado. s

Despejando el Caudal máximo de la ec se obtiene:

$$Q = \frac{V_{H_2O}}{t} \quad \text{Ec. (A.2) (Perry, 1992)}$$

Dado las siguientes mediciones se procede a tomar un promedio de caudales para obtener el máximo caudal:

$$Q_1 = \frac{V}{t_1} \quad ; \quad Q_2 = \frac{V}{t_2} \quad ; \quad Q_3 = \frac{V}{t_3}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} \quad \text{Ec. (A.3) (Perry, 1992)}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{6,12 + 6,24 + 6,31}{3} = 6,22 \text{ L/s}$$



A.2 Determinación de la desviación estándar

La desviación estandar representa el error cometido en la determinación de determinado parámetro

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (Q_{\text{máx}} - Q_i)^2}{n-1}} \quad \text{Ec. (A.4) (Perry, 1992)}$$

Donde:

σ_{n-1} : Desviación estándar

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación anterior:

$$\sigma_{n-1} = 0,00707 \cong 0,007 \text{ L/s}$$

Por lo tanto el valor del caudal máximo es:

$$Q_{\text{máx}} = (6,220 \pm 0,007) \text{ L/s}$$

Se procede de igual manera con el resto de los parámetros a determinar.

A.3 Cálculo del cabezal de la bomba

Aplicando la ecuación de Bernoulli

$$H_R = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + h_t \quad \text{Ec. (A.5) (Perry, 2007)}$$

Donde:

Punto 1: Ubicado a la salida del sedimentador.

Punto 2: Ubicado en el nivel superior de tanque de agua.



H_R :Cabezal requerido de la bomba.

V_2, V_1 : Velocidad del agua. m/s

Z_1, Z_2 : Altura. m

P_1, P_2 : Presiones. Atm

γ :Peso específico del agua. kgf/m³

ht :Pérdidas de los accesorios y tuberías. M

Consideraciones:

P_1, P_2 =Presión ambiente, por lo tanto $\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) = 0$

$V_1 \cong 0$ Se tomo igual a cero por ser tan pequeña.

$Z_1 = 1,5 \text{ m}$

$Z_2 = 3 \text{ m}$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$Q_{H_2O} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

$T_{H_2O} = 26^\circ\text{C}$

Diámetro interno de la tubería de 2" = 0,04925 m

Antes de determinar el H_R debemos de conocer los siguientes parámetros:

Velocidad (V)

Área transversal de la tubería (A_{tt})

Diámetro equivalente (Deq)

Área de la sección transversal (A_{st})

Perímetro húmedo (Ph)

Numero de Reynolds (N_{Re})

Cálculo de la velocidad

Para calcular la velocidad se tomó en cuenta el caudal teniendo así:



APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS

$$Q = V \times A \quad \text{Ec. (A.6)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Despejando la velocidad de la ec. A.6 Se obtiene:

$$V = \frac{Q}{A_t} \quad \text{Ec. (A.7)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Para obtener la velocidad se procedió al cálculo del área transversal de la tubería

$$Area = \pi \times r^2 \quad \text{Ec. (A.8)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Donde:

r: Radio. m

π : Constante (3,1416) adim

Sabiendo que el $r = \frac{Di}{2}$ entonces tenemos:

$$r = \frac{0,04925}{2} = 0,0246 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ec A.8 obtenemos la velocidad:

$$A_t = 3,1416 \times (0,0246 \text{ m})^2 = 1,9 \times 10^{-03} \text{ m}^2$$

Luego con el valor obtenido en el área la misma la sustituimos en la ec A.7:

$$V = \frac{1 \times 10^{-04} \text{ m}^3 / \text{s}}{1,9 \times 10^{-03} \text{ m}^2} = 0,526 \text{ m/s}$$



APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS

Por medio de la tabla B.6 se determinó la densidad y la viscosidad respectivamente

$$\rho_{H_2O} = 996,79 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{H_2O} = 8,754 \times 10^{-04} \text{ Ns/m}^2$$

Cálculo de las perdidas en las secciones no circulares mediante la ecuación:

Cámara de tratamiento

$$h_{nc} = \frac{V^2}{2 \times g} \left[f_D \left(\frac{\sum Lt}{Deq} \right) + \sum k \right] \quad \text{Ec. (A.9)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Donde:

f_D :Factor de fricción

Lt :Longitud total

Para la longitud total se tiene que la cámara de tratamiento tiene un largo de 0,34 cm.

