



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL, MENCIÓN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**TÍTULO DEL PROYECTO
ESTUDIO Y ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS FACTORES QUE
INFLUYEN EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS MEDIANTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS
INVERSA.**

Autor:

MALDONADO BAYAS RANDOL FERNANDO

Milagro, Noviembre 2017

ECUADOR

DECLARACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR DE INVESTIGACIÓN

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por el estudiante Maldonado Bayas Randol Fernando, para optar al título de Ingeniería en **Estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas mediante el proceso de Ósmosis Inversa** y que acepto tutoriar al estudiante, durante la etapa del desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 24 días del mes de noviembre del 2017

Firma del tutor

ING. KLEBER SORNOZA B. Msc

Cédula: 1301784060

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de esta investigación declara ante el Consejo Directivo de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 24 días del mes de noviembre del 2017

Randol Maldonado B.

Maldonado Bayas Randol Fernando

CI: 0918531914

[Faint signature]
PRESIDENTE DEL
TRIBUNAL

[Faint signature]
PROFESOR
DELEGADO

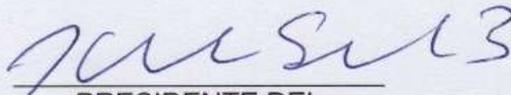
[Faint signature]
PROFESOR
SECRETARIO

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

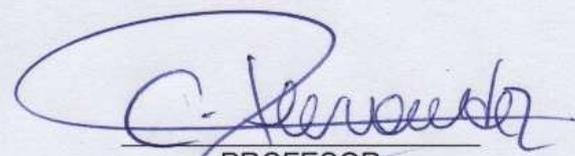
El tribunal calificador previo a la obtención del título de **Estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas mediante el proceso de Ósmosis Inversa**, otorga al presente proyecto de investigación las siguientes calificaciones:

MEMORIA CIENTIFICA	[39]
DEFENSA ORAL	[31]
TOTAL	[70]
EQUIVALENTE	[]

Maldonado Bayas Randol Fernando


PRESIDENTE DEL
TRIBUNAL


PROFESOR
DELEGADO


PROFESOR
SECRETARIO

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por ser mi guía espiritual, por brindarme salud y sabiduría en cada una de las decisiones, metas y objetivos propuestos durante mi vida.

A mi madre quien es el pilar fundamental de mi vida, que con sus consejos, protección ayuda emocional, su amor han hecho de mí una persona íntegra, capaz de cumplir todo propósito trazado.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida, a quienes tengo presente en todo momento.

A mis sobrinos, quienes son parte de mí alegría.

Maldonado Bayas Randol Fernando

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Estatal de Milagro por haberme permitido culminar con mis estudios superiores.

A los docentes que con sus conocimientos y guías fueron claves en este proceso de formación profesional.

A mis amigos que de una u otra manera han estado apoyándome en este arduo camino.

Maldonado Bayas Randol Fernando

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

	Pág.
Ingeniero	
Fabricio Guevara Viejó. Phd.	3
Rector de la Universidad Estatal de Milagro	3
Presente.	3

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de mi (nuestro) Título de Tercer Nivel, cuyo tema fue **"Estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas mediante el proceso de Ósmosis Inversa"** y que corresponde a la Facultad Ciencias de la Ingeniería.

Milagro, 24 de noviembre del 2017.

1.3. JUSTIFICACIÓN..... 6

1.3.1. Justificación de la Investigación..... 6

Randol Maldonado R.
Maldonado Bayas Randol Fernando..... 7

CI: 0918531914..... 7

2.1.1 Antecedentes históricos..... 7

2.1.3 Fundamentación..... 11

2.2 MARCO LEGAL..... 41

2.3 MARCO CONCEPTUAL..... 48

2.4.1 Hipótesis General..... 49

2.4.2 Hipótesis Particulares..... 50

2.4.3 Declaración de las variables..... 50

2.4.4 Operacionalización de las variables..... 50

ÍNDICE GENERAL

Pág.

CAPITULO I

EL PROBLEMA.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Problematización.....	3
1.1.2. Delimitación del problema	5
1.1.3. Formulación del problema.....	5
1.1.4. Sistematización del problema	5
1.1.5. Determinación del tema	5
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
1.3.1. Justificación de la Investigación	6

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL	7
2.1 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.1 Antecedentes históricos	7
2.1.3 Fundamentación.....	11
2.2 MARCO LEGAL.....	44
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	48
2.4.1 Hipótesis General	49
2.4.2 Hipótesis Particulares.....	50
2.4.3 Declaración de las variables	50
2.4.4 Operacionalización de las variables.....	50

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO.....	51
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y SU PERSPECTIVA GENERAL.....	51
3.2 LA POBLACION Y LA MUESTRA	52
3.2.1 Características de la población	52
3.2.2 Delimitación de la población	52
3.2.3 Tipo de muestra	52
3.2.4 Tamaño de la muestra	52
3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS	53
3.3.1 Métodos teóricos o procedimientos lógicos	53
3.3.2 Métodos empíricos.	53
3.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	53

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	54
4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	54
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS	56

CAPÍTULO V

PROPUESTA.....	62
5.1 TEMA	62
5.2 JUSTIFICACIÓN.....	62
5.3 FUNDAMENTACIÓN	62
5.4 OBJETIVOS.....	67
5.4.1 Objetivo general de la propuesta	67
5.4.2 Objetivos específicos de la propuesta	68

5.5 UBICACIÓN	68
5.6 FACTIBILIDAD.....	69
5.7 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	70
5.7.1 Actividades.....	70
5.7.2 Recursos, análisis financiero	76
5.7.3 Impacto	76
5.7.4 Cronograma	77
5.7.5 Lineamiento para evaluar la propuesta	77
Bibliografía.....	80
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Procesos de purificación del agua	12
Cuadro 2 Atributos comunes del agua afectados por los procesos y operaciones unitarias convencionales de tratamiento	13
Cuadro 3 Efectividad de los procesos de tratamiento de agua en la remoción de contaminantes en solución	14
Cuadro 4 Información típica para diseño de aireadores de bandeja	20
Cuadro 5 Operacionalización de las variables independientes y dependientes	50
Cuadro 6 Características físico Químicas del agua de pozo	54
Cuadro 7 Agua potable	55
Cuadro 8 VESSELS	55
Cuadro 9 Características del agua	57
Cuadro 10 Situación actual	59
Cuadro 11 Con filtros de arena verde	60
Cuadro 12 Verificación de la hipótesis general y particulares	61
Cuadro 13 Costo de inversión propuesta	76
Cuadro 14 Cronograma de actividades	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Filtro lento de arena	27
Figura 2 Corte a través de un filtro de presión	27
Figura 3 Características, sustancias inorgánicas y radiactivas	45
Figura 4 Sustancias orgánicas	45
Figura 5 Plaguicidas	46
Figura 6 Residuos de desinfectantes	46
Figura 7 Subproductos de desinfección	46
Figura 8 Cianotoxinas	47
Figura 9 Requisitos microbiológicos	47
Figura 10 Membrana dañada	56
Figura 11 Acople dañado	56
Figura 12 Proceso de membranas	64
Figura 13 Mapa de ubicación	68

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo investigativo se enfocó en el estudio y análisis de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas mediante el proceso de Ósmosis Inversa, una vez planteado el tema se evidenció a través de la observación directa los problemas que se presentan en las plantas de purificación de agua, para lo cual se establecieron los respectivos objetivos, los cuales consistieron en garantizar los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano según la Norma INEN 1108, demostrar que el pre tratamiento del agua cruda incide en la carga del equipo de Ósmosis Inversa y determinar cómo el desconocimiento de los procedimientos de potabilización de aguas subterráneas por medio del proceso de Ósmosis Inversa incide en la calidad de agua potable, teniendo claro los objetivos se procedió a fundamentar el marco teórico con temas acorde a las variables investigativas. El planteamiento de las hipótesis se las realizó en base a los objetivos específicos, de las cuales se extrajeron las variables independientes y dependientes, las mismas que fueron operacionalizadas. En lo concerniente a la metodología se aplicó varios tipos de investigación, métodos y técnicas a utilizarse que permitió la verificación de las hipótesis, cabe mencionar que se empleó reportes de análisis realizados por el investigador sobre el agua cruda, lo cual dio la pauta para proponer la elaboración de un manual de operación y mantenimiento aplicado a la planta de potabilización de agua, con el cual se busca optimizar los procesos en el pre tratamiento del agua cruda y así evitar el daño de los equipos y por ende el incremento de los costos a las plantas purificadoras de agua.

Palabras claves: Técnico, Factores, Potabilización, Agua, Ósmosis inversa

ABSTRACT

The development of this investigative work focused on the study and analysis of the factors that influence the potabilization of groundwater through the process of Reverse Osmosis, once the subject was raised through direct observation the problems that are presented in The water purification plants, for which the respective objectives were established, which consisted in guaranteeing the requirements that drinking water must comply with according to INEN Standard 1108, to show that the pre-treatment of raw water affects the load Of the Reverse Osmosis team and determine how the ignorance of groundwater purification procedures by means of the reverse osmosis process influences the quality of drinking water, having clear the objectives, we proceeded to base the theoretical framework with themes according to the variables Investigations. The assumptions were made based on the specific objectives, from which the independent and dependent variables were extracted, the same ones that were operationalized. Regarding the methodology, several types of research, methods and techniques were used to allow the verification of the hypotheses. It is worth mentioning that research reports were carried out by the researcher on raw water, which gave the guidelines for proposing The elaboration of an operation and maintenance manual applied to the water purification plant, which seeks to optimize the processes in the pre-treatment of raw water and thus avoid damage of equipment and therefore the increase of costs to Water purification plants.

Key words: Technical, Factors, Purification, Water, Reverse osmosis

INTRODUCCIÓN

El trabajo esta direccionado a la potabilización del agua cruda, lo cual consiste en la eliminación de compuestos volátiles seguida de la eliminación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro.

Las aguas procedentes de pozos necesitan un tratamiento complejo antes de ser suministradas a los consumidores, debido a que las precipitaciones traen cantidades apreciables de materia sólida, razón por la cual el objetivo de la potabilización es garantizar al consumidor que el tipo de agua captada está dentro de la calidad indicada en la norma INEN 1108 determinada.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus Guías para la calidad del agua potable, y otras normas internacionales, establecen o recomiendan requisitos de calidad para el agua de consumo humano. En general, la normativa establece que el agua es apta bacteriológicamente para consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal. (Idrovo, 2016)

La purificación de agua es un trabajo que debe realizarse de forma tecnificada, para evitar la contaminación del agua, motivo por el cual se enfocó este proyecto al estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas, para ello se ha distribuido la información en cinco capítulos.

En el capítulo uno se estableció información veraz sobre los problemas evidenciados en el trabajo de observación realizado a las plantas de purificación de agua del cantón Durán, se plantearon los respectivos objetivos y justificación que dieron la pauta para el desarrollo total de este trabajo.

En el capítulo dos se puede apreciar toda la información relacionada a las variables investigativas, es decir todo lo concerniente al tema planteado, se fundamentó legalmente el trabajo bajo la norma INEN 1108, culminado este parte con el planteamiento de las hipótesis las mismas que responden a la formulación y sistematización del problema.

El capítulo tres, se enfoca específicamente en los tipos de investigación utilizados tales como de campo, bibliográfica, descriptiva y explicativa, las mismas que ayudaron a fundamentar este trabajo, también se emplearon métodos y como técnica de

recolección de datos se utilizó reportes de los análisis realizados en las empresas purificadoras de agua, de esta manera poder dar la pauta para establecer una propuesta acertada ante la problemática planteada.

En el capítulo cuatro se recolectó información obtenida de reportes donde se pueden observar claramente que una de las plantas que se estudió presenta problemas en el análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas, lo cual ha generado daño en los equipos por la ruptura de membranas, siendo esto un problema para estas empresas puesto que se ven en la necesidad de incurrir en elevados costos para poder continuar trabajando con normalidad.

En el capítulo cinco se estableció la propuesta la misma que consistió en la elaboración de un manual de operación y mantenimiento aplicado a la planta de potabilización de agua.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Problematicación

Sin lugar a dudas uno de los recursos, que mayor impacto representa en la comunidad internacional es el agua, lo difícil y accesible en muchos casos, a este recurso natural lo hace cada vez más complicado proveerse de este, sumado a esto lo escaso que se encuentra en el planeta, según los cálculos realizados por científicos del 100% que contamos el 95% es agua salada proveniente de los océanos, la diferencia o el 5% es agua dulce, proveniente de ríos, lagunas, aguas subterráneas, lo que lo convierte aún más difícil, porque la contaminación de ríos, es una amenaza que crece cada año y al no haber responsabilidad corporativa, cada quien lo único que le importa son las ganancias generadas por utilizar este recurso y de este escaso 5% es donde se utiliza para potabilizar agua para el consumo de la comunidad.

El Ecuador no está excepto de esta realidad, aún hay lugares donde no se cuenta con agua potable y el abastecimiento de este, es a través de tanqueros, lo que encarece el uso, según la Constitución del 2008 es un derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable.

En Durán, en los últimos diez años los inversionistas privados han visto a este cantón como un lugar estratégico, por encontrarse a pocos minutos del puerto principal, Guayaquil, sin embargo cuando se habla de agua potable no se cuenta con un buen abastecimiento, por no tener la infraestructura necesaria para brindar este servicio, para el sector industrial, tan importante para el desarrollo de la matriz productiva que el estado promueve recientemente.

A pesar de lo antes mencionado no ha sido un obstáculo para el desarrollo industrial, las compañías se abastecen por medio de tanqueros, para suplir sus necesidades de uso industrial. Pero esto implica una serie de inconvenientes, como de calidad de agua y abastecimiento diario.

Por ello la compañía XYZ, esta, ubicada en la Vía Durán Tambo, cuenta con una planta de potabilización de agua, cuya captación es de agua subterránea y luego pasa a un pre-tratamiento para después ingresar al sistema de ósmosis inversa una vez tratada se realiza la respectiva cloración para almacenarla, posteriormente utilizarla en procesos que van desde su utilización en calderas, elaboración de productos terminados, sanitización, comedor, baños y duchas.

A pesar de que la compañía está en funcionamiento desde hace dos años necesita evaluar técnicamente la eficiencia del sistema de ósmosis inversa en todos sus aspectos. Cabe mencionar que aún no se ha realizado un estudio que pueda medir los procesos de potabilización para ajustarse a los lineamientos del fabricante que en un principio garantizaba el 70% de agua permeada con un rechazo del 30%.

Dentro del estudio investigativo se ha evidenciado el mal diseño del sistema de oxidación, es decir, de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda, lo cual ha generado obstrucción de tuberías y la carga de los filtros de la planta, todo esto daña al equipo produciendo entonces costos por mantenimiento en los filtros.

Otros de los problemas que se evidenció es la saturación de los filtros de 5 micras por la oxidación del magnesio que no se eliminan adecuadamente, situación que permite el incremento de los costos para la empresa.

El desconocimiento de procedimientos de potabilización ha sido un problema que afecta en el análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas, por lo tanto no se garantiza la calidad del agua, situación que amerita una capacitación para aplicar un adecuado proceso en el tratamiento del agua.

Cabe mencionar que en operaciones normales, es importante realizar un adecuado análisis del agua cruda para evitar el rompimiento de las membranas. La vida útil de las membranas es de alrededor de tres años a cinco más, al romperse una membrana

ocasiona pérdidas por desabastecimiento de agua. De allí la necesidad de evaluar todo este sistema de ósmosis inversa. Se requiere hacer los mantenimientos periódicos, la pre filtración que incorpora el equipo: eliminar las partículas en suspensión con cartuchos de sedimentos y el cloro mediante cartuchos de carbón activado granular o carbón bloc.

1.1.2. Delimitación del problema

Área: Potabilización de Agua por Ósmosis Inversa.

Campo: Estudio y Análisis de factores que influyen.

1.1.3. Formulación del problema

¿En qué medida el estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas mediante el proceso de ósmosis inversa contribuirá en el mejoramiento de la producción de agua potable en la empresa XYZ?

1.1.4. Sistematización del problema

¿Cómo garantizar la calidad de agua según la Norma INEN 1108?

