

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE BIOLOGIA**



**Procedimiento operacional estándar de planta potabilizadora para eliminación de arsénico Fraccionamiento Las Villas en Torreón Coahuila.**

**POR**

**ANTONIO EVERARDO CERVANTES AGUILAR**

**INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.**

**NOVIEMBRE 2020**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Procedimiento operacional estándar de planta potabilizadora para eliminación  
de arsénico Fraccionamiento Las Villas en Torreón, Coahuila.

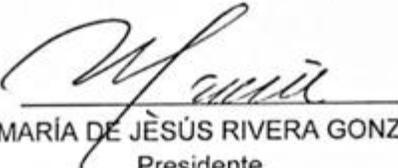
Por:

ANTONIO EVERARDO CERVANTES AGUILAR  
INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:

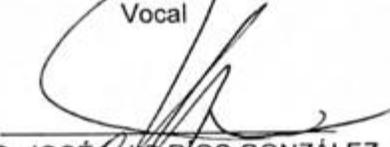
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

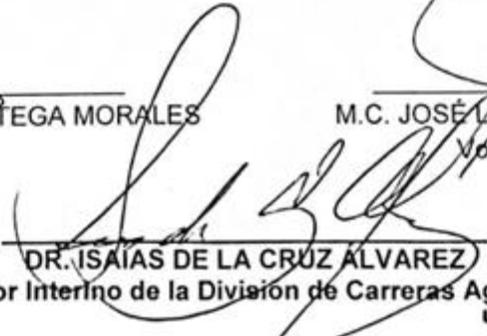
Aprobada por:

  
M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ  
Presidente

  
DR. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ  
Vocal

  
M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES  
Vocal

  
M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ  
Vocal Suplente

  
DR. ISAIAS DE LA CRUZ ALVAREZ  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
NOVIEMBRE 2020

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Procedimiento operacional estándar de planta potabilizadora para eliminación  
de arsénico Fraccionamiento Las Villas en Torreón, Coahuila.

Por:

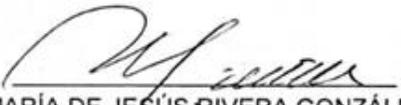
**ANTONIO EVERARDO CERVANTES AGUILAR**

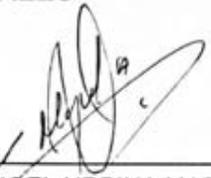
INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

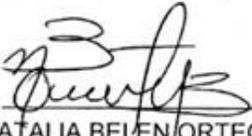
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

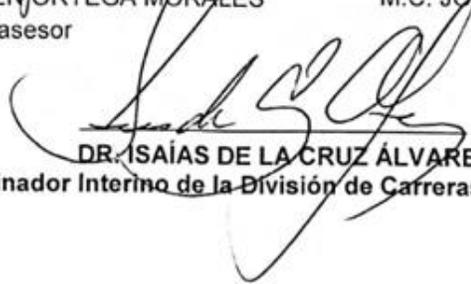
Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
M.C. MARÍA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ  
Asesor Principal

  
DR. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ  
Coasesor

  
M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES  
Coasesor

  
M.C. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ  
Coasesor

  
DR. ISAÍAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
NOVIEMBRE 2020

Universidad Autónoma Agraria  
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme en mi camino y por permitirme concluir con mi objetivo.

**A mi Alma Terra Mater:** A mi querida Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación, guiarme y formarme en esta especialidad de las ciencias ambientales.

**A mi Comité de Asesores:** Agradezco terminar este proyecto, no hubiera sido posible sin el apoyo profesional de mi tutor MC. María de Jesús Rivera González, quien con paciencia encausó mi trabajo con sus conocimientos, a el Dr. Miguel Ángel Urbina Martínez que fue mi mentor a lo largo de toda mi carrera a la Dra. Natalia Belén Ortega Morales por sus aportaciones y recomendaciones así como su aportación en conocimientos que me brindo en el trascurso de mi carrera, a la Ingeniero Vianney Eugenia González López que con su ayuda, guía y soporte contribuyo para culminar este trabajo de investigación descriptiva y alcanzar esta meta en mi vida.

**A mis Profesores:** Agradezco a los docentes del programa de ingeniero en procesos ambientales del departamento de Biología por formar parte de este objetivo alcanzado, especialmente a Héctor Montaña, Amanda Jaramillo Santos, María de Jesús Rivera González, Miguel Ángel Urbina Martínez, Natalia Belén Ortega Morales, José Luis Ríos González.

## DEDICATORIAS

### **A mi hijo**

Ángel Antonio Cervantes Lamas. Por haber aguantado el tener a su papá de forma intermitente a lo largo de toda la carrera.