Ahora se determina el diámetro equivalente (Deq) y el factor de fricción para luego calcular las perdidas.

$$Deq = \frac{4 \times A_{st}}{Ph} \quad \text{Ec. (A.10)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

El área de la sección transversal por la que pasa el agua es un rectángulo por las características de diseño de la cámara de tratamiento, por la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$A_{st} = b \times h \quad \text{Ec. (A.11)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Sustituyendo los valores nos queda:



$$A_{st} = 0,32m \times 0,22m = 0,0704 \text{ m}^2$$

Cálculo del perímetro húmedo lo cual es la longitud de cada arista que conforma el área transversal:

$$Ph = 2 \times 0,32m + 2 \times 0,22m = 1,08m \quad \text{Ec. (A.12)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Ahora se procede a determinar el diámetro equivalente ec. (A.10)

$$Deq = \frac{4 \times 0,0704m^2}{1,08m} = 0,26 \text{ m}$$

Se procede a determinar el número de Reynolds mediante la ecuación:

$$N_{Re} = \frac{Deq \cdot V \cdot \rho_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} \quad \text{Ec. (A.12)} \quad (\text{Foust, 1989})$$

$$N_{Re} = \frac{0,26m \times 996,79kg / m^3 \times 0,526m / s}{8,754 \times 10^{-04} kgms / s^2 m^2} = 155.754,24$$

Posteriormente en la Figura B.1 se busca el factor de fricción por el diagrama de Moody donde se obtiene el valor

$$f_D = 0,058$$

Ya obtenidos todos estos parámetros se calcula las pérdidas generadas por la cámara de tratamiento mediante la ec.A.9:



APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS

$$h_{nc} = \frac{0,0526^2 m^2 / s^2}{2 \times 9.8 m / s^2} \left\langle \left[0,058 \left(\frac{0,34m}{0,26m} \right) \right] + 1 \right\rangle = 1,51 \times 10^{-04} m$$

Así se hizo con las demás pérdidas como el sedimentador, tuberías y accesorios obteniendo pérdidas totales

$$ht = h_{acc} + h_{tuberías} + h_{camara} + h_{se dim entador} \quad \text{Ec. (A.13)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

Dando así

$$ht = 2,3 \times 10^{-03} m$$

Luego de haber calculado todos estos parámetros se procede a determinar el cabezal requerido de la bomba mediante la ec. A.5

$$H_R = \frac{(0,526^2 m^2 / s^2 - 0)}{2 \times 9.8 m / s^2} + (3m - 1,5m) + 0 + 2,3 \times 10^{-03} = 1,51 m$$

Seguidamente se determino la potencia hidráulica con la siguiente ecuación:

$$P = H_R \times \gamma \times Q \quad \text{Ec. (A.14)} \quad (\text{Perry, 2007})$$

$$P = 1,51m \times 996,74kgf / m^3 \times 1 \times 10^{-04} m^3 / s \times 0,013 = 1,98 \times 10^{-03} hp$$



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se encuentran las tablas y figuras bibliográficas utilizadas como material de apoyo con la finalidad de extraer información necesaria para el desarrollo de los objetivos propuestos.

TABLA B.1
COMPONENTES RELATIVOS A LA CALIDAD ORGANOLÉPTICOS DEL AGUA POTABLE

Componente o característica	Unidad	Valor Deseable menor a	Valor Máximo Aceptable (a)
Color	UCV (b)	5	15 (25)
Turbiedad	UNT (c)	1	5 (10)
Olor o sabor	--	Aceptable para la mayoría de los consumidores	
Sólidos disueltos totales	mg/L	600	1000
Dureza total	mg/L CaCO ₃	250	500
PH	--	6.5 - 8.5	9.0
Aluminio	mg/L	0.1	0.2
Cloruro	mg/L	250	300
Cobre	mg/L	1.0	(2.0)
Hierro total	mg/L	0.1	0.3 (1.0)
Manganeso total	mg/L	0.1	0.5
Sodio	mg/L	200	200
Sulfato	mg/L	250	500
Cinc	mg/L	3.0	5.0

a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

b) UCV: Unidades de color verdadero.

c) UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

Fuente: Documento en línea disponible en <http://bvsde.per.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/normas/lac/20.VEN/01.norma.pdf>



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.2
COMPONENTES INORGÁNICOS

COMPONENTES	Valor Máximo Aceptable (mg/L)
Arsénico	0.01
Bario	0.7
Boro	0.3
Cobre	20
Cadmio	0.003
Cianuro	0.07
Cromo Total	0.05
Fluoruros	(c)
Mercurio Total	0.001
Níquel	0.02
Nitrato (NO_3^-)	45.0
(N)	10
Nitrito (NO_2^-)	0.03
(N)	0.01
Molibdeno	0.07
Plomo	0.01
Selenio	0.01
Plata	0.05
Cloro Residual	1.0 (3.0) (a)

NO_3^- = Nitrato

N= Nitrógeno

NO_2^- = Nitrito

- El valor entre paréntesis es aceptado provisionalmente en casos extremadamente excepcionales, plenamente justificado ante la Autoridad Sanitaria Competente.
- La suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor máximo aceptable no debe ser mayor a la unidad.
- El contenido de flúor, como ion fluoruro F^- se fijará de acuerdo con el promedio anual de temperatura máxima del aire en $^{\circ}\text{C}$, según el cuadro N° 3 siguiente:

Fuente: Documento en línea disponible en <http://bvsde.per.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/normas/lac/20.VEN/01.norma.pdf>



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.3
VALORES LÍMITES RECOMENDABLES PARA EL CONTENIDO DE FLUORURO EN
mg / L

Promedio anual de temperatura máxima del aire en °C.	Límite Inferior	Límite Óptimo	Límite Superior
10.0 – 14.0	0.8	1.1	1.5
14.0 – 17.6	0.8	1.0	1.3
17.7 – 21.4	0.7	0.9	1.2
21.5 – 26.2	0.7	0.8	1.0
26.3 – 32.6	0.6	0.7	0.8