¿De qué manera el pre tratamiento del agua cruda incide en la carga del equipo de Ósmosis Inversa?

¿Cómo el desconocimiento de los procedimientos de potabilización de aguas subterráneas por medio del proceso de Ósmosis Inversa incide en la calidad de agua potable?

1.1.5. Determinación del tema

Estudio y análisis técnico de los factores que influyen en la potabilización de agua subterráneas mediante el proceso de ósmosis inversa.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Identificar mediante el estudio y análisis técnico quede los procesos de potabilización de las aguas subterráneas mediante el proceso de ósmosis inversa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Garantizar los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano según la Norma INEN 1108.
- Demostrar que los problemas del equipo de ósmosis inversa se deben a la sobrecarga por mal pre tratamiento del agua.
- Demostrar que la mala calidad del agua producida por esa industria se debe al desconocimiento de los procedimientos de potabilización de aguas subterráneas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Justificación de la Investigación

La evaluación y análisis en el del tratamiento del agua potable subterránea, se la realiza a través de un sistema de ósmosis inversa, el mismo que provee de herramientas y criterios técnicos para brindar un mejor servicio. El proceso le brinda a la empresa una reducción de los costos de producción, desperdicios innecesarios, control de todos los parámetros tanto de producción como de los mantenimientos necesarios para un buen rendimiento.

En este trabajo se aplicará métodos de investigación que permitirán demostrar los problemas evidenciados, instrumentos que ayudará a encontrar las causas de dichos problemas y permitirán darles una solución.

Al final todo esto se traduce como el compromiso de establecer una relación ganar-ganar, ganan los clientes y ganan las empresas que mantienen una planta de purificación del agua. La competitividad y optimización es uno de los ejes centrales en el que se basa el diseño de este plan.

Los beneficiarios de este trabajo investigativo directamente serán las personas que consumen el líquido vital, puesto que podrán recibir un servicio de calidad, además de ellos se verán beneficiadas las empresas que cuentan con una planta de purificación del agua.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Antecedentes históricos

Historia del tratamiento del agua potable

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se las utilizan cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos del agua subterránea que se extrae mediante la perforación de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Por ejemplo en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar otros materiales como cerámica, madera y metal. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

Alrededor del año 3000 a.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán) utilizaba instalaciones y necesitaba un suministro de agua muy grande. En esta ciudad existían servicios de baño público, instalaciones de agua caliente y baños.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

El agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores.

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas.

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública. (Lenntech B.V, 2012)

Agua Potable

El agua potable es esencial para la vida. Es el líquido más importante de la naturaleza sin el cual no podríamos vivir. El agua potable nos ayuda a estar sanos, a hacer la digestión, mantiene la musculatura en buen estado, actúa refrigerando o calentando el cuerpo y ayuda a transportar el oxígeno entre las células de nuestro cuerpo.

El planeta tierra tiene un 70 % de agua, pero esa agua es salada y no es buena para que la tome el hombre o los animales o para la agricultura, ni tampoco para la industria. El agua buena es el agua dulce, pero el agua dulce es bastante escasa, apenas el 3 por ciento del agua de la tierra es potable, y la mayoría aparece en forma de hielo en los polos terrestres. Con estos datos, es fácil darse cuenta de la importancia que tiene el agua potable en la vida y en el organismo de los seres vivos de este planeta.

El agua marina contiene sales disueltas en su interior. Se cree que el agua dulce tiene menos de un 0,2% de sales, mientras que el agua de mar tiene hasta un 3,6 %, lo que significa hasta 4 veces más salinidad que la que tenemos en nuestro cuerpo, por ejemplo en las lágrimas.

Es por ello que cuando un naufrago bebe agua marina, el cuerpo lucha por deshacerse de tan grande cantidad de sales diluyendo la que hay con más agua del propio cuerpo, por lo que se consigue el efecto contrario a la hidratación y el naufrago acaba muriendo antes de deshidratación. Se cree que en cantidades pequeñas, como una cucharadita de agua cada 30 minutos, se consigue engañar al cuerpo y no se produce la deshidratación, pudiendo aprovechar el agua salada para hidratarnos y sobrevivir en la isla desierta hasta que llegue la ayuda.

Pese a lo importante de conservar limpia y adecuada el agua potable, cada vez se dan más casos de contaminación. Se hace por tanto urgente el cuidado del agua potable con el fin de evitar enfermedades que alcancen al ser humano, a los animales o a la agricultura en general. (Díaz de Villegas, 2015)

2.1.2 Antecedentes referenciales.

Tema: Gobernabilidad de los servicios de agua potable y saneamiento en América Latina.

Autor: María Elena Corrales.

Resumen: “El proceso de transformación de los servicios de agua potable y saneamiento (SAPS) en América Latina se viene adelantando desde fines de la década de los ochenta, siguiendo las pautas generales que impulsaron los cambios en todos los servicios por redes y en particular en telecomunicaciones y electricidad. Este proceso, ciertamente con diversos grados de avance y de éxito en cada uno de los países de la Región, ha estado caracterizado por un menor dinamismo frente a los otros servicios y actualmente, es posible detectar algunas tendencias que de no ser corregidas mantendrán al sector en un verdadero “callejón sin salida”. El presente artículo es un intento por analizar el proceso de transformación de los servicios de agua potable y saneamiento desde la perspectiva brindada por el enfoque institucional y utilizando el concepto de “gobernabilidad” como elemento central en la definición de los logros, dificultades y limitaciones identificados.

En tal sentido, se evalúa la coherencia y pertinencia del arreglo institucional que se ha propuesto como paradigma de modernidad sectorial con la naturaleza de los SAPS, su eficiencia en la superación de los problemas más urgentes y las fortalezas y restricciones de las capacidades presentes en los países latinoamericanos, para superar con eficiencia dichos problemas. Por lo menos tres características propias de los SAPS limitan de manera notoria la aplicación de este arreglo institucional: su condición de monopolio natural, las fuertes externalidades asociadas a la salud y el limitado número de operadores privados. Los elementos señalados podría explicar la baja eficiencia del modelo para resolver algunos de los problemas más notorios y tradicionales del sector, así como en el hecho de haberse originado un conjunto de nuevos problemas sectoriales que no encuentran respuesta dentro del modelo propuesto.” (Christophe Bosch, 2017)

Revista: Solo Ciencia.

Autor: María del Mar. G.

Fecha publicación: 31 de Agosto del 2013

“Mientras que en muchos lugares el agua limpia y fresca se da por hecho, en otros es un recurso escaso debido a la falta de agua o a la contaminación de sus fuentes. Aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18 por ciento de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable, y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado. En los países en desarrollo, más de 2.200 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año a causa de enfermedades asociadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento inadecuado e insalubridad. Además, gran parte de las personas que viven en los países en desarrollo sufren de enfermedades causadas directa o indirectamente por el consumo de agua o alimentos contaminados o por organismos portadores de enfermedades que se reproducen en el agua. Con el suministro adecuado de agua potable y de saneamiento, la incidencia de contraer algunas enfermedades y consiguiente muerte podrían reducirse hasta en un 75 por ciento.”
(Mar, 2013)

2.1.3 Fundamentación

Purificación del Agua

La purificación del agua es uno de los problemas de las ingenierías civil y ambiental de más urgente solución. El objetivo inmediato es proveer a toda la sociedad de agua potable, porque de esta manera cada comunidad satisface un requerimiento fundamental para su bienestar y comodidad. En Colombia existen más de mil municipios, muchos de ellos sin ningún sistema de purificación del agua.

Tipos de Plantas de Purificación

La calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra; por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la calidad del agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. Para diseñar una planta de tratamiento eficiente y económico se necesita un estudio de ingeniería cuidadoso, basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de calidad requerida. Como no existe una norma o fórmula que permita determinara el tipo de planta que se necesita para tratar un agua hay que realizar los

estudios de trazabilidad. Se han formulado criterios generales de tratamiento de agua cruda, según la calidad de la fuente, los cuales sirven como guía. En el cuadro se resumen las recomendaciones sobre requisitos de tratamiento del USPHS en relación con la calidad bacteriológica del agua cruda. (Freire & Muyulema Pinguil, 2013)

Cuadro 1 Procesos de purificación del agua

<i>Proceso</i>	<i>Propósito</i>
TRATAMIENTO PRELIMINAR	
Cribado	Remoción de desechos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta.
Pretratamiento químico	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan desagradables sabor, olor y color.
Presedimentación	Remoción de grava, arena, limo y otros materiales sedimentables.
Aforo	Medida del agua cruda por tratar.
TRATAMIENTO PRINCIPAL	
Aireación	Remoción de olores y gases disueltos: adición de oxígeno para mejorar sabor.
Coagulación/floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables.
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables.
Ablandamiento	Remoción de dureza.
Filtración	Remoción de sólidos finos, floc en suspensión y la mayor parte de los microorganismos.
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color.
Estabilización	Prevención de incrustaciones y corrosión.
Fluoración	Prevención de caries dental.
Desinfección	Exterminio de organismos patógenos.

Fuente: (Freire & Muyulema Pinguil, 2013)

Cuadro 2 Atributos comunes del agua afectados por los procesos y operaciones unitarias convencionales de tratamiento

Atributo	Aireación	Coagulación floculación y sedimentación	Ablandamiento con cal-soda y sedimentación	Filtración lenta en arena sin (c)	Filtración rápida en arena precedida de (c)	Cloración
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Bacterias	0	+	(+++) ¹²	++++	++++	++++
Color	0	+++	0	+	++++	0
Turbidez	0	+++	(++) ²	++++ ³	++++	0
Olor y sabor	++ ⁴	(+)	(++) ²	+	(++)	++++ ⁵
Dureza	+	(--) ⁷	++++ ¹¹	0	(--) ⁷	-- ⁶
Corrosividad	+++ ⁸ --- ⁹	(--) ¹⁰	11	0	(--) ¹⁰	0
Hierro y manganeso	+++	+ ¹²	(++)	++++ ¹²	++++ ¹²	0

Fuente: (Freire & Muyulema Pinguil, 2013)

1. Cuando se producen valores muy altos de pH por tratamiento con exceso de cal
2. Mediante inclusión en los precipitados.
3. Por turbidez alta, los filtros se taponan muy rápidamente.
4. Sin incluir sabores por clorofenoles.
5. Cuando se emplea cloración al punto de quiebre o supercloración seguida de decloración.
6. Cuando no se emplea en presencia de olores y sabores intensos.
7. Algunos coagulantes convierten carbonatos en sulfatos.
8. Mediante remoción de dióxido de carbono
9. Mediante adición de oxígeno.
10. Algunos coagulantes introducen dióxido de carbono.
11. Variable; algunos metales son atacados a valores de pH altos.
12. Después de la aireación.

Cuadro 3 Efectividad de los procesos de tratamiento de agua en la remoción de contaminantes en solución

Contaminante	Aireación	Coagulación, sedimentación, filtración	Ablandamiento con cal	Oxidación química y cloración	Procesos de membrana			Intercambio iónico		Adsorción	
					Nanofiltración	Ósmosis inversa	Electrodialisis inversa	Anión	Catión	Carbón activado granular	Carbón activado en polvo
Color		X		X	X	X				X	X
Sabor y olor	X			X						X	X
Sólidos disueltos totales						X	X				
Inorgánicos											
Antimonio						X	X				
Arsénico (+3)		XO	XO			X	X	X			X
Arsénico (+5)		X	X			X	X	X			X
Bario			X			X	X		X		
Berilio		X	X			X	X				
Cadmio		X	X			X	X		X		
Cloruros						X	X				X
Cromo (+3)		X	X			X	X		X		
Cromo (+6)						X	X	X			
Cianuro				X							
Dureza			X		X	X	X				
Fluoruro			X			X	X				
Hierro		XO	X						X		
Manganeso		XO	X						X		
Mercurio (inorgánico)			X			X	X				
Niquel			X			X	X		X		
Nitrato						X	X	X			
Nitriti						X	X	X			
Selenio(+4)		X				X	X	X			X
Selenio(+6)						X	X	X			X
Sulfatos					X	X	X				
Talio						X	X				X
Zinc			X			X	X		X		
Contaminantes orgánicos											
Orgánicos volátiles	X									X	
Orgánicos Sintéticos						X				X	X
Pesticidas/Herbicidas					X	X				X	X
Carbono orgánico disuelto		X			X	X				X	X
Radionúclidos											
radio (226 + 228)			X			X	X		X		
uranio						X	X	X			

(Freire & Muyulema Pinguil, 2013)

X = Proceso apropiado para este contaminante

XO = Apropiado cuando se usa conjuntamente con oxidación

El agua debe purificarse para que este siempre libre de todo organismo patógeno es decir, que sea biológicamente segura. La desinfección es efectiva para dicho propósito si el agua carece de material suspendido. La posibilidad de que los microorganismos patógenos, especialmente los virus, se encuentran embebidos dentro de un recubrimiento protector del material que produce turbiedad en el agua hace necesario remover previamente la turbiedad para una buena desinfección.

El comité sobre virus de la AWWA recomienda, para una desinfección apropiada, mantener niveles de turbiedad menores de 1 NTU. Lo anterior supondría, por tanto, como tratamiento mínimo para aguas de consumo, la filtración y desinfección.

Consideraciones Generales del Diseño

El objetivo básico del diseño de una planta de purificación de agua es integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable. Por tanto, la planta de purificación debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentación indispensables.

Las condiciones locales predominantes determinan la importancia de los factores mencionados previamente y su incidencia en cada diseño particular. En general se recomienda tener en cuenta, entre otros, los siguientes preceptos de diseño:

- No existe un problema típico de diseño de una planta de purificación. En la práctica, los proyectos varían desde una pequeña adición a un sistema existente hasta el diseño de un sistema completo.
- Aunque la planta de tratamiento desempeña, en muchos casos, el papel primordial en el mejoramiento de la calidad del agua, en el diseño deben considerarse además fuente y el sistema de distribución, si se quiere lograr la producción económica de un agua de buena calidad.
- El ingeniero diseñador debe familiarizarse con todas las normas, leyes y requerimientos oficiales aplicables al proyecto: especificaciones para el diseño de

plantas potabilizadoras de agua, Insfopal-1970; Decreto 475 de 1998; Decreto 1594 de 1984; códigos de construcción, RAS-2000.

- El tipo de tratamiento depende de la calidad de la fuente de suministro y de la calidad deseada en el agua producida. Por tanto una información adecuada sobre la fuente es prerequisite del diseño. Esto supone un análisis completo del agua cruda y cuando la fuente no es de características uniformes, el conocimiento de las variables de sus características y una evaluación de los cambios posibles de calidad de la fuente durante la vida útil de la planta.
- Cuando no existe información suficiente sobre la calidad de la fuente, además de un programa de muestras y análisis, debe recogerse información proveniente de plantas en operación de fuentes semejantes en el área.
- En fuentes superficiales la bocatoma o captación debe localizarse en tal forma que provea una adecuada protección contra cualquier fuente de polución. En embalses profundos, las captaciones con tomas múltiples, a varias profundidades, ofrecen flexibilidad en la selección del agua y en la calidad de la misma en diferentes condiciones. En fuentes subterráneas, la profundidad y la localización de los pozos son condicionadas por la adecuada protección y de los mismos contra fuentes de polución y por la obtención de agua de calidad favorable.
- La capacidad nominal de diseño de una planta es generalmente mayor que la demanda máxima diaria proyectada para el periodo de diseño.
- En la selección del periodo de diseño de los componentes de la planta se deben tener en cuenta la vida útil de la estructura y el equipo, la facilidad de expansión, la tasa de crecimiento del área de servicio, la tasa de interés sobre los préstamos, los cambios del poder adquisitivo de la moneda durante el periodo de deuda y la operación de las estructuras y los equipos en los años iniciales. En general, se proveen desde el principio aquellas estructuras que no pueden construirse económicamente por etapas, ejemplo: edificios y estaciones de bombeo.
- Es necesario que la planta de purificación pueda operar continuamente con uno o más equipos fuera de servicio por mantenimiento.

- Para localización de la planta se deben considerar los siguientes aspectos: área futura de servicio, costo bajo del terreno, ubicación con respecto a la fuente de distribución, topografía, disponibilidad de energía eléctrica, facilidades de acceso y de disposición de residuos, actitud de la comunidad, defensa civil y protección contra tentados, belleza natural y paisajística.