“Hijo nunca es tarde para ser quien tú quieras ser, puedes aprovechar el tiempo o puedes desperdiciarlo, yo deseo que lo aproveches la vida no tiene reglas, deseo que este esfuerzo que hicimos sea un ejemplo para que seas una persona de bien, para Dios, para tu país, para tu sociedad, para tu familia, espero y lo seas y si te das cuenta que no, recuerda nunca es tarde para cambiar o empezar de nuevo.”

**A todas esas personas** que confiaron en mí y me dieron palabras de aliento cuando estuve a punto de rendirme que por circunstancias de la vida ya no están, y a aquellas personas que por circunstancias de la vida llegaron.

## RESUMEN

El presente procedimiento operacional estándar de una planta potabilizadora de arsénico del fraccionamiento Las Villas de Torreón trata de la realización e implementación de un manual operativo, mejor conocido por la norma internacional ISO 9001 como procedimiento operacional estándar y está dirigido para todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento de la planta potabilizadora; en los que se incluyen a supervisores, operadores y personal de mantenimiento; con la finalidad de proporcionar una base de conocimientos para la correcta operación y funcionamiento de los equipos e infraestructura que comprende una planta potabilizadora. En el presente documento se incorporan fundamentos técnicos que contienen elementos necesarios para que el personal operativo pueda realizar y llevar a cabo todas las tareas basándose en el manual operativo o en el que conforme a la norma internacional ISO 9001 señala las partes Constituyentes esenciales para la realización de un manual operativo mejor conocido como procedimiento operativo estándar en las que incluye: objetivo, alcance y aplicación así como, referencias, definiciones, responsabilidades, desarrollo de los temas a tratar diagramas representaciones esquemáticas de los elementos de un único proceso, fotografías, figuras, tablas entre otros. El complejo está ubicado en el área más exclusiva al norte de la ciudad de Torreón, por lo cual la demanda de agua potable principalmente en las temporadas de verano es alta y debe cumplir con los parámetros marcados por NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

**Palabras clave:** Arsénico, Potabilizar, Operación, Filtros, Desinfección.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS .....	ii
RESUMEN .....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
<b>2.1 Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3 Sobreexplotación del acuífero .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4 Arsénico .....</b>	<b>5</b>
<b>2.5 Arsénico en la laguna.....</b>	<b>6</b>
<b>2.6 Enfermedades causadas por consumir agua con arsénico .....</b>	<b>6</b>
2.6.1 Efectos agudos.....	6
2.6.2 Efectos a largo plazo.....	7
<b>2.7 NOM-127-SSA1-1994.....</b>	<b>7</b>
<b>2.8 Infraestructura necesaria en una planta potabilizadora de agua .....</b>	<b>7</b>
<b>2.8.1. Planta potabilizadora.....</b>	<b>7</b>
<b>2.9 Noria .....</b>	<b>8</b>
<b>2.9 Filtrado de arena silica.....</b>	<b>8</b>
<b>2.10 Retrolavado.....</b>	<b>9</b>
<b>2.11 Desinfección.....</b>	<b>9</b>
<b>2.12 Hipoclorito de sodio .....</b>	<b>9</b>
<b>2.13 Cloruro férrico.....</b>	<b>10</b>
<b>2.14 Coagulación.....</b>	<b>10</b>
<b>2.15 Polímero aniónico.....</b>	<b>10</b>
<b>2.16 Bombas .....</b>	<b>11</b>
<b>2.17 Sedimentación.....</b>	<b>11</b>
<b>2.18 Lodos generados en plantas potabilizadoras.....</b>	<b>11</b>
<b>2.19. Espesamiento por gravedad.....</b>	<b>11</b>
III. MATERIALES Y METODOS .....	12
<b>3.2. Localización del experimento.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Procedimiento de la elaboración del manual .....</b>	<b>13</b>
3.3.1. Análisis del proceso operativo de la planta. ....	13
3.3.2 Descripción del proceso en la planta tratadora .....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
<b>4.1 Propuesta de un manual de operación.....</b>	<b>14</b>