Fuente: Documento en línea disponible en <http://bvsde.per.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/normas/lac/20.VEN/01.norma.pdf>



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

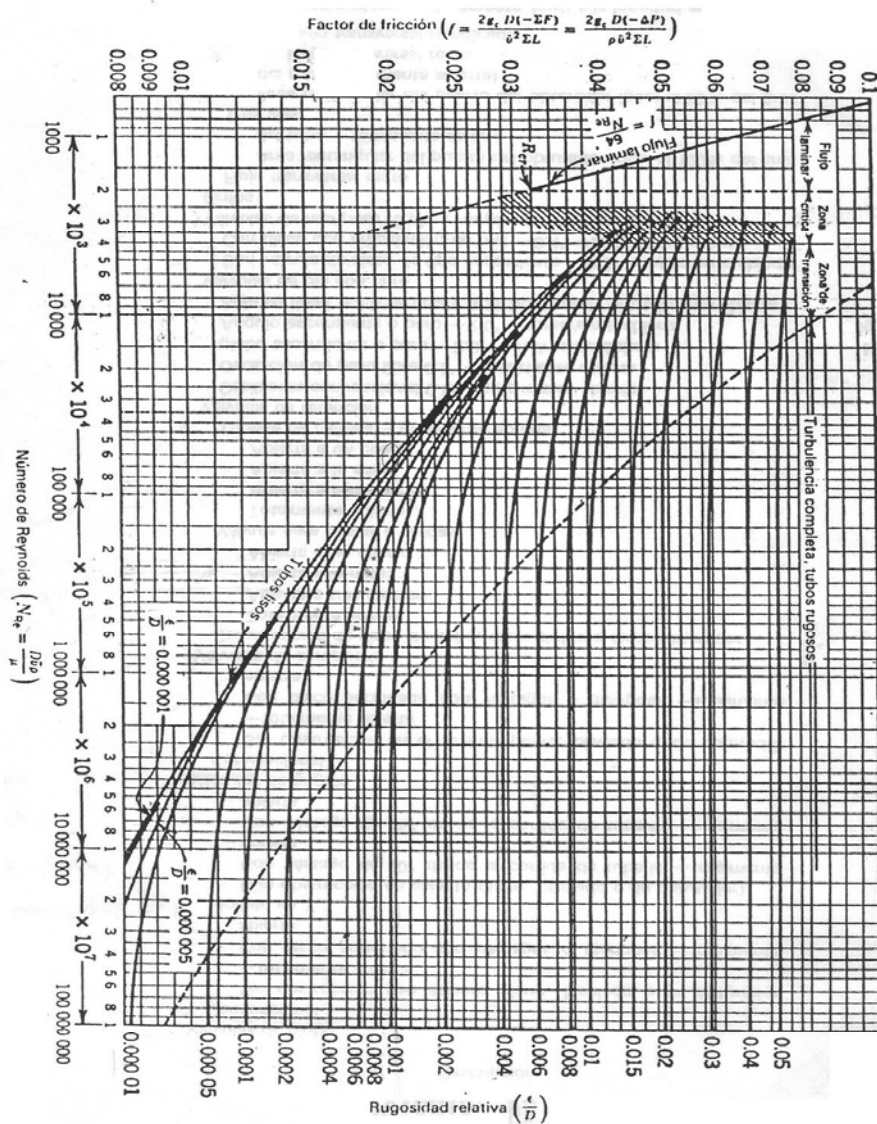


Figura B.1 Comportamiento del factor de fricción como una función del número de Reynolds y la Rugosidad Relativa

Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.4
VALORES DE LONGITUDES EQUIVALENTES Y DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN
PARA VARIOS ACCESORIOS FRICCIÓN

APENDICE III

VALORES DE LONGITUDES EQUIVALENTES Y DE
COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA VARIOS ACCESORIOS

Descripción	Longitud equivalente en diámetros de tubo (L/D)
Válvulas de globo	
Convencional	
Sin obstrucción con asiento plano, biselado o de obturador	
— totalmente abierta	340
Con disco accionado con vástagos o mariposa —totalmente abierta	450
Modelo en Y	
(Sin obstrucción en asiento plano, biselado o de obturador)	
Con vástago de 60° desde la corrida de tubería —totalmente abierta	175
Con vástago de 45° desde la corrida de tubería —totalmente abierta	145
Válvulas de ángulo	
Convencional	
Sin obstrucción en el asiento plano, biselado o de obturador	
— totalmente abierta	145
Con disco accionado con vástagos o mariposa —totalmente abierta	200
Válvulas de compuerta	
Convencional de disco de cuña, disco doble o disco obturador	
Totalmente abierta	13
Abierta a tres cuartos	35
Abierta a la mitad	160
Abierta a un cuarto	900
Válvula para pastas o pulpas	
Totalmente abierta	17
Abierta a tres cuartos	50
Abierta a la mitad	260
Abierta a un cuarto	1200
Tubería de cañería —totalmente abierta	3 ^a
Válvulas de retención	
Oscilación convencional 0.5° —totalmente abierta	135
Oscilación de paso libre 0.5° —totalmente abierta	50
globo ascendente o paro —2.0°—totalmente abierta	Igual que de globo
Angulo ascendente o paro —2.0° —totalmente abierta	Igual que de ángulo
Bola en línea —2.5 vertical y 0.25 horizontal* —totalmente abierta	150
Válvulas de pie con filtro	
Con válvula de disco de tipo ascendente —0.3° —totalmente abierta	420
Con disco con articulación de piel —0.4° —totalmente abierta	75
Válvulas de mariposa (6 plg y mayores) —totalmente abierta	20
Grifos	
Flujo transversal recto	
Area rectangular del puerto del obturador igual al 100% del área del tubo —totalmente abierta	18
Tres vías	
Area rectangular del puerto del obturador igual al 80% del área del tubo (totalmente abierta)	44
Flujo transversal recto	
Flujo transversal ramificado	140
* Longitud equivalente exactamente igual a la longitud entre las caras de las bridas o extre- mos soldados.	
* Carga de presión mínima calculada (lb/plg ²) a través de la válvula para suministrar el flujo suficiente para elevar por completo al disco.	