- Las especificaciones respectivas deben garantizar una construcción económica pero durable, teniendo en cuenta que las plantas se usan por muchos más años que los de su periodo de diseño.

Aireación

Generalidades

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. En resumen, es el proceso de introducir aire al agua. Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD
- Disminuir la concentración de CO_2
- Disminuir la concentración de H_2S^2
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco
- Oxidar hierro y manganeso
- Remover compuestos orgánicos volátiles
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

En tratamiento de aguas residuales la función más común del sistema de aireación es transferir oxígeno al líquido, a las tasas requeridas para que el oxígeno no limite la utilización de la materia orgánica y las funciones metabólicas de los microorganismos. La aireación representa una de las operaciones de uso más intensivo de energía en los sistemas de tratamiento, mediante equipos de aireación difusa, equipos de turbina y aireadores mecánicos.

En purificación de aguas se agrega oxígeno mediante aireación para la remoción de hierro y manganeso, principalmente. En plantas de ablandamiento se utiliza la aireación para remover CO_2 antes de ablandar con cal. Aunque también se usa la aireación para la remoción de olores y sabores causados por sustancias volátiles en el agua, en la mayor parte de los casos la aireación es un poco efectiva en la solución de dichos problemas.

La aireación permite remover H_2S mediante acción física de desorción o arrastre. Disminuyendo el pH a 6 o menos, el H_2S existe como gas en solución y puede ser removido por la aireación. Por otra parte, a pH mayor de 8, el H_2S se ioniza para formar HS^- y S^{2-} , los cuales no son removidos por aireación, y el oxígeno suministrado por la aireación permite la liberación del azufre para que se formen partículas coloidales que le producen al agua una turbiedad. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la presencia del H_2S como gas produce malos olores mientras que las formas ionizadas son inodoras.

La aireación cumple sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por el proceso de oxidación de los metales y los gases.

El agua aireada es más agradable al paladar, la aireación reduce el nivel de CO_2 hasta unos 4,5 mg/L, pero la corrosión solo se previene si la alcalinidad del agua excede de 100mg/L.

Los principales aireadores, utilizados comúnmente en purificación de aguas de pozos, son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas. En aguas residuales se emplean aireadores por difusores y aireadores mecánicos superficiales o sumergidos.

Aireadores de bandejas múltiples

Un aireador de bandejas múltiples consiste en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base.

En muchos aireadores de bandeja se coloca medio grueso de coque, piedra, ladrillo triturado o cerámica de 5 – 15 cm de diámetro, para mejorar la eficiencia del intercambio de gases y la distribución del agua; en plantas de remoción de hierro y manganeso, para usar el efecto catalítico de los depósitos de hierro y manganeso.

Generalmente se emplean de tres a nueve bandejas, comúnmente tres a cinco; el espacio entre bandejas es de 30 a 75 cm. El área requerida para las bandejas varía entre 0,05 y 0,15 m² por L/s de agua tratada, por lo general menos de 0,06 m². Otros autores especifican medio de contacto de 3 a 6 cm de diámetro, separación entre bandejas de 30 – 60 cm 7 3,5 a 7,0 L/s por cada m² de lecho de contacto. La altura del aireador de bandejas suele ser de 2 a 3 m.

La ventilación es un factor importante en el diseño de estos aireadores y debe estudiarse cuidadosamente para selección del sitio de localización. La corrosión, la formación de lamas biológicas y crecimientos algares son factores de importancia en el diseño de aireadores; por ello, se construyen con materiales durables como acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes.

Los crecimientos biológicos y de algas pueden controlarse mediante tratamiento del agua cruda con cloro y sulfato de cobre. La remoción de CO₂ en estos aireadores puede calcularse, aproximadamente, por la fórmula de Scott:

Cuadro 4 Información típica para diseño de aireadores de bandeja

Parámetro	Valor	Unidad	Referencia
Carga hidráulica		m/d	3
(Caudal/área total de bandejas	550 -		
	1.800	m/d	3
	<700	m/d	4
	300 - 600	m/d	7
	500 -		
	1.600	m/d	9
	120	m/d	15
	60 - 300	m/d	25
	<300	m/d	51
	600 -		
	1.200	m/d	
Número de bandejas	3 - 5		
	4 - 6		7
	>3		25
Altura total del aireador	12 - 3	m	7
Lecho de contacto			
Espesor	15 - 30	cm	
Coque o piedra, diámetro	4 - 15	cm	
Coque o piedra, diámetro	5	cm	7
Esferas de cerámica, diámetro	5 - 15	cm	15
Orificios de distribución, diámetro	5 - 6	mm	
	5 - 12	mm	(7, 15, 25)
Separación entre orificios	2.5	cm	
	2.5 - 7.5	cm	(7, 25)
Profundidad de agua en la bandeja	15	cm	
Separación entre bandejas	30 - 75	cm	
	<30	cm	
Eficiencia en remoción de CO₂	30 - 60%		7

(Freire & Muyulema Pinguil, 2013)

Mezcla Rápida

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene por lo general el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo del agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como resaltos hidráulicos en canales, canaletas, Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores

mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida.

En los mezcladores hidráulicos la mezcla se ejecuta como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecanismos la mezcla se induce a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina. Los de hélice, semejantes a hélices de barco, generan corrientes axiales fuertes que crean intensidad de mezcla y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto. Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales, y se usan más en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2-150 r.p.m., debido a la mayor área expuesta al agua.

El termino turbina se aplica, indistintamente, a una gran variedad de formas de impulsores; consisten por lo regular en varias aletas rectas montadas verticalmente sobre una placa plana, aunque también se usan las de aletas curvas. La rotación se hace a velocidades moderadas y las corrientes generales son principalmente de dirección radial y tangencial. Los impulsores de flujo radial descargan el líquido desde el impulsor, a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje; en los de flujo axial, el líquido entra al impulsor y se descarga desde el, en forma paralela a su eje.

Floculación

El termino floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes. Es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas, sin romper o disturbar los agregados preformados.

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floc, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

En partículas muy pequeñas, el movimiento browniano es muy lento y se requiere algún mecanismo de transporte que induzca la colisión de las partículas, creando la floculación orto cinética.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementa su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta con un tiempo de retención relativamente prolongado.

Sedimentación

Introducción

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas solidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos, se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de solidos sedimentales antes de la coagulación; en esos casos se conoce como presedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se emplea para remover los sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal.

A la sedimentación la pueden preceder la presedimentación y la aireación; por lo general va seguida de la filtración. En el tratamiento de aguas residuales, la sedimentación se usa principalmente para remover solidos suspendidos sedimentables, tratamiento primario, y para la remoción de material orgánico y biomasa preformada en los sistemas de tratamiento secundario y para espesamientos de lodos.

Tipos de Sedimentación

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación.

En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes, en las que la densidad y el volumen cambian a medida que estas se adhieren unas a otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido. La existencia de diferentes tipos de partículas en concentraciones distintas hace que sea necesario considerar tipos desiguales de sedimentación, de acuerdo con la clase de concentración de partículas, como lo describe Fitch.

Dichos tipos de sedimentación son:

- **Sedimento tipo 1**

Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. En estas condiciones se dice que la sedimentación es no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de la partícula. Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas de características floculentas mínimas en suspensiones diluidas, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados inertes.

- **Sedimentación tipo 2**

Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas. Sucede generalmente en el tratamiento de aguas residuales, dada la naturaleza de los sólidos presentes en ellas, y en la purificación de aguas potables cuando los sedimentadores están precedidos de floculentadores y coagulantes.

- **Sedimentación zonal**

Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se

presenta un asentamiento interferido a causa de la cercanía entre partículas. Dicha cercanía permite a las partículas, gracias a las fuerzas entre ellas, tener una posición relativa fija de unas con otras; se forma una matriz porosa soportada por el fluido que desplazan, y como resultado la masa de partículas se desplaza hacia el fondo como un solo bloque, creando una interface clara de separación entre el sobrenadante clarificado y el lodo, en un régimen escrito como sedimentación zonal.

- **Comprensión**

Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas con otras y el peso de estas lo sostiene parcialmente la masa compactada. Se presenta en operaciones de espesamiento de todos cuando las partículas se acumulan en el fondo del tanque de sedimentación; su peso lo soporta la estructura de la masa en compactación y el asentamiento es función de la deformación de las partículas o flocs.

Filtración

El primer filtro de arena se inventó en Escocia en 1804. En 1829 la Compañía del río Támesis, en Londres, emprendió la construcción de filtros lentos de arena, y en 1892 se demostró su eficiencia para control biológico con ocasión de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo.

La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere la filtración. Aunque la coagulación y la sedimentación remueven cerca del 90% de la turbiedad y el color, una cierta cantidad de floc pasa el tanque de sedimentación y se necesita su remoción. Por ello, para lograr la clarificación final se usa filtración a través de medios porosos, que por lo general son arena o arena y antracita. En la planta de purificación la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floc, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración. Lo anterior indica por qué en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir

la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proteger a los microorganismos de la acción del desinfectante.

Mecanismo de Remoción

Generalmente se piensa que los filtros son una especie de tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante. Sin embargo, la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayor parte de las partículas suspendidas pueden pasar fácilmente a través de los espacios existentes entre los granos del medio filtrante. El mecanismo por el cual un filtro retiene y renueva el material suspendido lo han explicado de distintas maneras diferentes autores acciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el filtro con mayor o menor intensidad, según el tipo de filtro y la calidad del agua filtrada.

Descripción de la Filtración

El filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más utilizado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado.

En un filtro rápido convencional, el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Por lo general, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración.

Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas de lavado.

Sistema de Filtración

Aunque son muchos los sistemas de filtración propuestos y construidos, se puede hacer una clasificación de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de tasa de filtración.

Dirección del flujo

De acuerdo con la dirección de flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba, o flujo dual.

Tipo de lecho filtrante

Los filtros utilizan generalmente un solo medio (arena o antracita), un medio dual (arena y antracita) o un lecho mezclado (arena, antracita y granate o ilmenita). En la figura 0.0 se pueden comparar los tres tipos de medios filtrantes usados comúnmente en tratamientos de aguas.

Fuerza Impulsora

De acuerdo con la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el más usado en plantas de purificación de agua, en tanto que el filtro a presión se emplea principalmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

Tasa de Filtración

Los primeros filtros usados para tratamiento de aguas fueron los filtros lentos, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1m, soportada sobre un lecho de grava de cerca de 0,30 m. estos filtros se remplazaron luego con filtros rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasas de filtración mucho mayores y, por ende, con requerimientos de área mucho menores. Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración todavía mayores que la de los filtros rápidos convencionales. (Jaramillo Londoño, Giraldo Vélez, & Pérez Nanclares, 2017)

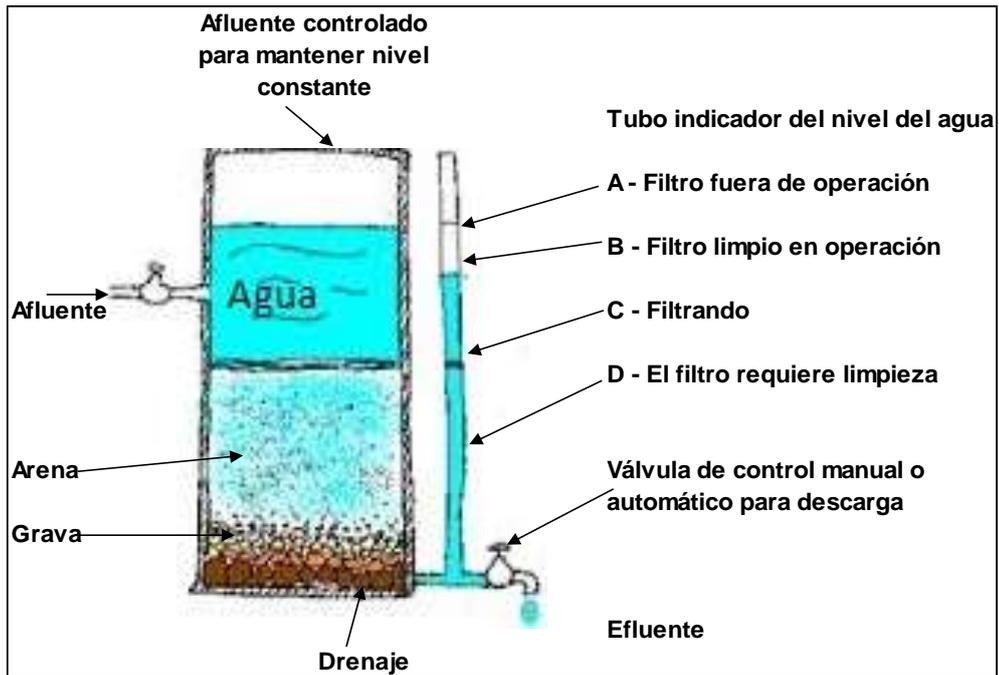


Figura 1 Filtro lento de arena

Fuente: (Jaramillo Londoño, Giraldo Vélez, & Pérez Nanclares, 2017)

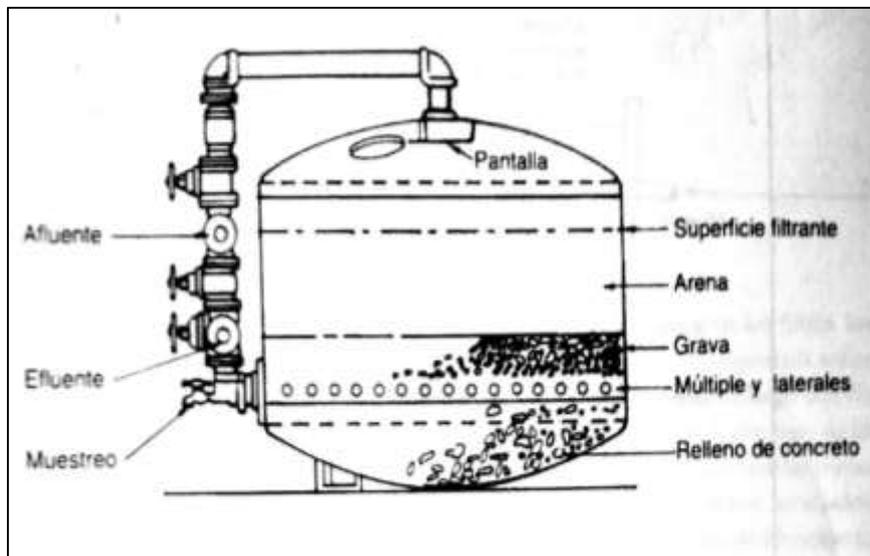


Figura 2 Corte a través de un filtro de presión

Fuente: (Jaramillo Londoño, Giraldo Vélez, & Pérez Nanclares, 2017)

Cloración

Dosificación de Cloro Gaseoso

La dosificación del cloro se inicia donde el cilindro se conecta al clorador, o al múltiple de suministro de cloro si se conecta más de un cilindro. El sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que se va a desinfectar. Los componentes básicos del sistema.

- Báscula.
- Válvulas y tuberías
- Clorador.
- Inyector o eyector y difusor.

La báscula permite registrar la cantidad de cloro empleada en desinfección y la cantidad remanente en el cilindro. Las válvulas y tuberías, las cuales deben satisfacer los requerimientos del Instituto del Cloro, permiten hacer las conexiones necesarias para conducir el cloro al sitio de dosificación y para regular o suspender el suministro. El clorador puede ser unidad simple, de montaje directo sobre el cilindro, o un gabinete de piso, que permita medir con exactitud y seguridad el flujo de cloro gaseoso desde el cilindro y entregar las dosis exactas establecidas. El clorador está dotado de reguladores de presión y vacío, accionados por diafragmas y orificios que disminuyen la presión del cloro gaseoso.

La presión reducida permite un flujo uniforme del gas, medido con exactitud por un rotámetro. Además, mantiene un vacío en la línea al inyector para propósitos de seguridad. Si se presenta una fuga en la línea de vacío, el aire entrara por la línea de ventilación, haciendo que la válvula aliviadora de vacío se cierre y detenga el flujo de cloro gaseoso. Para cambiar la dosis de cloro, el operador ajusta manualmente el control de rotámetro.