<b>4.2 Descripción de la planta potabilizadora para eliminación de arsénico .....</b>	<b>14</b>
<b>Capacidad nominal del diseño de operación de la planta potabilizadora .....</b>	<b>15</b>
<b>4.3 Condiciones normales .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4 Propósito.....</b>	<b>16</b>
<b>4.5 Alcance.....</b>	<b>16</b>
<b>4.6 RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD.....</b>	<b>16</b>
<b>4.7 Criterios de Operación .....</b>	<b>16</b>
<b>4. 8 Procedimientos de Operación planta potabilizadora.....</b>	<b>16</b>
<b>4.9 Responsabilidades del supervisor y trabajador .....</b>	<b>17</b>
4.9.1 Responsabilidad del Supervisor.....	17
4.9.2 Responsabilidades del trabajador u operador .....	18
4.9.3 Descripción de las actividades .....	18
<b>4.10. Monitoreo del proceso .....</b>	<b>25</b>
4.10.1. Proceso de monitoreo. ....	25
<b>4.11 Dosificar a un litro de cloruro férrico.....</b>	<b>29</b>
<b>4.13 Cálculos para la dosificación del floculante polímero aniónico .....</b>	<b>31</b>
<b>4.14 Agua de llegada corresponde al agua que abastece a la fraccionamiento las Villas en torreon Coahuila; la cual proviene de las ocho norias establecidas en el fraccionamiento....</b>	<b>32</b>
<b>4.15 Bombas sumergibles.....</b>	<b>33</b>
<b>4.16 Válvulas de las tuberías de cada noria .....</b>	<b>34</b>
<b>4.17 Dosificación en tuberías para su desinfección.....</b>	<b>39</b>
<b>4.18 Tanques de contacto.....</b>	<b>40</b>
<b>4.19 Filtros de arena y carbón activado .....</b>	<b>41</b>
<b>4.20 Tanque de sedimentación y descarga por decantación .....</b>	<b>44</b>
<b>4.21 tanques de almacenamiento del agua potabilizada .....</b>	<b>45</b>
<b>V. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>47</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIG. 3 RACK DE OPERACIÓN.....	21
FIG. 4 VÁLVULA EN CONTRA SENTIDO.....	22
FIG. 5 MEDIDOR DE TUBERÍA.....	23
FIG.6 CHECK LIST RECORRIDO OPERACIÓN PLANTA POTABILIZADORA.....	24
FIG. 7 MONITOREO DEL PROCESO.....	25
FIG. 8 PROCESO DE MONITOREO.....	26
FIG. 9 PROCESO DE MONITOREO.....	27
FIG.10 SUSTANCIAS QUÍMICAS.....	27
FIG.11 UBICACIÓN DE LÍNEAS DOSIFICADORAS DE COAGULANTES Y FLOCULANTES.....	28
FIG.12 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA POTABILIZADORA.....	32
FIG. 13 BOMBA DE NORIA N-8.....	33
FIG.14 VÁLVULA NORIAS N-1, N-2.....	34
FIG.15 VÁLVULA NORIA N-3, TUBERÍA QUE DESEMBOCA AL ESTANQUE.....	35
FIG. 16 VÁLVULA NORIA N-4.....	36
FIG. 17 VÁLVULA N-5.....	36
FIG. 18 VÁLVULA N-6.....	37
FIG.19 VÁLVULA N-7.....	37
FIG. 20 VALVULA N-8.....	38
FIG. 21 TUBERÍAS ENTRANTES AL PROCESO (LAS TUBERÍAS DE LAS NORIAS ESTÁN CONECTADAS POR DEBAJO Y SE JUNTAN EN DOS TUBERÍAS DE 8")......	39
FIG.22 TUBERÍAS DE TANQUE DE CONTACTO.....	39
FIG. 23 TANQUES DE CONTACTO.....	40
FIG. 24 ESQUEMA DE LOS MATERIALES FILTRANTES Y FILTROS.....	41
FIG. 25 FILTROS UNO Y DOS.....	42
FIG. 26 FILTRO TRES.....	43
FIG. 27 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN.....	44
FIG. 28 ESQUEMA DE LA DESCARGA POR DECANTACIÓN.....	44
FIG. 29 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	45

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. VÁLVULAS .....	22
TABLA 2. CONVERSIONES PARA CLORURO FÉRRICO .....	29
TABLA 3. CÁLCULOS PARA LA DOSIFICACIÓN HIPOCLORITO DE SODIO .....	30
TABLA 4. CÁLCULOS PARA DOSIFICACIÓN DEL POLÍMERO ANIÓNICO .....	31
TABLA 5. LITROS POR SEGUNDO DE CADA BOMBA SUMERGIBLE DE LAS NORIAS .....	34

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro suficiente, inocuo y accesible (agua potable), ya que es uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud (IMTA, 2016).

Normalmente los recursos hídricos se obtienen de aguas superficiales o de aguas subterráneas (CONAGUA, 2018a). Desde hace muchos años la extracción de agua subterránea ha sido mayor a la recarga, lo cual ha generado una sobreexplotación de los acuíferos por más de 480 hm<sup>3</sup> (Pulido, 2011).