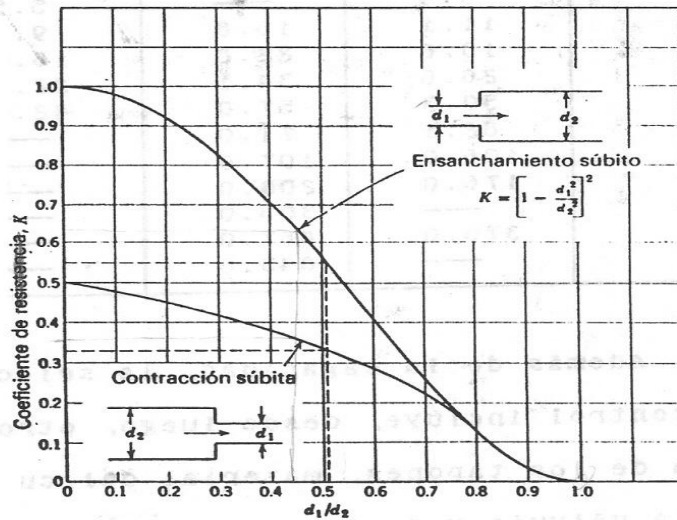
Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.5
RESISTENCIAS DEBIDA A LA ENTRADA Y SALIDA DE TUBOS

Descripción	Longitud equivalente en diámetros de tubo (L/D)
Accesorios	
Codo convencional de 90°	30
Codo convencional de 45°	16
Codo de radio largo de 90°	20
Codo recto de 90°	50
Codo recto de 45°	26
Codo de esquina cuadrada	57
T Convencional	
Para el flujo transversal recto	20
Para el flujo transversal ramificado	60
Curva de retorno de patrón cerrado	50



Apéndice C-2c Resistencia debida a la entrada y salida de tubos (Crane Co.)



Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.6
PROPIEDADES DEL AGUA LIQUIDA

APÉNDICE VIII
PROPIEDADES DEL AGUA LIQUIDA

Temperatura T °C	Viscosidad μ , centipoises	Conductividad calorífica k , kcal/m-h-°C	Densidad ρ , kg/m ³	$\psi_f = \left(\frac{k^3 \rho^2}{\mu^2} \right)^{1/2}$
0	1,794	0,476	999,87	6 900
5	1,519	0,485	999,99	7 860
10	1,310	0,496	999,73	8 870
15	1,140	0,505	999,13	9 900
20	1,005	0,513	998,23	10 930
25	0,894	0,522	997,07	12 150
30	0,801	0,529	995,67	13 090
35	0,723	0,535	994,06	14 160
40	0,656	0,541	992,24	15 260
45	0,599	0,547	990,25	16 370
50	0,549	0,553	988,07	17 510
60	0,470	0,562	983,24	19 680
70	0,406	0,570	977,81	21 920
80	0,357	0,577	971,83	24 080
90	0,317	0,582	965,34	26 170
100	0,284	0,586	958,38	28 220
110	0,256	0,588	951,0	30 190
120	0,232	0,589	943,4	32 120
130	0,212	0,589	935,2	33 910
140	0,196	0,589	926,4	36 340
150	0,184	0,589	917,3	36 090

Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

TABLA B.7
DIMENSIONES, CAPACIDADES Y PESOS DE TUBERÍAS NORMALIZADAS DE
ACERO

APENDICE 11 DIMENSIONES, CAPACIDADES Y PESOS DE TUBERIAS NORMALIZADAS DE ACERO

Tamaño nominal de tubería pulg	Diámetro exterior cm	Núm. de catálogo	Espesor de pared cm	Diámetro interior cm	Área de la sección transversal de metal cm ²	Área de la sección interior dm ²	Circunferencia m, o superficie m ² /m de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 m/seg litros/min	Peso de tubería kg/m
							Exterior	Interior		
1/8	1,029	40	0,173	0,683	0,465	0,00372	0,0323	0,0215	2,198	0,36
		80	0,241	0,546	0,600	0,00232	0,0323	0,0172	1,403	0,46
1/4	1,372	40	0,224	0,925	0,806	0,00669	0,0430	0,0290	4,032	0,63
		80	0,302	0,767	1,013	0,00465	0,0430	0,0241	2,772	0,80
3/8	1,715	40	0,231	1,252	1,077	0,01236	0,0540	0,0393	7,387	0,85
		80	0,320	1,074	1,400	0,00910	0,0540	0,0338	5,436	1,10
1/2	2,134	40	0,277	1,580	1,613	0,01960	0,0671	0,0497	11,76	1,27
		80	0,373	1,387	2,065	0,01514	0,0671	0,0436	9,066	1,62
3/4	2,667	40	0,287	2,093	2,148	0,03447	0,0838	0,0658	20,64	1,68
		80	0,391	1,885	2,794	0,02787	0,0838	0,0391	16,74	2,19
1	3,340	40	0,338	2,664	3,187	0,05574	0,1049	0,0838	33,44	2,50
		80	0,455	2,431	4,123	0,04636	0,1049	0,0762	27,83	3,23
1 1/4	4,216	40	0,356	3,505	4,310	0,09662	0,1326	0,1100	57,89	3,38
		80	0,485	3,246	5,684	0,08277	0,1326	0,1021	49,65	4,47
1 1/2	4,826	40	0,368	4,089	5,161	0,13136	0,1515	0,1283	78,79	4,05
		80	0,508	3,810	6,897	0,11380	0,1515	0,1198	68,41	5,40
2	6,033	40	0,391	5,250	6,935	0,21646	0,1896	0,1649	129,9	5,43
		80	0,554	4,925	9,529	0,19045	0,1896	0,1548	114,3	7,47
2 1/2	7,303	40	0,516	6,271	10,99	0,30861	0,2295	0,2054	185,3	8,62
		80	0,701	5,900	14,54	0,27331	0,2295	0,1853	164,0	11,40
3	8,890	40	0,549	7,793	14,37	0,47658	0,2792	0,2448	286,2	11,28
		80	0,762	7,366	19,46	0,42613	0,2792	0,2313	255,7	15,25
3 1/2	10,16	40	0,574	9,012	17,29	0,63822	0,3191	0,2832	382,7	13,56
		80	0,808	8,545	23,73	0,57319	0,3191	0,2685	344,1	18,62
4	11,43	40	0,602	10,226	20,45	0,82124	0,3591	0,3213	492,8	16,06
		80	0,856	9,718	28,45	0,74190	0,3591	0,3054	445,0	22,29
5	14,13	40	0,655	12,819	27,74	1,29131	0,4438	0,4026	774,4	21,76
		80	0,953	12,225	39,42	1,1733	0,4438	0,3841	704,3	30,92
6	16,83	40	0,711	15,405	36,00	1,8636	0,5285	0,4840	1118	28,23
		80	1,097	14,633	54,19	1,6815	0,5285	0,4596	1009	42,52
8	21,91	40	0,818	20,272	54,17	3,2274	0,6882	0,6367	1937	42,49
		80	1,270	19,368	82,32	2,9459	0,6882	0,6084	1768	64,57
10	27,31	40	0,927	25,451	76,84	5,0863	0,8577	0,7986	3053	60,24
		80	1,509	24,287	122,3	4,5688	0,8577	0,7629	2780	95,84
12	32,39	40	1,031	30,323	101,6	7,2211	1,0174	0,9540	4333	79,71
		80	1,748	28,890	168,2	6,5550	1,0174	0,9083	3933	131,8

Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales (1 plg = 25.4 mm) [Moody, L.F., *Trans. ASME*, 66, Págs. 671-84 (1944)].