El inyector o eyector es un aditamento tipo venturi que hala o arrastra el cloro gaseoso dentro de un flujo corriente de agua de dilución, formando una solución fuerte de cloro en agua. El inyector crea también el vacío necesario para operar el clorador. (Jaramillo Londoño, Giraldo Vélez, & Pérez Nanclares, 2017)

La solución altamente corrosiva de cloro, con pH entre 2 y 4, es transportada al punto de aplicación por tubería de material inoxidable, PVC o similar, donde se distribuye mediante un difusor. El difusor es una o más tuberías cortas, perforadas por lo general, que dispersan uniforme y rápidamente la solución de cloro dentro del caudal de agua que se va a tratar. Existen dos tipos principales de difusores: aquellos usados en tuberías y los utilizados en canales o tanques abiertos. El difusor usado en tuberías de hasta 0,9 m de diámetro es simplemente un tubo que se introduce hasta el eje de la tubería principal para proveer mezcla completa de la solución de cloro con el agua en una distancia no mayor de diez diámetros. (Jaramillo Londoño, Giraldo Vélez, & Pérez Nanclares, 2017)

Consideraciones Generales de Operación y Mantenimiento de Plantas de Purificación de Aguas

Principios de Operación

Toda planta de tratamiento de agua debe estar diseñada para que pueda producir continuamente, con una operación adecuada, el caudal de diseño y satisfacer las normas de calidad de agua establecidas.

Dependiendo de las características propias de cada diseño, cuatro factores principales determinan que una planta posea las condiciones requeridas para una operación y un mantenimiento óptimo. Estos son:

- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Mano de obra
- Automatización y control

La confiabilidad es el factor más importante, puesto que en el caso de plantas de purificación de agua potable esta debe satisfacer en todo momento los requerimientos de calidad estipulados. Para ello, todos los equipos y unidades de la planta deben operar satisfactoriamente con caudales mínimos o máximos, así como en condiciones extremas de calidad del agua. Por tanto, los operadores tienen que estar en capacidad

de responder adecuadamente a los cambios del caudal de agua cruda y a las modificaciones de calidad de la misma.

La flexibilidad asegura la producción normal de la planta, la cual debe estar en capacidad de operar continuamente aunque haya uno o más equipos o unidades fuera de servicio por mantenimiento o reparación. Los operadores deben asegurarse de que toda pieza de equipo esencial; bombas, motores, dosificadores de sustancias químicas, válvulas, etc.; tenga una unidad de reserva disponible. (Velasquez Pallares, 2012)

La mano de obra es fundamental en cualquier programa de operación y mantenimiento. En toda planta de purificación de agua es necesario que el personal de operación tenga capacidad técnica para operar el equipo y las unidades de la planta, así como para adecuar la dosificación de sustancias químicas y el grado de tratamiento a las variaciones de calidad del agua cruda.

Principios de Mantenimiento

El mantenimiento es esencial para una operación adecuada de la planta de purificación. En un sistema de purificación de agua, el mantenimiento puede considerarse de dos tipos:

- **Mantenimiento preventivo**

Conjunto de actividades, recursos y ayudas programados para identificar o prevenir defectos, reemplazar rutinariamente elementos fungibles, registrar e informar daños mayores en la planta de tratamiento y para conservarla, por lo menos, durante su vida económicamente útil.

- **Mantenimiento correctivo**

Conjunto de actividades, recursos y ayudas destinados a reparar defectos y daños mayores para restablecer la producción normal de la planta de tratamiento.

Entre los principales factores que hay que considerar para un mantenimiento satisfactorio, se tienen los siguientes:

- La responsabilidad del mantenimiento debe definirse claramente y asignarse a personal competente.
- Los recursos financieros deben definirse con claridad y asegurar su disponibilidad oportuna.
- Contar con el tipo y la cantidad de herramientas, repuestos y equipos apropiados para proveer el mantenimiento.
- Todas las actividades de mantenimiento preventivo se deben planear y programar.
- Tener un sistema de control y registro apropiado de las labores e mantenimiento.

Objetivos de la Operación

Cuando se habla de la calidad del agua, el objeto de máximo interés no es realmente el agua sino los materiales presentes en ella. Dichos materiales determinan la portabilidad del agua y, por tanto, la magnitud del tratamiento requerido. Por ello, los objetivos de la operación de la planta de purificación son básicamente:

- Proteger la salud de la comunidad.
- Suministrar un producto estéticamente deseable.
- Proteger la propiedad del usuario.

La protección de la salud pública implica proveer agua segura, carente de organismos patógenos y libres de sustancias tóxicas en concentraciones que puedan constituir riesgos de salud para los consumidores.

El suministro de un agua estéticamente deseable supone un agua con un contenido tan bajo como sea posible de color, turbiedad, sólidos suspendidos, libre de olores y sabores y con una temperatura tan fría como las condiciones ambientales lo permitan.

La protección de la propiedad del usuario se refiere, en el caso de plantas municipales, a la necesidad de suministrar un agua no corrosiva ni incrustante y con un grado de calidad tal que permita a los industriales su uso, o tratamiento adicional.

Parámetros de Control de Operación

El operador de una planta fundamenta la operación de la misma en el mantenimiento de la máxima calidad de su producto. Para ello hace uso, principalmente, de análisis físicos, químicos y bacteriológicos, de conformidad con un programa de muestreo y análisis, cuya frecuencia e intensidad son función de los problemas particulares de calidad de agua de cada planta.

En todos los casos debe satisfacer los requerimientos estipulados en el Decreto 475 de 1998. Mediante registros permanentes de las características evaluadas, el operador está en capacidad de demostrar la calidad de su producto, tanto a las autoridades encargadas del control sanitario como a los usuarios del sistema de abastecimiento; muchas industrias piden estos registros para conocer las características del agua suministrada. El contenido de cada catión y anión es valioso para las relaciones con el público y para rebatir críticas infundadas a la operación de la planta.

El personal requerido, las facilidades de laboratorio y la habilidad o capacidad técnica del personal de operación, son función del tipo de planta de tratamiento operada. La necesidad de ejercer una supervisión estricta de la operación, las 24 horas del día durante los siete días de la semana, es función de la variabilidad de la calidad del agua cruda y de los métodos de tratamiento usados. Por ejemplo, una planta para remoción, principalmente de turbiedad y color de agua cruda proviene de un embalse, recibirá un agua de calidad relativamente constante y, por tanto, necesitara menos supervisión que una planta de ablandamiento o de remoción de hierro y manganeso que esté tratando aguas crudas de calidad variable.

La planta convencional de tratamiento tiene una capacidad de recepción de cargas variables súbitas de polución y de caudales mayor que una planta de filtración directa y, por consiguiente, requiere personal menos especializado. En toda planta de tratamiento, no importa su tamaño, es esencial contar con instalaciones y equipo de laboratorio adecuados. El equipo debe ser suficiente para realizar los análisis requeridos para control continuo y permanente de la operación.

Consideraciones Básicas de los Procesos de Tratamiento

Cribado

Los problemas más comunes asociados con el cribado son el taponamiento y la corrosión de las rejillas. Para prevenir estos problemas se requieren limpieza e inspección rutinarias. Las rejillas deben limpiarse tan a menudo como sea necesario. La frecuencia será mayor en invierno, cuando las aguas superficiales transportan una cantidad mayor de material suspendido.

Las condiciones variables de humedad y secado del material de la rejilla promueven su corrosión; por tanto, las rejillas deben inspeccionarse por lo menos cada mes para detectar signos de corrosión. Cualquier elemento de rejilla, tipo de material removido, partes de remplazo o repuestos requeridos y fecha de descripción de las labores de mantenimiento ejecutadas.

Aforo

Aunque el aforo no es un proceso de tratamiento, el operador de una planta de tratamiento debe hacer aforos para:

- Controlar el caudal de cada proceso de tratamiento.
- Ajustar las dosificaciones de sustancias químicas.
- Determinar las eficiencias de los equipos de bombeo y los requerimientos de potencia.
- Calcular tiempo de retención.
- Controlar el caudal de agua tratada y suministrada.
- Calcular el costo unitario de tratamiento.

En muchos casos se considera que los registros de caudal deben tener un error menor del 2% para prevenir costos adicionales innecesarios de tratamiento. Cualquiera que sea el tipo de medidor usado por diferencial de presión, de velocidad, magnético, ultrasónico, vertederos, canaletas Parshall, etc., el operador deberá asegurar la adecuada calibración y exactitud de los aparatos de medida.

Coagulación y floculación

En la operación de los procesos de coagulación y floculación existen tres componentes esenciales:

- Selección de los coagulantes.
- Aplicación de los coagulantes
- Control de la efectividad de los procesos.

La selección de los coagulantes y ayudas de coagulación es un programa continuo de evaluación que se fundamenta, generalmente, en el ensayo de jarras. El operador, con base en las características de temperatura, pH, alcalinidad, turbiedad y hay que usar y la dosis óptima.

La aplicación se efectúa mediante el ajuste manual o automático del sistema de dosificación a la tasa óptima. Finalmente ejecuta el control de la efectividad de los procesos de coagulación y floculación, en especial a través de la evaluación de características del floc formado, turbiedad del agua sedimentada, frecuencia de lavado de los filtros, filtrabilidad del agua coagulada y floculada y potencial Z.

El operador deberá mantener los registros de la calidad del agua cruda, de los coagulantes y de las dosis óptimas, así como de las observaciones pertinentes a los procesos de coagulación y floculación. La experiencia previa, sobre todo en aguas superficiales de calidad variable, es muy valiosa y útil para el operador cuando tenga que enfrentar situaciones similares de tratamiento.

El ajuste, la calibración y el control regular de los dosificadores son esenciales para asegurar la dosis óptima de los coagulantes. En general, una vez establecida la operación permanente de la planta, se deben comparar las dosis aplicadas con las del ensayo de jarras y ajustarlas a la producción de una calidad óptima de agua. Los dosificadores se deben calibrar mediante medidas de la cantidad dispensada, en periodos fijos, por peso o por volumen, y no solamente con base en curvas de calibración suministradas por los fabricantes.

Cuando se dosifica cal, para ajuste de pH o ablandamiento, se produce precipitado de carbonato de calcio que puede adherirse a las paredes de la tubería o del canal y obstruir el flujo; por tanto, hay que hacer una inspección rutinaria y la limpieza necesaria. En todas las líneas de dosificación se ha de asegurar que los difusores están limpios, libres de obstrucción y colocados en el punto donde la mezcla tenga la máxima eficiencia.

Cuando la planta posee floculadores mecánicos, estos deben ajustarse para proveer un grado de mezcla gradualmente menor a medida que el agua pasa a través del sistema de floculación. El operador, si dispone de las facilidades para hacerlo, deberá ejecutar ensayos conducentes a establecer la velocidad +optima de los floculadores para las distintas condiciones de calidad, temperatura y caudal del agua cruda. Si lleva un registro permanente de dichos ensayos y de los resultados obtenidos durante periodos prolongados de operación, podrá hacer los ajustes futuros de operación sin necesidad de efectuar ensayos adicionales.

Todas las unidades motoras del proceso de coagulación y floculación deberán someterse a inspección para observación de daños o defectos, así como a un programa rutinario de engrase y lubricación.

Sedimentación

La función principal de la sedimentación es producir agua clarificada con turbiedad mínima, por lo regular menos de 10 UNT, para una filtración posterior efectiva. Como el proceso de sedimentación depende de la realización adecuada de la coagulación y la floculación, el operador debe asegurar la obtención del mejor floc posible antes del sedimentador. En general, en los sedimentadores se debe asegurar una distribución adecuada del caudal minimizar los cambios bruscos de flujos, asegurar una carga de rebose apropiada sobre los vertedores efluentes y controlar las cargas superficiales y los tiempos de retención.

Un floc pobre y problemas de cortocircuito son las dificultades más comunes de la operación de sedimentadores. En mayor o menor magnitud, todo sedimentador está

sujeto a problemas de cortocircuito, salida de agua en un tiempo menor que el normal de retención, con el consecuente incremento de carga de turbiedad sobre los filtros. La causa principal del cortocircuito es un sistema de entrada deficiente; las pantallas perforadas proveen una buena distribución del caudal y evitan el cortocircuito. Si se sospecha la existencia de cortocircuito, hay que realizar análisis del tiempo de retención real mediante trazadores.

Las corrientes de densidad pueden constituir también un problema en los sedimentadores estas ocurren cuando el agua tiene una temperatura menor que la del agua en el sedimentador. En ambos casos, el afluente más denso se profundiza al fondo del tanque, donde levanta el lodo y produce cortocircuitos. Si se presenta este problema, se debe efectuar un estudio para determinar la solución.

El crecimiento de algas y películas biológicas sobre las paredes del sedimentador puede ser otro problema en el proceso de sedimentación. Estos crecimientos pueden causar olores y sabores, así como taponamiento en los filtros. Dichos crecimientos se pueden controlar mediante la aplicación de una mezcla de 10 g de sulfato de cobre y 10 g de cal por litro de agua sobre las paredes, con cepillo, cuando los tanques están vacíos.

En tanques con equipo de barrido de lodo. Este es arrastrado a tolvas de lodo; de allí se extrae mediante un programa elaborado de acuerdo con las variaciones de calidad del agua y el tipo y volumen de lodo producido para minimizar arrastre de floc a los filtros. En tanques sin equipo de barrido de lodos, el programa de su remoción depende del diseño del tanque, del tipo y volumen de lodo producido y de la calidad del agua sedimentada. Los tanques de sedimentación, en general, no deben requerir más de dos o cuatro limpiezas por año.

El ensayo más usado, como se mencionó previamente, para indicar la calidad de la sedimentación es el ensayo de turbiedad. La turbiedad del agua sedimentada debe mantenerse por debajo de 10 UNT. Los registros de control deben incluir cargas superficiales, cargas de rebose de los vertederos, turbiedad del agua afluente y efluente de cada tanque de sedimentación, cantidad de lodo bombeado o extraído de

cada tanque, tipos de problemas de operación encontrados y medidas correctivas adoptadas.

Filtración

A pesar de las grandes diferencias existentes entre los tipos de filtro usados para tratamiento de agua, los problemas de operación y mantenimiento de dichas unidades son más o menos similares. Al iniciar la operación de un filtro por gravedad, este debe llenarse despacio, con agua ascensional, hasta cubrir totalmente el medio, para remover el aire atrapado entre los gránulos del lecho filtrante y prevenir la alteración superficial del medio al entrar el efluente. Este llenado ascensional se recomienda cada vez que se deje bajar el nivel del agua por debajo de la superficie del medio, con el fin de eliminar entrapamientos de aire y prevenir obstrucciones de flujo a través del filtro.

En filtros lentos, al empezar la operación se requiere un periodo de acondicionamiento del filtro, el cual puede tomar de cuatro a siete días, para formar una película biológica sobre la superficie de la arena. Durante dicho periodo de maduración el agua se desecha, hasta que la calidad del efluente indique que se ha desarrollado la película necesaria sobre la arena.

En general, la efectividad de la filtración es proporcional a profundidad y finura de la arena e inversamente proporcional a la tasa de filtración. Cuando se alcanza la pérdida máxima permisible de carga en el filtro hasta un punto en que se pueda caminar sobre la arena. Por lo regular, se raspan 1 – 2,5 cm de arena superficial; se procede a remplazar arena cuando las limpiezas sucesivas reducen la profundidad del lecho a unos 60 cm.

En filtros rápidos nuevos el medio debe lavarse, con el objeto de remover el exceso de finos, antes de ponerlo en operación. Para descartar los finos se procede a un lavado ascensional a la tasa máxima de lavado durante diez a quince minutos. Luego se drena el filtro hasta un punto en que se pueda caminar sobre el medio y se remueve manualmente el material fino, raspando los primeros 1,5 – 2,5 cm de la superficie del medio. El lavado y el raspado se repiten dos o tres veces, hasta que no se observen

cantidades significativas de finos al final del lavado. En filtros de medio dual se debe hacer esta operación tanto con la arena como con la antracita.

En filtros rápidos, la necesidad de lavado la determinan los siguientes factores:

- Pérdida de carga máxima disponible.
- Fuga de turbiedad a través del filtro.
- Carrera de filtración mayor de 36 a 40 horas.