La sobreexplotación de un acuífero se produce cuando la extracción de agua del subsuelo se realiza a un ritmo superior al de la infiltración o recarga natural. Esta situación implica el consumo progresivo del agua que se encontraba almacenada en el terreno, y acarrea numerosas consecuencias negativas, como por ejemplo: un gradual encarecimiento de la producción, problemas en los cursos de agua o entre usuarios y frecuentemente, una degradación de la calidad del agua (Nacional, 2011). La calidad del agua en La Región Laguna se ha visto afectada por la sobreexplotación de sus mantos acuíferos reduciendo la calidad del agua. Los laguneros tendrán graves consecuencias en la salud, ya que al verse sobreexplotados los acuíferos se eleva la concentración del arsénico (As), el cual es una sustancia cancerígena (INFORURAL, 2014)

La ingesta de agua con contenido de metales y metaloides como el arsénico, cadmio, plomo y mercurio puede producir daños neuronales, problemas estomacales, parálisis parcial, ceguera y ciertos cánceres en piel, pulmón, hígado, riñón y próstata.(Varela y López, 2004)

El As presente en aguas destinadas a consumo humano es una problemática reconocida en distintas regiones del mundo (Carro, 2014)

El tratamiento de aguas está regido por una serie de normas que indican o fijan los límites generales aceptables para las impurezas de las aguas que están destinadas al abastecimiento público, condiciones mínimas de calidad física, química y bacteriológica (Canto, 1977 ). Estas normas no deben considerarse como un criterio de evaluación o control de las operaciones de las plantas de tratamiento sino como las especificaciones generales para la aceptación del producto. Ya que cuando el tratamiento de las aguas está bien

controlado, se pueden obtener mejores resultados que los establecidos en las normas (Salamanca, 2014).

Se dice que una planta de tratamiento de aguas es tan eficiente como lo son sus operadores. Una planta bien diseñada pero mal operada ofrecerá malos resultados, una planta con problemas de diseño pero bien operada puede ofrecer resultados satisfactorios, una planta bien diseñada y bien operada logra efluentes de buena calidad (Cesar, 2010)

El agua potable es necesaria para la vida, para la salud y para una existencia productiva. La salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de la calidad (CONAGUA, 2018a).

El presente procedimiento operacional estándar o manual de operación tiene como propósito contar con una guía clara y específica que garantice la óptima operación y desarrollo de las diferentes actividades que se llevan a cabo dentro de la planta potabilizadora para eliminación de arsénico del fraccionamiento Las Villas en Torreón, Coahuila. Los lineamientos que se proponen son con el fin de tener un efluente de excelente calidad para el consumo humano del fraccionamiento; al llevar a cabo una adecuada operación en la planta potabilizadora se garantiza el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994 – Salud.

A continuación, se enlistan las etapas del proceso:

Norias 1,2,3,4,5,6,7,8 y estanque

Mezcladores mecánicos

Tanques de contacto

Filtros de grava, arena y carbón activado

Tanque de sedimentación

Tanques de almacenamiento 2,3,4,5.

## II. REVISION DE LITERATURA.

### 2.1 ANTECEDENTES

La descripción de cómo sucedió una exposición al arsénico en el pasado sirve para señalar cuáles fueron los efectos de este metaloide sobre varios aparatos y sistemas.

En 1900 un lote de cerveza contaminada con arsénico causó 6,000 intoxicaciones y aproximadamente 71 muertes en el norte de Inglaterra. La fuente de la contaminación que afectó a 100 cervecerías fue un lote de ácido sulfúrico contaminado con arsénico. Este ácido se utiliza para producir azúcar a partir de la caña de azúcar para el proceso de elaboración de la cerveza.

Las manifestaciones clínicas presentes fueron anorexia, pigmentación café, neuritis periférica (debilidad muscular, dolor y parestesias en las extremidades), lesiones hepáticas, edema localizado, y degeneración grasa del corazón. La concentración de arsénico en la cerveza osciló entre 2-4 ppm (ATSDR, 2009).

En México, en 1958, se reconoció que la Comarca Lagunera es una zona con hidroarsenicismo crónico, época en que se hicieron visibles los primeros efectos en la salud, que se manifiestan como enfermedades de cáncer de piel, hígado, vesícula, próstata, vejiga y pulmón, así como la enfermedad del pie negro, esterilidad y abortos espontáneos (Rivera, 2016).

Los primeros métodos de tratamiento del agua trataban principalmente de mejorar sus características; eliminar su turbidez, color, olor o sabor desagradable. Posteriormente, cuando se descubrió una conexión clara entre el agua y ciertas enfermedades, la mayor preocupación fue hacer que el agua estuviera libre de microorganismos nocivos y fuera segura para el consumo humano (HIEGIENEAMBIENTAL.COM, 2018).