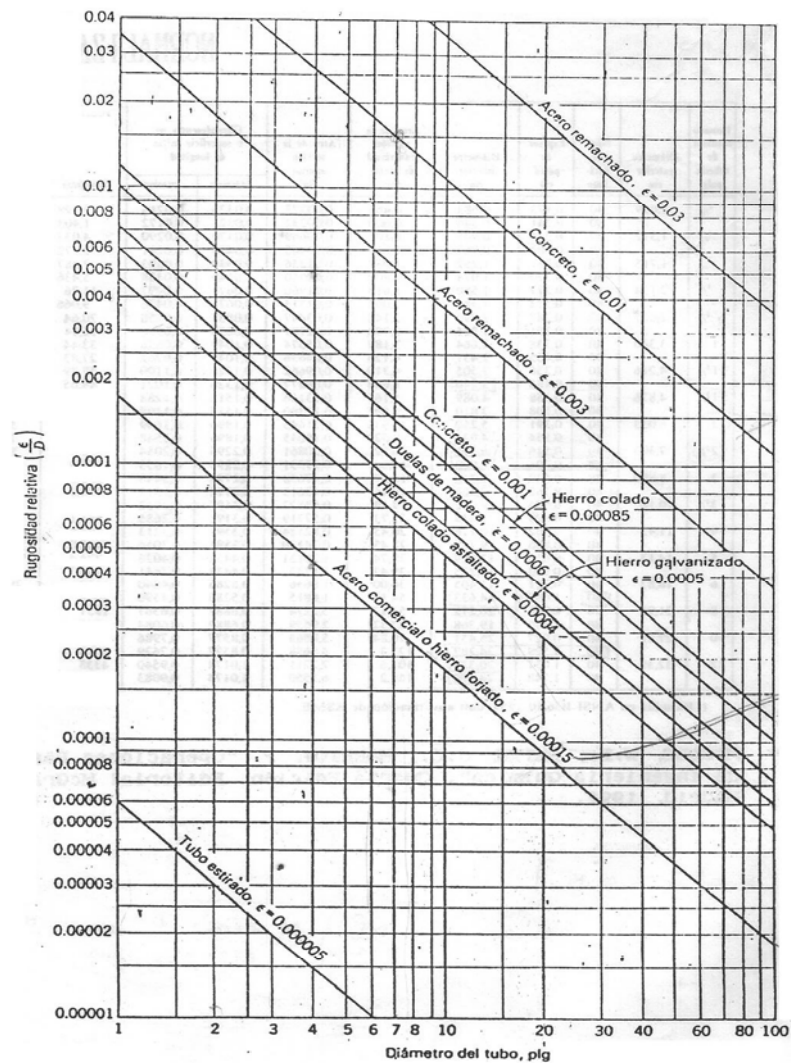


Figura B.2 Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales

Fuente: Perry, 2007



APÉNDICE C. REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

 HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Gerencia de Captación, Tratamiento y Mantenimiento	LABORATORIO ESTATAL ARAGUA ÁREA: FÍSICOQUÍMICO	Formato: F-P
		Muestra: ESPECIAL
		Análisis: 975
		Fecha de Emisión: 02/12/05
		Pág: 1/1

REPORT DE ANÁLISIS

Solicitante: GERENCIA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO	
Lugar de Captación: PRADOS DE LA ENCRUCIJADA SECTOR LOS LIROS CASA N° 29-D	Fuente: RED DISTRIBUCIÓN
Punto de Captación: GRIFO DEL JARDÍN	Aspecto al Captar: Claro
Fecha de Captación: 25/11/05	Hora de Captación: 9:00 A.M

ANÁLISIS	MÉTODO	**Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS	ANÁLISIS	MÉTODO	** Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS
Color Aparente/Real (Pt/Co)	2120 B	15	0,0	Cloro Residual (mg/l)	.....	1,0	0,0
Turbiedad (NTU)	2130 B	5	0,452	Calcio (mg/l)	2340 C	N/R	6,25
Temperatura (C°)	.....	N/R	27,6	Magnesio (mg/l)	2340 C	N/R	2,81
pH	4500-H B	9	7,86	Sulfuro (mg/l)	4500-S D	N/R	N/A
Cloruros (mg/l)	Tiocianato Mercurico *	300	38,0	Sílice (mg/l)	Silicomolibdato *	N/R	21,80
Sulfatos (mg/l)	Sulfaver 4 *	500	N/A	Sodio+Potasio (mg/l)	.....	200	86,35
Aluminio (mg/l)	Aluminón *	0,2	N/A	Dióxido de Carbono (mg/l)	4500-H B ; 2320 B	N/R	3,27
Hierro Total (mg/l)	Ferrozver *	0,3	0,13	Cobre (mg/l)	3500-Cu C	2,0	-
Manganeso (mg/l)	P.A.M *	0,5	0,061	Dureza Total (mg/l)	2340 C	500	27,33
Fluoruro (mg/l)	Spands *	0,6 - 0,8	2,10	Alcalinidad Total (mg/l)	2320 B	N/R	127,44
Nitritos (mg/l)	Diazotación *	0,03	0,08	Fosfato (mg/l)	Fosver *	N/R	0,20
Nitratos (mg/l)	Reducción cadmio *	45	0,44	Cond. Esp. a 25°C (cmhos/cm)	2510 B	N/R	668
Sales Disueltas (mg/l)	.....	1000	N/A	Índice de Langelier	.....	N/R	-0,68

** Máximos Aceptables según Gaceta Oficial # 36395 de fecha 13/02/98. Agua Sub - Tipo 1A

N/R: No Reglamentado N/A: No Analizado

Observaciones: SULFATO NO ANALIZADO POR FALTA DE REACTIVOS	
FLUORURO Y CLORO RESIDUAL FUERA DE NORMAS	
Bibliografía: Metodologías Utilizadas según APHA- AWWA-WPCF (Métodos Normalizados). Edición 17. año 92	
*Metodologías Utilizadas según HACH (Métodos No Normalizados) Aprobados por USEPA (Protección del Ambiente de Estados Unidos)	
 T.S.U. DECSI RUIZ ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD	 T.S.U. YUDITH MARÍN ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD
 ING. IRIS MERENTES COORDINADOR TRATAMIENTO ARAGUA	 ING. EFIRA REJON SUPERVISOR LABORATORIO ARAGUA
 HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Coordinador Tratamiento Aragua	
 HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Supervisor de Laboratorio Aragua	



APÉNDICE C. REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

 HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Gerencia de Captación, Tratamiento y Mantenimiento	LABORATORIO ESTATAL ARAGUA ÁREA: FÍSICOQUÍMICO	Formato: F-P
		Muestra: ESPECIAL
		Análisis: 978
		Fecha de Emisión: 02/12/05
		Pág. 1 / 1

REPORT DE ANÁLISIS

Solicitante: GERENCIA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO	
Lugar de Captación: PRADOS DE LA ENCRUCIJADA SECTOR LAS PALMAS II, VIGILANCIA	Fuente: RED DISTRIBUCIÓN
Punto de Captación: GRIFO DEL BAÑO	Aspecto al Captar: Claro
Fecha de Captación: 28/11/05	Hora de Captación: 9:20 A.M.