Sin embargo la decisión de lavar un filtro no debe basarse solo en uno de los tres factores, pues esto puede conducir a problemas operacionales. La experiencia indica que si el filtro se lava únicamente cuando se alcanza la pérdida de carga máxima disponible, se puede presentar un incremento grande en la turbiedad del efluente antes de lavar el filtro. En forma similar, un filtro puede alcanzar la pérdida máxima de carga disponible sin que haya fugas de turbiedad, pero creando condiciones de presión negativa en el lecho, lo cual no es deseable.

Por otra parte, un filtro con agua cruda de muy baja turbiedad puede operar por periodos muy prolongados, hasta cien horas o más, pero esto tampoco es deseable ya que se puede presentar un aumento gradual de material orgánico y de bacterias dentro del lecho filtrante, con generación de sabores y olores en el agua tratada y crecimientos de algas y películas biológicas sobre las paredes de los filtros.

En general, se considera aceptable una carrera de filtración mayor de quince horas y menor de 36 a 40 horas, con un consumo de agua de lavado del 4% en filtros de arena y del 6% en filtros de lecho dual.

El operador debe tener especial cuidado con la operación del lavado de los filtros con el fin de obtener una limpieza efectiva del medio y evitar los problemas de formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, atrapamiento, de aire o pérdidas de medio filtrante. El problema de formación de bolas de barro está asociado con la aglomeración de floc y material no removido durante el lavado.

Este material, adherido a los granos del medio filtrante, hace que se formen bolas de barro cada vez más grandes. A medida que aumentan de peso se profundizan más dentro del filtro durante el lavado, taponando las áreas donde se sedimentan y causando tasas de filtración y de lavado desiguales sobre el ares filtrante. Cuando el problema es grave se observan grietas en la superficie del lecho, separación del medio cerca de las paredes del filtro y presencia de bolas de barro sobre la superficie.

El operador debe verificar la presencia de bolas de barro periódicamente. El equipo requerido es muy sencillo: un muestreador, un tamiz N°10, un balde y una probeta de 1000 ml. Después del lavado, se drena el filtro hasta que el nivel del agua este 0,3 m por debajo de la superficie de la arena. Se toman cinco muestras separadas, representativas de toda la superficie del filtro en los 15 cm superiores de arena, con el muestreador, que es simplemente un cilindro de 15 cm de profundidad y 7,5 cm de diámetro, con un mango para facilitar la toma de muestras.

Las muestras se colocan sobre el tamiz, el cual se levanta y baja suavemente dentro del balde con agua hasta lavar toda la arena. Cualquier pelota de barro quedara retenida sobre el tamiz. A continuación se coloca un volumen definido de agua en la probeta, se agregan las pelotas de barro y se mide el volumen de estas por el aumento de volumen de la probeta. El volumen de pelotas de barro deberá mantenerse en menos del 0,1% mediante un lavado apropiado.

La consolidación del lecho es otro de los problemas resultantes de un lavado poco efectivo. Los granos sucios del medio se separan unos de otros por acción de las capas de material suave filtrado. A medida que la pérdida de carga aumenta, el lecho se comprime y se agrieta, causando además la separación del medio de las paredes del tanque. El agua pasa rápidamente a través de las grietas y recibe poca o ninguna filtración.

Cuando se abre la válvula de lavado muy rápido, es posible desplazar la grava dentro del medio filtrante. Esto puede ocurrir también cuando el sistema de drenaje se

obstruye de modo parcial y se produce una distribución no uniforme del flujo de lavado. Eventualmente hay un desplazamiento de la grava y se crean hervideros de arena; cuando eso sucede, se puede perder medio filtrante por el sistema de drenaje. Por lo general, todo filtro pierde medio filtrante durante el lavado, en particular cuando se usa lavado superficial; sin embargo, dicha pérdida debe ser mínima, o de lo contrario tiene que revisarse el procedimiento y la tasa de lavado.

La observación visual del proceso de lavado y de la superficie del filtro es muy importante. Un lecho en buen estado, con una distribución uniforme de agua de lavado, debe aparecer muy uniforme con el medio moviéndose lateralmente sobre la superficie. La presencia de hervidores violentos de agua indica problemas. Si algunas áreas del filtro clarifican más rápidamente que otras, se puede deducir una distribución no uniforme del agua de lavado.

Al drenar el filtro, su superficie debe aparecer uniforme; si hay grietas, bolas de barro o promontorios, es porque existen problemas de lavado. El atrapamiento de aire es un problema causado regularmente por la presencia de presiones negativas en el filtro, sobre todo en filtros con pérdida de carga disponible para filtración baja. Cuando un filtro está limpio, existe una pérdida de carga pequeña en la arena, la grava y el sistema de drenaje, del orden de 15 o 30 cm. A medida que avanza la carrera de filtración las pérdidas por fricción aumentan considerablemente, la mayor parte de ellas en la superficie de la arena del filtro.

Cuando la pérdida en las capas superiores de la arena es mayor que la altura de agua sobre la arena, la columna de agua inferior actúa como un tubo de aspiración y se presenta un vacío parcial. Dicha condición se conoce como cabeza negativa y, cuando es excesiva, permite el escape del aire en solución del agua dentro de la arena. El hecho se conoce como atrapamiento de aire y puede interferir severamente el proceso de filtración. Además una masa de aire puede, al iniciar el lavado escapar antes de fluidizarse la superficie de la arena, este fenómeno permitirá velocidades locales altas de agua de lavado y el desplazamiento de la grava.

En filtros sin lavado superficial se recomienda usar un lavado de dos etapas. En la primera, la tasa de lavado es apenas la necesaria para expandir la porción superior del lecho (tasa alrededor de los 7 mm/s con el objeto de lavar los granos del medio filtrante superior). Después de lavar la parte superficial, se procede al lavado ascensional con la expansión de todo el lecho en una 20 a 30%.

La apertura súbita del sistema de lavado ascensional puede dañar el sistema de drenaje, la grava y el medio filtrante. El tiempo transcurrido entre la iniciación del lavado ascensional y el momento en que se alcanza la tasa deseada de lavado debe ser de 30 a 45 segundos; por ello, las válvulas de lavado ascensional deben ser de apertura lenta.

Para una operación satisfactoria de los filtros, es esencial conocer la pérdida de carga en cada unidad, en todo momento. Esto se obtiene generalmente por medio de medidores de pérdida de carga colocados sobre cada filtro. En algunos filtros de medio dual se ponen medidores para pérdida de carga en la interface antracita-arena, con el objeto de lograr un mayor control sobre la operación de filtración. En filtros de tasa declinante, la pérdida a través de cada filtro no se conoce, a menos que se instale un aparato de medida de pérdida de carga sobre cada uno de ellos.

En bacterias de cuatro filtros rápidos, de tasa declinante y autolavado, se lava una unidad con el filtrado de las otras tres unidades. Para establecer la operación de estos filtros (47) se fija inicialmente una carrera de 30 horas, por ejemplo, y se mide la turbiedad del afluente y del efluente de cada unidad. Si la turbiedad del efluente es aceptable, se varía la carrera a 40 horas, haciendo las mismas medidas y determinando la altura del agua en el filtro. Cuando dicha altura sea la misma de los sedimentadores, menos la pérdida de carga entre las dos unidades, se marca el nivel en el filtro y se ordena el lavado de cada unidad cuando se alcance la altura prevista.

Para ejecutar el lavado en estos filtros únicamente se cierra el afluente, se abre el desagüe y el flujo se invierte para efectuar la limpieza. El agua de lavado se puede

aumentar suspendiendo la salida de agua filtrada que va al tanque de aguas claras. Los registros de control de la operación de filtros deben incluir la siguiente información:

- Caudal filtrado.
- Perdida de carga.
- Duración de la carrera.
- Tasa de lavado.
- Volumen de agua de lavado usada.
- Volumen de agua filtrada.
- Duración del lavado ascensional.
- Duración del lavado superficial.
- Turbiedad del agua afluente.
- Turbiedad del agua filtrada.

Desinfección

La operación exitosa del proceso de cloración requiere básicamente:

- Suministro adecuado y permanente del agente desinfectante.
- Control eficiente, continuo y exacto de la dosificación.
- Manejo seguro en todo momento del compuesto y de los equipos utilizados para su aplicación.
- Mezcla completa y continua del cloro con toda el agua que se va a tratar.

Desde el desarrollo, en 1912. Del primer equipo comercial para la aplicación de cloro gaseoso en aguas de suministros, se han puesto a disposición de los operadores del proceso diferentes tipos de equipos de dosificación y control. El manejo y el mantenimiento de cada instalación de cloración dependerán del equipo utilizado, y deberán hacerse de conformidad con los manuales de operación y mantenimiento de cada fabricante. A continuación se incluyen algunas consideraciones generales sobre operación y mantenimiento de cloradores.

La selección del punto de aplicación del cloro debe hacerse con base en:

1. Presión moderada en el punto de cloración.
2. Variación mínima de caudales.

3. Mezcla rápida y homogénea del cloro en el agua.
4. Facilidad de acceso al equipo de cloración para inspección.
5. Riesgo mínimo de perjuicio por los residuales de cloro.
6. Disponibilidad de agua y espacio para almacenamiento de cilindros.
7. Disponibilidad de energía eléctrica.

En la instalación son importantes los siguientes factores:

1. El clorador debe instalarse cerca del punto de aplicación.
2. El clorador debe instalarse en un cuarto independiente, sobre el nivel del terreno.
3. Debe proveerse espacio amplio para trabajo alrededor del clorador, así como espacio para almacenamiento de repuestos.
4. Se requiere agua abundante con presión mayor de 15 lb/pulg², 103 kPa, y tres veces la contrapresión existente. Puede haber necesidad de bombas reforzadoras de presión. En general se requiere un mínimo de 150 – 190 L/d por libra de capacidad del clorador. Fallas en el suministro de agua implican fallas en la cloración.
5. El clorador debe permanecer a temperaturas mayores de 10°C para evitar taponamiento por hielo de cloro. Los cilindros deben permanecer a temperatura normal y menor que la de las tuberías y el clorador, para prevenir condensación del gas en líquido. La temperatura máxima de almacenamiento de los cilindros es de 60°C.
6. No es recomendable extraer más de 18 kg/d de cloro de un cilindro, por el riesgo de escarcha y pérdida de capacidad de dosificación. Con cilindros de tonelada la tasa máxima de extracción es de 182 kg/d de cloro.
7. Debe haber iluminación apropiada.
8. Debe existir adecuada ventilación para remover fugas eventuales de cloro gaseoso.
9. Debe haber facilidad de manejo de cilindros, sin riesgo para los operadores.
10. Se requieren báscula y facilidades para controlar la dosificación de cloro.
11. La cloración para desinfección debe ser continua y la instalación ha de reunir todos los requerimientos apropiados para asegurar el suministro y la dosificación sin interrupción.

Los riesgos de control de procesos de cloración deben incluir la siguiente información:

- Tipo de compuesto de cloro usado.
- Dosis en mg/L.
- Dosificación diaria en kg/d.
- Resultados de los ensayos de cloro residual.
- Resultados de los ensayos de coliformes.
- Temperatura del agua.
- pH del agua.
- Explicación diaria de cualquier condición particular o problema ocurrido.

Registro e Informes de Operación

El mantenimiento de un registro de la operación de una planta de tratamiento forma parte de las funciones del operador y constituye una ayuda de gran utilidad pues satisface, entre otros, los siguientes objetivos:

- Sirve para cumplir requisitos legales.
- Ayuda al operador a resolver problemas de tratamiento.
- Permite evaluar cambios en la calidad del agua tratada.
- Proporciona soporte para responder las quejas y los reclamos de los consumidores.
- Ayuda a establecer los programas de mantenimiento preventivo.
- Permite evaluar los costos de tratamiento.
- Provee pautas de diseño para futuras plantas de purificación.
- Permite determinar la eficiencia de los procesos y operaciones de tratamiento.
- Permite formular y establecer programas y requerimientos de optimización de la operación.

2.2 MARCO LEGAL

INEN 1108

5. REQUISITOS

5.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública. (INEN, 2014)

5.2 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

Figura 3 Características, sustancias inorgánicas y radiactivas

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Diclorodifenil metano	mg/l	0,008
Sustancias orgánicas		
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

Figura 5 Plaguicidas

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

Cuadro 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

Figura 6 Residuos de desinfectantes

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodichlorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

Figura 7 Subproductos de desinfección

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

Figura 8 Cianotoxinas

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

	Máximo
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia

Figura 9 Requisitos microbiológicos

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods). (INEN, 2014)

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

NTE INEN 1108 2014-01

2014-0281 5 de 10

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Administración: La administración se puede definir como el proceso de diseñar y mantener un ambiente en el que las personas trabajando en grupo alcance con eficiencia metas seleccionadas.

Paliar: Es un verbo que se utiliza para hacer referencia a aquellas acciones mediante las cuales se busca limitar, disminuir o combatir determinados fenómenos o situaciones.” (Definición ABC, 2013)

Población: Población humana es el grupo de personas que vive en un área o espacio geográfico. Para la demografía, centrada en el estudio estadístico de las poblaciones humanas, la población es un conjunto renovado en el que entran nuevos individuos.

Usuarios: Es quien usa ordinariamente algo. El término, que procede del latín *usuarius*, hace mención a la persona que utiliza algún tipo de objeto o que es destinataria de un servicio, ya sea privado o público.

Empresa.- persona natural o jurídica que mediante acciones legales da constitución a una organización cuyos fines y alcances están definidos en su carta de constitución, generalmente se conforma la empresa para dar origen a la comercialización formal de bienes y servicios.

Planificación.- Es un proceso sistemático diseñado con el objetivo de obtener un fin determinado, es necesario tener uno o varios objetivos que realizar junto con las acciones necesarias para conseguir el éxito deseado.

Agua potable.- Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

Agua cruda.- Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

Sistema de abastecimiento de agua potable.- El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

Sistema de distribución.- Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

Procedimientos.- un procedimiento, en este sentido, consiste en seguir ciertos pasos predefinidos para desarrollar una labor de manera eficaz. Su objetivo debería ser único y de fácil identificación, aunque es posible que existan diversos procedimientos que persigan el mismo fin, cada uno con estructuras y etapas diferentes, y que ofrezcan más o menos eficiencia.

Proceso.- se define como “conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”

2.4 HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.4.1 Hipótesis General

Los diseños y operaciones de la planta de potabilización influyen significativamente en el mejoramiento de la producción de agua potable.

2.4.2 Hipótesis Particulares

1. La optimización de insumos, producción y distribución permitirá la calidad de agua según la Norma INEN 1108.
2. El pre tratamiento del agua cruda incide en la carga del equipo de Ósmosis Inversa.
3. El desconocimiento de los procedimientos de potabilización incide en la calidad de agua potable.

2.4.3 Declaración de las variables

Variables de la hipótesis general

- **Independiente:** Diseños y Operaciones.
- **Dependiente:** Producción de Agua Potable

Variables de las hipótesis particulares

- **Independiente:** Optimización de Insumos, producción, distribución.
- **Dependiente:** Calidad del agua.
- **Independiente:** Pre tratamiento de agua cruda.
- **Dependiente:** Carga de equipo de Ósmosis Inversa.
- **Independiente:** Desconocimiento de los procedimientos de potabilización.
- **Dependiente:** Calidad del agua potable.

2.4.4 Operacionalización de las variables

Cuadro 5 Operacionalización de las variables independientes y dependientes

HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES			INDICADOR
	INDEPENDIENTES X	DEPENDIENTES Y	EMPIRICAS	
Los diseños y operaciones de la planta de potabilización influyen significativamente en la producción de agua potable.	Diseños y Operaciones.	Producción de Agua Potable.	X:Diseño Y:Producción	Análisis de los sistemas de oxidación Y Sistema de osmosis inversa.
HIPOTESIS PARTICULARES				
La optimización de insumos, producción y distribución permitirá la calidad de agua según la Norma INEN 1108.	Optimización de Insumos, producción, distribución.	Calidad del agua	x2:Optimización y2: Calidad	Consumo de químicos. Consumo de agua cruda. Consumo de agua potable. Análisis de puntos de muestreo.
El pre tratamiento del agua cruda incide en la carga del equipo de Ósmosis Inversa.	Pre tratamiento de agua cruda.	Carga de equipo de Ósmosis Inversa.	X1: Tratamiento agua cruda. y1: Ósmosis Inversa.	Horas por falta de mantenimiento. Horas en proceso de lavado de membranas.
El desconocimiento de los procedimientos de potabilización de aguas subterráneas por medio del proceso de Ósmosis Inversa incide en la calidad de agua potable.	Desconocimiento de los de procedimientos de potabilización	Calidad del agua potable	x3:Procedimientos y3: instalaciones	Análisis de agua potable.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y SU PERSPECTIVA GENERAL

El tipo de investigación es no experimental, Por lo tanto se empleará el diseño longitudinal, debido a que el estudio se lo aplicó una sola vez en el transcurso del tiempo que duro el trabajo investigativo, donde se hizo necesario la utilización de un instrumento investigativo como la encuesta, que proporcionó información relevante sobre la problemática planteada. Para el desarrollo de este trabajo se aplican las siguientes investigaciones:

De campo: La investigación de campo se centra en hacer el estudio donde el fenómeno se da de manera natural. Se aplicó una investigación de campo ya que se realizó en el lugar de los hechos, donde se obtuvo datos más relevantes, los mismos que fueron analizados. Esto permitió la recopilación de información sobre la realidad para estudiar a fondo el problema del cual planteo.

Aplicada: Esta se aplicó en resolver problemas prácticos con un margen de generalización limitado. Esta investigación es aquella que se realiza con un propósito inmediato, aplicar los conocimientos desde un punto de vista teórico.

Bibliográfica

Se caracteriza por la utilización de documentos; recolecta, selecciona, analiza y presenta resultados coherentes. Será bibliográfica porque utilizaremos como ayuda de búsqueda de un tema específico, a través de la consulta de documentos (libros, revistas, videos, memorias, constituciones, Internet, etc.). Se utilizó una recopilación adecuada de datos que permitieron redescubrir hechos.

Investigación Descriptiva: Mediante este tipo de investigación, que utilizó el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación que sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio.

Investigación Explicativa: Mediante este tipo de investigación, que requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo, se trata de responder o dar cuenta de los porqués del objeto que se investiga.

3.2 LA POBLACION Y LA MUESTRA

3.2.1 Características de la población

El estudio está enfocado en el cantón Durán cuenta con una población de 235769 habitantes de acuerdo al censo 2010 realizado por el Instituto de Estadísticas y Censos, sin embargo para este estudio se realizará el estudio en las plantas de purificación del agua de esta localidad, para la realización del estudio y análisis técnicos de los factores que influyen en la potabilización de aguas subterráneas.

3.2.2 Delimitación de la población

La presente investigación es finita ya que es limitada y se conoce con certeza su tamaño (**N**). La población está conformada por 1 planta purificadora de agua.

3.2.3 Tipo de muestra

El tipo de muestra a utilizar para nuestra investigación es la muestra **probabilística**, ya que esta incluye a toda la población, es decir que se analizará el trabajo realizado por el personal.

3.2.4 Tamaño de la muestra

Se conoce con exactitud el tamaño de la muestra, la misma que corresponde a una planta.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 Métodos teóricos o procedimientos lógicos

Analítico- Sintético: Se procede a realizar un análisis de los contenidos, resumiendo en forma sintética los principales tópicos relacionados.

Cómo método empírico fundamental se aplicará la Observación, ya que el levantamiento de información se realizará en base a observar y evaluar la situación actual de la planta.

3.3.2 Métodos empíricos.

El método empírico complementario a utilizarse será la documentación de los análisis realizados en la planta, con el propósito de comprobar las hipótesis planteadas.

3.4 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento estadístico de la información se la realizara a través de los datos obtenidos de los análisis realizados en la planta de purificación de agua, los mismos que serán analizados para en lo posterior determinar las falencias y establecer las soluciones respectivas.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El presente informe es un resumen de la evaluación global del sistema de Potabilización de agua desde la Captación hasta el Usuario Final, la misma que se efectuó durante los días 23 a 25 de mayo de 2016.

Los puntos evaluados son:

1. Captación
2. Sistema de Oxidación y Clarificación
3. Filtración Multimedia
4. Microfiltración
5. Planta OR
6. Regulación de pH y Potabilización
7. Almacenamiento
8. Distribución a Usuario Final

CAPTACIÓN.- La calidad del agua del pozo se mantiene estable antes y después. Sus principales parámetros como manganeso entre 5,1 y 5,8 ppm, Hierro entre 1,0 y 2,0 ppm, pH entre 6,5 y 6,8.

Cuadro 6 Características físico Químicas del agua de pozo

PARÁMETRO	26-nov-13	14-mar-14	19-may-16
TDS, PPM	4305	4057	3800
Ph	6,6	7,3	6,8
HIERRO, PPM	0,5	0,9	0,8
MANGANESO, PPM	4,9	5,1	5,1
DUREZA T., PPM	2350	2250	2500

Elaborado por: Maldonado Randol

Reporte de mantenimiento correctivo en equipo de Ósmosis Inversa.

Antecedentes.- El pasado 03/03/2014, a las 7:00 am reportaron los usuarios finales del agua potable, un sabor salobre en los bebederos, comedor y baños.

Lo que los técnicos de turno realizaron es cambiar los filtros tanto en comedor y bebederos, sin sospechar que el problema no era por allí.

A las 7: 30 de inmediato se suspende la producción de agua potable, con indicios más claros de que el Sistema de Ósmosis inversa tenía un problema serio, basados en los siguientes datos con Sondas Calibradas. Ver cuadro # 10

Cuadro 7 Agua potable

PARÁMETROS	UNIDAD	PUNTO A1	SALIDA RO	RANGO
Conductividad	μS/cm	4060	8000	1000
PH		7,56	7,56	6,5- 8,5
Cloro Residual	Libre mg/l	0	-	0,3- 1,5
Hierro	mg/l	-	-	0,3
Turbiedad	NTU	-	-	5
Dureza Total	CaCO3	-	-	300

Elaborado por: Maldonado Randol

Determinación de daño en sistema de Ósmosis Inversa.

Se procedió a determinar que Vessel estaba dando problemas basados con los siguientes datos. Ver Cuadro # 11.

Cuadro 8 VESSELS

PARÁMETROS	UNIDAD	V1	V2	V3	V4	V5	RANGO
Conductividad	μS/cm	218	201	330	316	15100	1000
PH		5,59	5,54	5,7	5,67	7,1	-

Elaborado por: Maldonado Randol

Este Vessel, estaba permitiendo el paso de todo el concentrado a la línea de permeado.

Como se puede observar el Vessel, presenta conductividad alta, se procedió a desarmar y se evidencio que la membrana # 20, estaba dañada, juntamente con el acople que conduce el permeado. Ver figura # 7 y # 8.



Figura 10 Membrana dañada



Figura 11 Acople dañado

4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO, EVOLUCIÓN, TENDENCIA Y PERSPECTIVAS

Dentro del sistema de potabilización de agua se analizó lo siguiente:

Sistema de oxidación y clarificación.- La dosificación real de Cloro está en 43 ppm. La dosificación del coagulante en 106 ppm. Estas condiciones junto con la aireación de la Torre, el Hierro se elimina completamente (0 ppm) y el Manganese baja de 5,8 ppm en el agua de pozo hasta 4 ppm aproximadamente. Estas dosificaciones están controladas y son eficientes en su aplicación ya que logra su objetivo de eliminación de Hierro y la eliminación parcial del Manganese.

Se realizaron pruebas de jarras (a nivel de Laboratorio) con un nuevo coagulante obteniéndose resultados óptimos y una reducción aproximada del 50% de los lodos con una dosis de 120 ppm del producto nuevo frente a 100 ppm con actualmente aplicado. El costo global del tratamiento con el nuevo producto a nivel de laboratorio

es menor en aproximadamente 17% por lo que su aplicación es recomendable. La aplicación de este producto ayudaría también al control del volumen de lodos.

Filtración multimedia.- La frecuencia de los retrolavados es 1 por día con una duración de 20 minutos aproximadamente. Este tiempo se podría reducir a 15 minutos dado que a los 10 minutos el agua ya se drena clara con una turbidez de 2 NTU (En el proceso de retrolavado la turbidez es de 126 NTU). Con esta acción se produce un ahorro del 25% del agua en cada proceso.

Se realizará un estudio para eliminación de Manganeso con Arenas Verdes y presentación de la propuesta.

Microfiltración.- Mantener la frecuencia actual de cambio de filtros de 5 micrones.

Planta ósmosis reversa.- Se realizó una revisión interna en cada Vessel del equipo de OR para verificar los acoples de las membranas, y se encontró 1 suelta en Vessels #1, #3, #4 y #5. En el Vessel #2 se encontraron 2 membranas sueltas.

Una vez corregido el inconveniente se realizó un muestreo y análisis del agua de cada Vessel, encontrándose similares características antes y después de la revisión (no hubo variación significativa en la calidad del permeado), lo que indica que el motivo es la afectación (deterioro) de las membranas incluidas las recientemente instaladas ya que éstas por ser nuevas reciben la mayor carga de trabajo. Las características del Agua Potable son las siguientes:

Cuadro 9 Características del agua

Agua Potable	Después de Revisión	Antes de Revisión	Arranque Planta	INEN 1108
pH	7,33	7,26	7,64	6,5 a 8,5
TDS, ppm	311	306	90	Máximo 1000
Cloro Residual, ppm	1,8	1,6	1	0,3 a 1,5
Manganeso, ppm	0,2	0,2	0	Máximo 0,1
Dureza Total, ppm	35	27	2	Máximo 300
Hierro	0	0	0	---

Elaborado por: Maldonado Randol

Regulación de PH y potabilización

Las dosificaciones reales de las bombas de químicos son las siguientes:

Soda Cáustica Sólida: 19 ppm para regular pH del permeado a 7,7. La carrera de la bomba está regulada a 60% de una capacidad de 30 GPD.

Hipoclorito de Sodio: 39 ppm para obtener un Cloro residual de 1,8 ppm en el agua potable que va a los tanques de almacenamiento. La carrera de la bomba es de 92% y su capacidad de 3 GPD.

Flocón (Antiincrustante de membranas): 6,5 ppm con la bomba en 60% Speed y 100% Stroke (capacidad de la bomba es de 0,42 GPH). Recomendable bajar Stroke a 90% para bajar a 5 ppm la dosificación. Metabisulfito de sodio: 4,5 ppm. El residual de sulfito está dentro de lo recomendado. Mantener en Stroke 60% que tiene actualmente.

Se realizaron pruebas de regulación de Índice de Langelier con Cal y se obtuvo una reducción del Índice desde -1,24 (corrosivo) en la condición actual, hasta un Índice de -0,2 que se encuentra dentro del rango neutro no agresivo del agua (de -0,5 a +0,5). A las actuales condiciones de regulación de pH se “adicionaría” 30 ppm de CAL que significan aproximadamente un consumo de 200 Kg/mes del producto (8 sacos de 25 Kg). En esta opción se debe considerar el manejo de los lodos ya que la Cal tiene un aproximadamente 50% de insolubles, es decir se tendría que manejar 100 Kg de lodos de Cal por mes aproximadamente. El objetivo de esta prueba es eliminar el color y olor característico que produce el hierro en el agua.

La otra opción para control de Corrosión es la aplicación del producto DC 831 a base de Sales Silícicas de Sodio, con Certificado NSF que forman una capa protectora en las paredes de las líneas metálicas que protegen contra la corrosión. Esta aplicación se realiza con una regulación de pH con soda cáustica entre 8,0 y 8,3. Este incremento de soda significa un aproximado entre 10 y 15% del consumo actual.

Almacenamiento de agua potable.- En las condiciones actuales, el pH es de 7,7 y el residual de cloro es de 0,6 ppm. El control de la regulación de pH y potabilización

con cloro deben ser estables (las carreras de las bombas) para evitar picos altos y bajos en los parámetros mencionados en el agua potable.

Distribución de agua, usuario final.- Se realizó un análisis del agua en cada uno de los puntos de los usuarios. El pH se encuentra entre 7,5 y 7,6. El hierro varía entre 0,4 y 0,8 ppm. Se destaca un pico alto en el ingreso al caldero de 5 ppm debido a que la línea que transporta el agua es de hierro. Debido a las distancias en la distribución del agua, se recomienda una post cloración en el Tanque de Almacenamiento de edificios administrativos para mantener un aceptable residual de Cloro en esta área.

4.3 RESULTADOS

Comparación de alternativas para el pre tratamiento de agua

Cuadro 10 Situación actual

CALCULO REALIZADO PARA:					
150	GPM	PRETRATAMIENTO	817,5	M3/DIA	
75	GPM	PERMEADO	408,75	M3/DIA	
60	GPM	CONCENTRADO	327	M3/DIA	
15	GPM	OTROS	81,75	M3/DIA	

Elaborado por: Maldonado Randol

	PPM	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	VALOR DIARIO (\$)	OBSERVACIONES
HIPOCLORITO, ANTES DE CLARIFICADOR	30	KG	24,53	0,25	6,13	
CLARIFICADOR	160	KG	130,8	1,81	236,75	
HIPOCLORITO, ANTES DE FILTROS ARENA VERDE		KG				
MEMBRANAS		UNIDAD	20	1078,25	59,08	UN CAMBIO ANUAL
FILTROS DE ARENA VERDE, EQUIPO		SACOS 0.5 FT3				
FILTROS DE ARENA, CONSUMIBLES		SACOS 0.5 FT3	102	35	2,45	UN CAMBIO CADA 4 AÑOS
FILTROS DE 5 MICRAS, H-F3005CF		UNIDAD	7	6,65	3,1	DOS CAMBIOS POR MES
AM-11		KG	7,5	44,06	15,74	CADA 3 SEMANAS
AM-22		KG	1	48,52	2,31	CADA 3 SEMANAS
METABISULFITO DE SODIO		KG	1	3	3	
TOTAL					328,56	\$/DIA
					0,8	\$/M3 PERMEADO

NOTAS:

Elaborado por: Maldonado Randol

- Perdidas en producción de agua
- Mayor tiempo en mantenimiento de equipos y limpieza

Cuadro 11 Con filtros de arena verde

CALCULO REALIZADO PARA:				
150	GPM	PRETRATAMIENTO	817,50	M3/DIA
75	GPM	PERMEADO	408,75	M3/DIA
60	GPM	CONCENTRADO	327,00	M3/DIA
15	GPM	OTROS	81,75	M3/DIA

Elaborado por: Maldonado Randol

	PPM	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	VALOR DIARIO (\$)	OBSERVACIONES
HIPOCLORITO, ANTES DE CLARIFICADOR	200	KG	163,50	0,25	40,88	
CLARIFICADOR 2 HIPOCLORITO, ANTES DE FILTROS ARENA VERDE	160	KG	130,80	1,81	236,75	
	30	KG	24,53	0,25	6,13	
MEMBRANAS FILTROS DE ARENA VERDE, EQUIPO		UNIDAD	20,00	1.078,25	19,69	CAMBIO EN 3 AÑOS
FILTROS DE ARENA, CONSUMIBLES		SACOS 0.5 FT3	170,00	74,40	8,66	CAMBIO CADA 4 AÑOS
FILTROS DE 5 MICRAS, H-F3005CF		SACOS 0.5 FT3				
		UNIDAD	7,00	6,65	1,55	UN JUEGO POR MES
AM-11		KG	7,50	44,06	5,51	CADA 2 MESES
AM-22		KG	1,00	48,52	0,81	CADA 2 MESES
METABISULFITO DE SODIO TOTAL		KG	3,00	3,00	9,00	
					328,98	\$/DIA
					0,80	\$/M3 PERMEADO

Elaborado por: Maldonado Randol

- Se requiere una inversión inicial de 28.740 dólares en arena verde para filtros existentes más 2 filtros de arena verde nuevos y completos.
- Se tiene una mayor producción de agua.
- Menor tiempo en mantenimiento.