ANÁLISIS	MÉTODO	**Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS	ANÁLISIS	MÉTODO	** Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS
Color Aparente/Real (Pt/Co)	2120 B	15	0,0	Cloro Residual (mg/l)		1,0	0,0
Turbiedad (NTU)	2130 B	5	0,208	Calcio (mg/l)	2340 C	N/R	25,77
Temperatura (°C)		N/R	27,4	Magnesio (mg/l)	2340 C	N/R	5,15
pH	4500-H B	9	7,32	Sulfuro (mg/l)	4500-S D	N/R	N/A
Cloruros (mg/l)	Tiocianato Mercurico *	300	22,4	Silicio (mg/l)	Silicomolibdato *	N/R	27,40
Sulfatos (mg/l)	Sulfate 4 *	500	N/A	Sodio+Potasio (mg/l)		200	66,96
Aluminio (mg/l)	Aluminon *	0,2	N/A	Dióxido de Carbono (mg/l)	4500-H B : 2320 B	N/R	15,98
Hierro Total (mg/l)	Ferrozal *	0,3	0,12	Cobre (mg/l)	3500- Cu C	2,0	-
Manganeso (mg/l)	P.A.M. *	0,5	0,058	Dureza Total (mg/l)	2340 C	500	85,89
Fluoruro (mg/l)	Spands *	0,6 - 0,8	1,54	Alcalinidad Total (mg/l)	2320 B	N/R	159,84
Nitritos (mg/l)	Diazotación *	0,03	0,03	Fosfato (mg/l)	Fosvel *	N/R	0,13
Nitratos (mg/l)	Reducción cadmio *	45	0,44	Cond. Esp. a 25°C (mmhos/cm)	2510 B	N/R	601
Minerales Disueltos (mg/l)		1000	N/A	Índice de Langlier		N/R	-0,52

**Máximos Aceptables según Gaceta Oficial # 36395 de fecha 13/02/98. Agua Sub - Tipo 1A

N/R: No Reglamentado N/A: No Analizado

Observaciones: **SULFATO NO ANALIZADO POR FALTA DE REACTIVOS**

FLUORURO Y CLORO RESIDUAL FUERA DE NORMAS

Bibliografía: Metodologías Utilizadas según APHA- AWWA-WPCF (Métodos Normalizados). Edición 17, año 92

*Metodologías Utilizadas según HACH (Métodos No Normalizados) Aprobados por USEPA (Protección del Ambiente de Estados Unidos)

T.S.U DEOSI RUIZ
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

T.S.U YUDITH MARIN
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

ING° IRIS MERENTES
COORDINADOR TRATAMIENTO
ARAGUA

HIDROCENTRO
C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO
Coordinador Tratamiento Aragua

ING° EFIRA REJON
SUPERVISOR LABORATORIO
ARAGUA

HIDROCENTRO
C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO
Supervisor de Laboratorio Aragua



APÉNDICE C. REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

 HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Gerencia de Captación, Tratamiento y Mantenimiento	LABORATORIO ESTATAL ARAGUA ÁREA: FÍSICOQUÍMICO	Formato: F-P
		Muestra: ESPECIAL
		Análisis: 977
		Fecha de Emisión: 02/12/05
		Pág: 1 / 1

REPORTES DE ANÁLISIS

Solicitante: GERENCIA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO	
Lugar de Captación: PRADOS DE LA ENCRUGIADA POZO N° 02	Fuente: RED DISTRIBUCIÓN
Punto de Captación: ENTRADA AL TANQUE	Aspecto al Captar: Claro
Fecha de Captación: 28/11/05	Hora de Captación: 9:30 A.M

ANÁLISIS	MÉTODO	**Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS	ANÁLISIS	MÉTODO	** Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS
Color Aparente/Real (Pt/Co)	2120 B	15	0,0	Cloro Residual (mg/l)		1,0	0,0
Turbiedad (NTU)	2130 B	5	0,128	Calcio (mg/l)	2340 C	N/R	43,72
Temperatura (C°)		N/R	27,5	Magnesio (mg/l)	2340 C	N/R	7,96
pH	4500-H B	9	6,69	Sulfuro (mg/l)	4500-S D	N/R	N/A
Cloruros (mg/l)	Tiocianato Mercurio*	300	19,2	Silicio (mg/l)	Silicomolibdato*	N/R	28,90
Sulfatos (mg/l)	Sulfate 4*	500	N/A	Sodio+Potasio (mg/l)		200	48,26
Aluminio (mg/l)	Aluminón*	0,2	N/A	Dióxido de Carbono (mg/l)	4500-H B ; 2320 B	N/R	70,85
Hierro Total (mg/l)	Ferover*	0,3	0,10	Cobre (mg/l)	3500-Cu C	2,0	-
Manganeso (mg/l)	P.A.M.*	0,5	0,068	Dureza Total (mg/l)	2340 C	500	142,50
Fluoruro (mg/l)	Spands*	0,5 - 0,8	1,04	Alcalinidad Total (mg/l)	2320 B	N/R	177,12
Nitritos (mg/l)	Diazotación*	0,03	0,01	Fosfato (mg/l)	Fosfer*	N/R	0,17
Nitratos (mg/l)	Reducción cadmio*	45	1,32	Cond. Esp. a 25°C (mmhos/cm)	2510 B	N/R	661
Minerales Disueltos (mg/l)		1000	N/A	Índice de Langelier		N/R	-0,87