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Cuadro 12 Verificación de la hipótesis general y particulares

HIPÓTESIS	VERIFICACIÓN
<p>Los diseños y operaciones de la planta de potabilización influyen significativamente en el mejoramiento de la producción de agua potable.</p>	<p>De acuerdo a la información obtenida en los reportes de mantenimiento se evidencio que el agua potable tenía un sabor salobre. Debido a la falta de un adecuado diseño y operaciones de la panta de potabilización influye en el mejoramiento de la producción de agua potable.</p>
HIPÓTESIS	VERIFICACIÓN
<p>La optimización de insumos, producción y distribución permitirá la calidad de agua según la Norma INEN 1108.</p>	<p>De acuerdo al reporte de alternativas de pre-tratamiento de agua se mostró la situación actual vs con los filtros de arena verde, siendo esta última el proceso que debe aplicarse para mantener la calidad del agua.</p>
<p>El pre tratamiento del agua crudapresentó la ruptura de la membrana # 20 estaba incide en la carga del equipo de dañada, juntamente con el acople que conduce el Ósmosis Inversa.</p>	<p>Según el reporte de mantenimiento correctivo en equipo de Ósmosis Inversa, indico que se presentó la ruptura de la membrana # 20 estaba incide en la carga del equipo de dañada, juntamente con el acople que conduce el permeado, lo cual demuestra que no se aplicó un adecuado análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda.</p>
<p>El desconocimiento de los procedimientos de potabilización incide en la calidad de agua potable.</p>	<p>El rompimiento de las membranas se suscitan más por el desconocimiento del operador de turno sobre los procesos que deben seguir, debido a que no existe un manual de operación y mantenimiento, motivo por el cual genera para las plantas de purificación de agua altos costos.</p>

Elaborado por: Maldonado Randol

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 TEMA

Elaboración de un manual de operación y mantenimiento aplicado a la planta de potabilización de agua.

5.2 JUSTIFICACIÓN

Una vez de haber identificado los problemas que inciden en la calidad de agua, se aplicaron los respectivos tipos de investigación, métodos y la información obtenida de los análisis realizados en la planta de agua se propone la elaboración de un manual de operación y mantenimiento, para mantener la eficiencia en los procesos de tratamiento del agua cruda hasta que esta cuenta con la calidad adecuada para el consumo.

5.3 FUNDAMENTACIÓN

Manual de Operación y Mantenimiento

Este manual es una serie organizada de información sobre las operaciones, procesos y equipos de un sistema de purificación de aguas. En él debe describirse como trabaja cada componente del sistema de purificación, individualmente y en conjunto.

Los propios operadores del sistema de purificación deben reescribir y modificar el manual cada vez que se introduce una alteración al mismo.

La ventaja de reescribir el manual radica en el aprovechamiento que así se hace de la experiencia y familiaridad del operador con los equipos, así como con las operaciones y procesos del sistema de purificación.

El contenido básico de un manual de operación y mantenimiento puede ser el siguiente:

- Introducción.

- Descripción textual del sistema de purificación.
- Diagrama de flujo del sistema de purificación.
- Diagrama de descripción del sistema eléctrico.
- Diagrama de flujo del sistema mecánico.
- Diagrama de flujo del sistema electrónico.
- Guías de operación para cada uno de los equipos, operaciones y procesos del sistema de purificación.
- Guías de mantenimiento para cada uno de los componentes físicos, mecánicos, eléctricos, y electrónicos del sistema de purificación.
- Normas de calidad del agua u objetivos del sistema de purificación.
- Descripción del laboratorio para control y guías para su operación.
- Normas de seguridad.
- Formularios básicos de control de la operación y del mantenimiento del sistema de purificación.
- Guías para procesamiento y archivo de la información sobre operación sobre operación y mantenimiento.

Procesos de membrana

Aplicaciones

En la figura 12.1 se resumen las aplicaciones de los procesos de membrana con base en la masa molecular de los contaminantes que se van a remover. La electrodiálisis (ED) y la electrodiálisis inversa (EDI) compiten con el proceso de osmosis inversa en el tratamiento de aguas salobres. Sin embargo, las membranas utilizadas en ED y EDI no proveen la misma remoción de coliformes y microorganismos que las membranas de osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración.

más diluida, a través de la membrana, en dirección opuesta al flujo osmótico normal, fenómeno que se conoce como osmosis inversa.

Desalación por osmosis inversa.

La contrapresión es función del contenido de sales del agua, puesto que dicho contenido determina la presión osmótica de la solución. La presión osmótica del agua de mar es del orden de 20 atmosferas, es decir, aproximadamente una atmosfera por cada 1.500 mg/L de SDT.

En una planta de desalación de agua de mar, se dosifica agua salina a un recipiente que contiene la membrana semipermeable; el agua pasa a través de la membrana y la membrana rechaza los sólidos disueltos y suspendidos. Los sólidos removidos se descargan continuamente con la solución concentrada o salmuera.

En razón del incremento en la concentración de la salmuera, la presión osmótica en ella aumenta considerablemente. Por eso las plantas de osmosis inversa, para desalar agua de mar, operan a presiones de 60 a 70 atmosferas. Las membranas de OI tienen capacidades de rechazo de 100 a 200 D. un Dalton (D) es igual a un doceavo de la masa de un átomo de carbono 12 y constituye la unidad de medida de capacidad de retención (MWCO, Molecular Weight Cut-Off en inglés) de sustancias disueltas por una membrana. La capacidad de retención o MWCO es un indicador nominal del tamaño o masa molecular más pequeña de los contaminantes que no pueden atravesar el material que constituye la membrana y, por consiguiente, son excluidos del filtrador (76). El Dalton es, por tanto, igual a una unidad de masa atómica. (Romero Rojas, 2000)

Factores de importancia

Solidos Disueltos Totales (SDT)

El contenido de solidos disueltos totales en el afluente es uno de los factores más importantes para determinar la calidad del agua producto, porque la membrana de OI rechazan un porcentaje de los SDT del afluente. Por ejemplo, si un módulo de OI tiene un 92% de rechazo a 410 kPa (60psi) y el afluente contiene 500 mg/L de SDT, el producto contiene:

$$500(1 - 0,92) = 40 \text{ mg/L}$$

La concentración de SDT determina también el tipo de membrana que hay que utilizar. En aguas con concentración alta de SDT, se requiere membranas con porcentaje de rechazo mayor. Además, concentración de SDT afecta la presión requerida de abastecimiento del afluente.

Presión Neta

La presión neta, en un sistema de OI, está relacionado con las condiciones de funcionamiento, de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Presión neta} = \text{presión de abastecimiento} - \text{contrapresión} - \text{presión osmótica}$$

La presión de abastecimiento es la presión manométrica, en condiciones estáticas, sobre el costado de entrada de la membrana; la compresión es la presión sobre el costado de salida de la membrana y la presión osmótica es la presión debida a la concentración de SDT en el agua, la cual se opone a la presión de abastecimiento. En general, por cada 100 mg/L de SDT, se producen 7kPa (1 psi) de presión osmótica. Por ejemplo, un agua con 2000 mg/L de SDT ejerce 140 kPa (20 pis) de presión osmótica.

La producción de agua por OI es directamente proporcional a la presión neta. La duplicación de la presión neta dobla, por tanto, la producción de agua. Por ejemplo, si un sistema de OI produce 60 L/d de agua, a una presión de abastecimiento de 414 kPa, con un agua afluente de 500 mg/L SDT y con una contrapresión de 0 kPa, la producción de agua, para una presión de abastecimiento de 276 kPa, con un agua afluente de 1000 mg/L de SDT, sería:

$$\text{Presión neta de referencia} = 414 - 0 - \frac{(500)7}{100} = 379 \text{ kPa}$$

$$\text{Nueva presión neta} = 276 - 0 - \frac{(1000)7}{100} = 206 \text{ kPa}$$

$$\text{Nueva producción} = \frac{60 \times 206}{379} = 33 \text{ L/d}$$

La presión neta afecta también el porcentaje de rechazo de SDT. Por ello se recomienda, según el tipo de membrana de OI, una presión neta mínima.

Las presiones de operación de membranas de osmosis inversa para desalación de agua de mar oscilan entre 5,5 y 8,3 MPa y entre 0,3 y 2 MPa para desalación de aguas salobres.

Temperatura

La temperatura determina igualmente la producción en un módulo de OI, por su efecto sobre la viscosidad del agua. La temperatura estándar para determinar la producción en OI es 25°C. Además, la temperatura máxima de operación debe controlarse para evitar la degradación de la membrana con el tiempo. Algunas membranas tienen temperaturas máximas de operación de 29°C, otras de 38°C.

pH

El pH del afluente es importante para determinar el tipo de membrana de OI que se va usar. Algunas membranas de Osmosis Inversa se deterioran a pH > 8,0; otras, a pH > 11,0. Por otra parte, el pH del afluente determina la remoción de ciertos SD como el arsénico y afecta la solubilidad del hierro, manganeso, y la dureza.

Cloración

Un sistema de Osmosis Inversa requiere, generalmente, un afluente desinfectado. Las membranas celulósicas tienen buena resistencia al cloro libre y otros oxidantes químicos, pero se deterioran si se les expone a la actividad de ciertas bacterias. Sin embargo, hay membranas que no necesitan agua desinfectada y son inmunes a la degradación bacteriana. A la vez, hay membranas que no son resistentes al cloro libre ni a otros desinfectantes.

5.4 OBJETIVOS

5.4.1 Objetivo general de la propuesta

Garantizar la calidad del agua a través de la elaboración de un manual de operación y mantenimiento aplicado a la planta de potabilización.

5.4.2 Objetivos específicos de la propuesta

- Cumplir con los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano según la Norma INEN 1108.
- Ser eficientes en la compra e utilización de insumos; producción y distribución de agua potable e innovar nuevas tecnologías de ser necesario en la cadena de producción.
- Determinar los costos de inversión para mejorar la calidad del agua.

5.5 UBICACIÓN

El trabajo propuesto se lo ha realizado en el cantón Durán, Provincia del Guayas, sector donde se encuentran establecidas varias empresas que se dedican a la purificación del agua.



Figura 13 Mapa de ubicación

5.6 FACTIBILIDAD

Factibilidad administrativa

Desde el punto de vista administrativo, el manual permitirá a los analistas mantener una adecuada automatización del proceso de purificación del agua cruda, para de esta manera evitar que las membranas colapsen y se dañe el equipo por una mala maniobra o por desconocimiento.

Factibilidad Legal

La realización de esta propuesta no tiene ningún impedimento legal, es decir no existe ley, norma o reglamento que se ejecute, por lo tanto es viable su desarrollo y posible aplicación.

Factibilidad Presupuestaria

Se establecerán los presupuestos adecuados con respecto a las mejoras que se lograrán, lo cual generará un costo, de esta manera se presentaran cifras de las cuales quedara en consideración de los interesados en poner en marcha este proyecto propuesto.

5.7 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

5.7.1 Actividades

	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO APLICADO A LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN
INTRODUCCIÓN	
<p>Dentro de la optimización del sistema de pre-tratamiento de agua del pozo, se debe considerar parámetros críticos del agua de pozo, como alimentación a la unidad de ósmosis reversa, son: hierro, sulfuro de hidrógeno y manganeso. El hierro y el sulfuro de hidrógeno se logra eliminar por oxidación y precipitación en el clarificador. No así el manganeso, el cual requiere de cantidades muy elevadas de cloro (alrededor de 1000 ppm) y de polímero para ser precipitado totalmente en forma de lodo. Además de requerir una fuerte agitación en la zona de mezcla rápida.</p>	
<p>El manganeso se encuentra presente en el agua cruda del pozo en cantidades variables de 4 a 15 ppm, de acuerdo a la estación climática.</p>	

La presencia de manganeso en el agua de alimentación a las membranas de ósmosis causa su ensuciamiento prematuro, por lo cual se realizan actualmente limpiezas específicas de las membranas y el tiempo y costos de mantenimiento son mayores, así como la pérdida de producción debido al tiempo de mantenimiento que se requiere. Por esta razón, se ha estudiado diferentes alternativas con el objeto de optimizar el pretratamiento del agua y alimentar un agua libre de manganeso a las membranas para evitar el daño del equipo

PROCEDIMIENTO

Fuente.- El agua que alimenta al Complejo proviene de la Planta de Potabilización de Agua, que se encuentra dentro de las mismas instalaciones, la misma que capta agua subterránea desde un pozo profundo, para luego ser potabilizada.

Almacenamiento.- Se dispone de 3 tanques cisterna con capacidad de cada uno de 75 m³, los tanques están pintados externamente con pintura negra anticorrosiva e internamente cubierto con pintura epóxica grado alimenticio. Ver anexo B: “Especificaciones Técnicas HI SOLID CATALIZED EPOXY (HSE)”.

Potabilización.-

Todo empieza desde la captación del agua cruda, desde un pozo profundo; esta agua contiene ciertos minerales propios de aguas subterráneas, a los cuales por estar en exceso se los elimina, para esto se diseñaron dos sistemas, el sistema de Oxidación y el sistema de Ósmosis Inversa, el primero en donde con ayuda de un polímero y un agente oxidante (cloro), se precipitan lodos de hierro y manganeso, los que son evacuados por medio de la respectivas purgas de piscinas.

Luego el agua pasa por unos de filtros de grava, quienes separan las partículas en suspensión con tamaños entre 10 y 5 micras, después de esto los filtros de cartuchos separan partículas menores de 5 micras. Para luego el agua ser tratada en el sistema de Ósmosis Inversa, es aquí en donde por medio de una membrana semi-permeable, se logra separar los minerales y sólidos suspendidos, que son separados como un flujo de rechazo, y otro flujo como agua permeada, la misma que se le inyecta una dosificación de cloro, para convertirse en agua potable, para luego ser enviada a los tanques de almacenamiento.

Para garantizar la calidad microbiológica del agua se dosifica Hipoclorito de Sodio directamente en la línea de salida de agua permeada del Sistema de Ósmosis Inversa.

Distribución.- El agua es distribuida mediante bombas y tuberías a los diferentes puntos de salida y/o tomas mediante un sistema de presión constante.
Los diferentes puntos de muestreo de agua están distribuidos y codificados en el anexo C: “Esquema línea de agua y puntos de muestreo”.
Los diferentes puntos de muestreo para vapor, están distribuidos y codificados según, en el anexo D: “Esquema línea de vapor y puntos de muestreo”.
Medidas de Control y Monitoreo
Los puntos de muestro de agua son monitoreados en sus características físico químicas. Registro: DBP03-F02. “Revisión Físico – Químico de Agua en Puntos de Muestreo”. Frecuencia: Quincenal Responsable: Técnico de Mantenimiento (Planta de Agua)
Los parámetros de conductividad, ph, cloro libre, hierro, turbiedad y dureza son monitoreados. Así como los valores de caudales y presiones del Sistema de Osmosis Inversa. Registro: DBP03 – F04 Registro de Sistema de Clarificación y Sistema de Control de Membranas. Frecuencia: Diario. Responsable: Técnico de Mantenimiento. (Planta de potabilización de Agua).
El agua es monitoreada Microbiologicamente. Registro: NA-AC60-F01 “Base Microbiológica de Productos “. Frecuencia: Mensual. Responsable: Jefe de Aseguramiento de Calidad.
El agua del pozo profundo, el agua del tanque de mezcla rápida, el agua filtrada, el agua con sulfito, el agua permeada, el agua potable, el agua de concentrado, el agua de tanques pulmón, en su calidad físico- química es analizada por proveedor tercerizado. Registro: “Análisis Físico-Químico de Aguas de Planta de Potabilización”. Frecuencia: Quincenal. Responsable: Técnico de Mantenimiento
ACCIONES CORRECTIVAS
En caso de encontrarse condiciones no satisfactorias en el monitoreo Microbiológico de aguas,se procederá de la siguiente manera:
a) Corregir, en caso necesario, equipos de dosificación de cloro o frecuencia de clorinación.
b) Si lo anterior es correcto, incrementar dosificación de cloro hacia tanques, siempre con el cumplimiento de Norma INEN 1108. Ver anexo E.
c) Realizar nuevos análisis para verificar resultados.