*Máximos Aceptables según Gaceta Oficial # 36395 de fecha 13/02/98. Agua Sub - Tipo 1A

N/R: No Reglamentado N/A: No Analizado

Observaciones: SULFATO NO ANALIZADO POR FALTA DE REACTIVOS

FLUORURO Y CLORO RESIDUAL FUERA DE NORMAS

Bibliografía: Metodologías Utilizadas según APHA- AWWA-WPCF (Métodos Normalizados). Edición 17. año 92

*Metodologías Utilizadas según HACH (Métodos No Normalizados) Aprobados por USEPA (Protección del Ambiente de Estados Unidos)

T.S.U. DECSI RUIZ
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

T.S.U. JUDITH MARÍN
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

ING° IRIS MERENTES
COORDINADOR TRATAMIENTO
ARAGUA

ING° EFIRAJEJON
SUPERVISOR LABORATORIO
ARAGUA

HIDROCENTRO
C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO
Coordinador Tratamiento Aragua

HIDROCENTRO
C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO
Supervisor de Laboratorio Aragua



APÉNDICE C. REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

	HIDROCENTRO C.A. HIDROLÓGICA DEL CENTRO Gerencia de Captación, tratamiento y mantenimiento	LABORATORIO ESTATAL ARAGUA AREA: FISICOQUÍMICO	Formato: F-PT10-23 Muestra: ESPECIAL Análisis: 99E Fecha de Emisión: 24/03/08 Pág: 1/1
--	---	---	--

REPORTES DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Solicitante:	TESISTAS UNIVERSIDAD DE CARABOBO	
Lugar:	PRADOS DE LA ENCRUJADA CAGUA, POZO # 1	Fuente: SUBTERRANEA
Punto de captación:	Descarga del Tanque	Aspecto al Captar: CLARO / CLARO
Fecha de Captación:	24/ 03/ 08	Hora de Captación: 9: 05 a. m

ANÁLISIS	MÉTODO	*Máximo ACEPTABLE (mg/l)	RESULTADOS
Color (Pt/Co)	2120 B	15	2,5
Turbiedad (NTU)	2130 B	5	8,03
Temperatura (°C)	.....	N/R	26,6
pH	4500-H B	6,0 - 8,5	8,94
Clouros (mg/l)	Tiocionato de Mercuric*	300	2,50
Sulfatos (mg/l)	Sulfaver 4*	500	180,00
Aluminio (mg/l)	Aluminon *	0,2	-
Hierro Total (mg/l)	Fenover *	0,3	0,07
Manganeso (mg/l)	P.A.M*	0,5	0,001
Fluoruros (mg/l)	S ² ANDS *	0,6 - 0,8	1,94
Nitritos (mg/l)	Diazotación *	0,03	0,09
Nitratos	Reducción de Cadmio *	45	0,44
Cloro Residual (mg/l)	.....	0,0	0,0
Calcio (mg/l)	2340 C	N/R	8,84
Magnesio (mg/l)	2340 C	N/R	7,96
Silice (mg/l)	4500- Si D	N/R	31,06
Sodio + Potasio (mg/l)	.....	200	139,04
Dióxido de Carbono (mg/l)	4500 CO2 B	N/R	1,32
Cobre (mg/l)	145 Cu+2 *	1	N/A
Dureza Total (mg/l)	2310C	500	55,27
Alcalinidad Total (mg/l)	2320 B	N/R	137,76
Fosfato (mg/l)	480 PO43- *	N/R	0,25
Conduct. Esp. A 25 °C (µOHMS)	2510 B	N/R	554
Minerales Disueltos(mg/l)	.....	1000	501
Índice de Langelier	.....	N/R	0,55

N/R: No Reglamentado - N/A: No Analizado

*Máximos Aceptable según Gaceta Oficial # 5021 de fecha 18/12/95. AGUA SUB-TIPO1B

Observación: TURBIDEZ Y FLUORURO POR ENCIMA DEL MÁXIMO PERMISIBLE

Bibliografía: Metodologías Utilizadas según APHA- AWWA-WPCF (Métodos Normalizados). Edición 17. año 92

*Métodos utilizados según HACH (Método No Normalizado) Aprobado por USEPA (Protección del Ambiente de Estados Unidos)

T.S.U. EECSI RUZ
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

ING. JOSÉ MERENTES
COORDINADOR TRATAMIENTO
ARAGUA
Coordinador Tratamiento Aragua

T.S.U. YUDITH MARÍN
ANALISTA DE CONTROL DE CALIDAD

ING. ERIK REJÓN
SUPERVISOR LABORATORIO
ARAGUA

Supervisor de Laboratorio Aragua