En caso de obtener niveles bajos de cloro en algún punto de muestreo de agua.
a) Se procederá según el primer punto de las acciones correctivas.
b) Se verificará el punto de agua encontrado no conforme con análisis de contenido de cloro para comprobar su corrección.
Si del “Análisis Físico-Químico de Agua Potable” se obtiene resultados que puedan afectar a la inocuidad del agua, se tomaran las siguientes acciones:
Parámetro Conductividad.- Si los valores de conductividad están por arriba del rango, según Norma INEN 1108.
a) Se procederá a verificar parámetros de Equipo de Ósmosis Inversa y cada uno de los cinco tubos porta membranas y se medirá la conductividad de manera individual cada uno de ellos, a fin de establecer cuál esta provocando el incremento en este valor.
b) Si lo anterior es correcto, se procederá a desmontar las membranas del tubo identificado y revisar visualmente el estado del mismo, los sellos, cuerpo de la membrana, espirales.
c) Una vez determinado la causa, se procede a su reemplazo o reparación, de los accesorios dañados.
d) Realizar nuevo análisis para verificar resultados.
Parámetro PH.- En caso de obtener niveles que no cumplan la Norma INEN 1108:
a) Corregir, verificar bomba de dosificación de Soda Cáustica.
b) Si lo anterior es correcto, se procederá a regular la carrera de la bomba hasta calibrar el ph, verificar esto en la línea de permeado antes del ingreso en los tanques de almacenamiento.
Cloro Libre Residual.- Se procederá según numeral 6.3.1 y 6.3.2.
Dureza.- Si los valores de dureza están por arriba del rango, según Norma INEN 1108.
VERIFICACIONES
Verificación de registros de Mantenimiento: Frecuencia: Diaria Responsable: Jefe de Mantenimiento Área N° 2 ó Planificador de Mantenimiento.
Verificación de Registros de Aseguramiento de Calidad: Frecuencia: Máximo semanal. Responsable: Laboratorista.

MEDIDAS TOMADAS PARA SOLUCIONAR EL DESPERFECTO DE UNA MEMBRANA.

Con previa autorización se tiene que proceder a cambiar cuatro membranas del Vessel #5, por membranas nuevas que reposan en bodega, para el acople que se encuentre dañado. Se contacta con un proveedor para solucionar eventualmente el acople dañado, realizándole una camisa para lograr cerrarlo.

Una vez con todos los accesorios esten en las manos de los operadores, se debe proceder armar todas y cada una de las partes, el acople reparado se lo cambia de posición por el que está en el otro extremo del Vessel, para no obstruir el flujo normal del concentrado entre acople y cono separador. El tiempo de respuesta de toda esta maniobra fue de 11 horas desde parar la producción de agua potable hasta el nuevo arranque.

Se debe sumergir las membranas que salen en un tanque con agua permeada, para realizar posteriormente un lavado con AM-11 y luego para preservarlas con AM- 88, hasta tener repuestos de las mismas.

ANÁLISIS DE CAUSAS QUE LLEVAN DESPERFECTO EN EL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA Y SU POSTERIOR IMPACTO.

Antes de fallo.- Necesitamos ser objetivos y revisar cuidadosamente para que esto jamás vuelva a ocurrir rompimiento de membranas.

Al comparar todos los registros desde el cambio de membranas hasta la última limpieza de membranas, nos podemos dar cuenta de que hay valores que nos daban un indicio de que algo no estaba bien.

ITEM	COMPONENTES	CATÁLOGO	CAMBIO DE MEMBRANAS 13-ENERO-2014	ANTES LIMPIEZA 23/01/2014	ANTES LIMPIEZA 11/02/2014	ANTES LIMPIEZA 25-02-2014	UNIDADES
A	PARÁMETROS DE ALIMENTACIÓN						
1	Presión de Entrada	40- 60	36	46	50	50	PSI
2	Presión de Salida	40- 60	30	40	34	40	PSI
3	Temperatura	25	26	26	26	26	°C
4	ORP				-336	347	mv
5	Conductividad	9600	10000	10000	10000	10000	μS/cm
6	Presión de Bomba RO	230- 300	225	265	290	290	PSI
7	Presión del Sistema	230- 300	215	215	280	295	PSI
B	PARÁMETROS DE PERMEADO						
1	Flujo de Permeado	70	74	69	64	70,8	GPM
2	Conductividad		586			354	μS/cm
3	Ph de Permeado					7	
C	PARÁMETROS DE CONCENTRADO						
1	Flujo de Concentrado	30	56,6	49,5	45,7	41,2	GPM
2	Presión de Concentrado	175	120	90	70	60	PSI
D	LIMPIEZA DE MEMBRANAS						
1	Vessel 1		289	274	249	245	μS/cm
2	Vessel 2		280	254	233	226	μS/cm
3	Vessel 3		589	445	370	404	μS/cm
4	Vessel 4		581	449	362	391	μS/cm
5	Vessel 5		645	968	923	1472	μS/cm

Si se presta atención a los valores de la presión del concentrado se puede evidenciar que su presión está descendiendo progresivamente. En el caso de la Presión del Concentrado, desde el mismo cambio de membranas se reporta en más de una ocasión lo raro de este valor.

Otro parámetro que salta, es el valor de la conductividad en cambio aquí va aumentando. Siempre se le atribuyo que era normal que este valor sea superior a los demás.

La última limpieza se reporta que, el caudal del Vessel #5, mientras se realiza el CIP, cuando se pasa de 10gpm a 40gpm, el caudal no sube más allá de 20gpm.

Con todos estos resultados se debe detectar esta falla tempranamente.

DESPUES DEL FALLO

EQUIPO DE ÓSMOSIS INVERSA.

Las salvaguardas del Sistema de Ósmosis Inversa (RO), tampoco se activaron, entre ellos:

1.- Switches: Alta Presión.

Este se encuentra ubicado después de la Bomba de RO, según el manual debería estar seteado a 300 psi. (No Calibrado) No se debe alarmar.

2.- Controller Microprocesador: ALTO TDS.

Se encuentra en el panel frontal del Equipo de RO, debería dar una alarma por TDS alto. (No Calibrado) No se debe alarmar.

5.7.2 Recursos, análisis financiero

Dentro del análisis financiero se recomienda que las plantas de purificación de agua incurran en la siguiente inversión de instalación de filtros de arena verde, de esta manera evitar el rompimiento de membranas constantemente y garantizar la calidad del agua.

Cuadro 13 Costo de inversión propuesta

CANTIDAD	ITEM No.	DESCRIPCION	PRECIO (\$)	PRECIO (\$)
			UNITARIO	TOTAL
2	W-MF13672G-216	FILTER Mn, Fe 36 x 72 MN GREEN SAND	10.575,28	21.150,56
		220/60 (2 NUEVOS FILTROS COMPETOS)		
102	YMMNGSPLU S-0.5F	MN GREENSAND PLUS 0.5FT3	74,40	7.588,80
		44LBS 1/2CU FT		
		(ARENA VERDE PARA FILTROS EXISTENTES)		
SUBTOTAL				28.739,36
IVA				3.448,72
TOTAL				32.188,08

El aplicar esta propuesta financiera le permitirá a las empresas que poseen una planta de agua potable continuar normalmente con la planificación de sus gestiones internas y externas, evitando la parra de las actividades por no contar con la calidad de agua necesaria, acarreando costos contantes que ponen en riesgo la estabilidad financiera de estas organizaciones, motivo por el cual se sugiere esta propuesta, puesto que de aceptarla podrán realizar una sola inversión a largo plazo.

5.7.3 Impacto

El desarrollo de esta propuesta permitirá a las plantas purificadoras de agua garantizar la calidad del agua, por lo tanto generará un impacto económico para estas organizaciones, puesto que podrán cumplir con sus planificaciones y con esto el logro de los objetivos organizacionales.

A pesar que la inversión en el pre tratamiento del agua cruda es un poco alto, el beneficio que recibirán estas plantas purificadoras podrá recuperar tales valores en un corto plazo, puesto que proceso de mantenimiento será sofisticado, es decir cuidando la ejecución de cada proceso y así evitar daños de los equipos.

5.7.4 Cronograma

Cuadro 14 Cronograma de actividades

DESCRIPCIÓN	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Corrección del plan de tesis					
Desarrollo de la tesis					
Análisis de resultados					
Determinación de la propuesta					
Elaboración de manual					
Desarrollo de impacto de la propuesta					
Realización de las conclusiones y recomendaciones					
Presentación final del proyecto					

5.7.5 Lineamiento para evaluar la propuesta

Dentro de los lineamientos para evaluar la propuesta es necesario aplicar los siguientes:

- Análisis cada quince días del estado de agua.
- Realizar informes de las novedades encontradas en la verificación de los procesos aplicados en el tratamiento del agua cruda.
- Capacitar al personal constantemente.

CONCLUSIONES

En el trabajo presentado se podría concluir lo siguiente:

- El proceso de purificación del agua mediante osmosis debe llevarse a cabo con el fin de garantizar que el agua es segura para beber, donde el cloro es el desinfectante más usado para reducir o eliminar los microorganismos, tales como bacterias y virus que pueden estar presentes en los suministros de agua.
- Los filtros de purificación eliminan los sedimentos sólidos comprendidos en el agua, este filtro atrapa partículas relativamente grandes que pueden estar presentes en el agua tales como tierra, arena o partículas de suciedad orgánica o inorgánica.
- El inadecuado análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas en el agua cruda está causando carga del equipo de Osmosis Inversa, generando para las plantas purificadoras de agua altos costos de mantenimiento de las membranas.
- El personal que controla los equipos de purificación de agua es rotativo, donde mucho de ellos desconocen procesos puntuales en la potabilización de aguas subterráneas por medio del proceso de Osmosis Inversa, puesto que no cuentan con un manual para que se guíen y eviten daño de los equipos.

RECOMENDACIONES

La osmosis inversa es una tecnología que en la actualidad es muy conocida, sobre todo por la mejora en el sabor del agua.

- Realizar un buen análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas, para evitar problemas de los equipos y ruptura de las membranas.
- Se recomienda no tomar cualquier valor que se salga dentro de lo usual, no tomarlo como algo NORMAL, etiquetar este valor en el modo de observación, hasta entender la raíz del problema.
- Llevar un cuadro estadístico de cada uno de los Vessel semanalmente, o en la medida que se lo requiera. Si se sospecha de algún problema con membranas, incluir en este chequeo la Dureza Total, que normalmente esta entre 3- 6 CaCO₃, si se sospecha de contaminación este valor podría darnos una idea, de lo que está pasando.
- Realizar un cuadro con los valores mínimos y máximos de todos los valores, del equipo de Ósmosis Inversa e incluir toma de parámetros del agua potable en un punto para los técnicos de turno de Centro de Vapor.
- Determinar en qué estado se encuentran y habilitar las salvaguardas del Equipo de Ósmosis Inversa.
- Comunicación más fluida con los técnicos de planta cuando le reportaren algo inusual en el agua potable.
- Realizar lista con repuestos críticos del Equipo de RO.
- Reemplazar acople reparado, se sospecha de filtración de concentrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Escudero, J. d., & Mosquera Bajaña, E. A. (2007). *Elaboración y utilización de los medios audiovisuales del aula para mejorar la enseñanza y aprendizaje en los niños*.
- Bravo, M. I. (Junio de 2006). "Vamos a jugar", un software atractivo para la socialización de personas con el síndrome de Down (página 2). Recuperado el 14 de Noviembre de 2011, de "Vamos a jugar", un software atractivo para la socialización de personas con el síndrome de Down (página 2): <http://www.monografias.com/trabajos65/software-sindrome-down/software-sindrome-down2.shtml>
- Christophe Bosch, K. H. (Junio de 2017). *Gobernabilidad de los servicios de agua potable y saneamiento* . Recuperado el 23 de Diciembre de 2013, de https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/63/27b7082f2cfbd3ca39651ec80fe53385_62f62daec68a91a345fc45b6a56c0414.pdf
- Definición ABC. (2011). *Definicion de estrategia*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.definicionabc.com/general/estrategia.php>
- Definición ABC. (2013). *PALIAR*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.definicionabc.com/general/paliar.php>
- Definición.de*. (2011). Recuperado el 14 de Noviembre de 2011, de Definición.de: <http://definicion.de/audiovisual/>
- Díaz de Villegas, C. L. (11 de Mayo de 2015). *Libro de base para las clases de los círculos de interés del proyecto "Agua Amiga de las niñas y los niños"*. Recuperado el 10 de 01 de 2014, de https://www.unicef.org/lac/agua_amiga_full.pdf
- Díaz, M. C. (12 de Septiembre de 2009). *COSTO-BENEFICIO*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/ACB.pdf>

- Ecofinanzas. (2012). *Rentabilidad social y económica*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de http://www.eco-finanzas.com/diccionario/R/RENTABILIDAD_SOCIAL.htm
- Freire, T. P., & Muyulema Pinguil, J. (2013). *Optimización de la unidad de floculación y calidad, microbiológica y físico-química del agua del sistema de abastecimiento de la parroquia Sinincay*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4751/3/Tesis.pdf>
- Idrovo, C. (20 de Noviembre de 2016). *Optimización de la planta de tratamiento de UCHUPUCUN*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>
- INEN. (20 de Febrero de 2014). *Inen; Norma Técnica Ecuatoriana*. Obtenido de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- Jaramillo Londoño, Á. M., Giraldo Vélez, L. H., & Pérez Nanclares, C. M. (23 de Mayo de 2017). *Simposio de investigación Ustamed*. Obtenido de <http://www.ustamed.edu.co/images/documentos/investigacion/LIBRO%20SIMPOSIO%202015.pdf>
- Lenntech B.V. (2012). *Historia del tratamiento de agua potable*. Recuperado el 10 de 01 de 2014, de <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- Mar, G. M. (31 de Agosto de 2013). *FALTA DEL AGUA*. Recuperado el 10 de Enero de 2014, de <http://www.solociencia.com/ecologia/problemativa-global-agua-problema-falta-agua.htm>
- Pores, M. d. (2010). *Informática Hoy*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2011, de *Informática Hoy*: <http://www.informatica-hoy.com.ar/aprender-informatica/Que-es-un-sistema-informatico.php>
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Purificación de agua, 2da. Edición*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- UNCTAD 1990 - Conferencia de las Naciones Unidas;. (1998 - 2011). *ALEGSA*. Recuperado el 11 de Abril de 2012, de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/transferecia%20de%20tecnologia.php>

Velasquez Pallares, F. (2012). *Revisión del funcionamiento hidráulico de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/7177/1/FRANCISCO%20VEL%C3%81ZQUEZ%20PALLARES.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. ALTERNATIVAS PARA LA CLARIFICACION AGUA DE POZO

ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO QUIMICO DE CLARIFICACION

De mis consideraciones.

_____ con el objeto de mejorar las condiciones técnicas y económicas en los tratamientos químicos de sus clientes mantiene un proceso de investigación continua de nuevos productos que permitan cumplir con el objetivo planteado.

A continuación _____ se complace en presentar una alternativa de tratamiento químico para clarificación de agua del pozo, esperando que la misma satisfaga sus requerimientos técnicos y económicos.

RESULTADOS

Parámetros	Condiciones iniciales Agua pozo	Resultados Tratamiento Actual (Pruebas laboratorio) de	Resultados Alternativa (Pruebas laboratorio) de
Turbidez	5 NTU	1 NTU	1 NTU
Hierro	1.6 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm
Cantidad de lodos húmedos generados.		300 ml	150 ml

CONSUMO DE QUIMICOS

Tratamientos	productos	Dosificación ppm	P.Unit \$/kg	Cantidad kg/día	Costo \$/día	Costo \$/mes	Costo total tratamiento \$/mes
	1	20	0,6	10	6	180	
Actual	2	160	1,81	80	144.8	4344	4524
Alternativa	1	50	0,6	25	15	450	
	3	200	1,1	100	110	3300	3750

Conclusiones:

- Con la aplicación del nuevo producto de clarificación 3, se reducirá la generación de lodos húmedos en un 50 %, con las condiciones de agua similares a las del tratamiento actual es decir, 0,1 ppm de hierro y 1 NTU de turbidez.
- Se reducirán los costos de tratamiento químicos en un 17%, el costo actual en químicos para procesar 1m³ de agua de pozo es de 30ctvos. de dólar, con la aplicación del nuevo producto 3 será de 25ctvos. de dólar. Es decir con una producción diaria de 500 m³. se tendrá un ahorro de 774 dólares por mes ó 9288 dólares por año.