El primer uso documentado de filtración de agua para potabilización fue en el año 1804 en Escocia, cuando al propietario de una instalación industrial se le ocurrió vender su excedente de agua al público. John Gibb instaló un filtro experimental, haciendo de éste el primer sistema conocido de tratamiento de agua. En París, se inauguró una planta de tratamiento de agua en el año 1806. Utilizaba sedimentación seguida de filtración por medio

de una serie de filtros que contenían arena gruesa de río, arena limpia, carbón vegetal y más arena limpia.

La filtración de arena y el tratamiento de agua ganaron aceptación popular, volviéndose prácticas tradicionales en la década de 1850. Esto se relaciona directamente con un brote de cólera que se dio en Londres en esa época, y que se determinó fue causado por agua contaminada (FLUENCE, 2016).

En algún momento de la historia más reciente nace el concepto de agua potable, que engloba todas esas características de seguridad microbiológica y cualidades físicas que la hacen inocua y agradable a nuestros sentidos, y la historia del tratamiento del agua gira precisamente en torno al desarrollo de diversos sistemas para conseguirla (HIEGIENEAMBIENTAL.COM, 2018).

### **2.3 SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO**

De una forma sencilla, la sobreexplotación de un acuífero se puede definir como la extracción del agua del mismo en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación, todo ello referido a un período de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendrían períodos anómalamente secos. En consecuencia, el efecto más inmediato de la sobreexplotación sería el descenso continuo de los niveles piezométricos que se acompaña normalmente del agotamiento de las urgencias.(SEMARNAT, 200).

La presencia de altos niveles de arsénico en las aguas subterráneas para uso potable tiene importantes consecuencias para la salud humana. México ha reducido sus límites máximos permisibles para agua potable de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. La normatividad mexicana establece una reducción de  $5 \mu\text{g L}^{-1}$  por año, comenzando desde un valor de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  hasta alcanzar un límite permisible de  $25 \mu\text{g L}^{-1}$  durante el periodo 2000-2005 (Secretaría de Salud, 2000). La norma actual de  $25 \mu\text{g L}^{-1}$  está siendo revisada y se planea que sea reducida a  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  próximamente. Sin embargo, esto no es un asunto trivial ya que tiene implicaciones logísticas y económicas con un alto grado de complejidad (Boch, 2012).

En el acuífero Principal de la Comarca Lagunera, se recargan 518 millones de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de agua al año y se extraen 930 m<sup>3</sup>, según el último diagnóstico hecho por la Conagua. De este volumen, 650 m<sup>3</sup> están concesionados, pero los cerca de 300 m<sup>3</sup> restantes se extraen de forma ilegal, ante la falta de medidores volumétricos en operación en todas las norias (CONAGUA, 2018b).

## 2.4 ARSÉNICO

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas. El arsénico inorgánico está naturalmente presente en altos niveles en las aguas subterráneas de diversos países, entre ellos: Argentina, Bangladesh, Chile, China, la India, México y los Estados Unidos de América. Las principales fuentes de exposición son: el agua destinada a consumo humano, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada (OMS, 2008).

El arsénico es un elemento extremadamente tóxico para el organismo humano. Y no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, también la exposición durante un largo período a bajas concentraciones relativas de arsénico (por ejemplo, por ingestión de agua) tiene efectos negativos crónicos para la salud. Por eso, el arsénico en las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) susceptibles de ser utilizadas para consumo, constituye una gran amenaza para el hombre (Lilo, 2003).

El As se encuentra presente en la atmósfera, suelo, rocas, cuerpos de agua, minerales y organismos de formas inorgánica, orgánica y metilada (Valenzuela y Yañez, 2009). La toxicidad del arsénico en el agua es eliminada con un proceso oxidativo para la transformación de la forma más tóxica de As (III) a la forma menos tóxica de As (V) (Dastidar, 2009).

Los procesos y tecnologías conocidos para la remoción de arsénico del agua son variados y comprenden desde tratamientos en plantas potabilizadoras convencionales y métodos domiciliarios, hasta tecnologías *in situ*. Los procesos de remediación que se conocen en la actualidad son: oxidación, precipitación, coagulación y ablandamiento con cal, ósmosis inversa, microfiltración, nanofiltración, adsorción, tratamientos biológicos, fitorremediación, electrodiálisis y electrocinética, entre otros (Perez, 2013).

## **2.5 ARSÉNICO EN LA LAGUNA**

Las altas concentraciones de arsénico en agua y suelo se han convertido en un problema global, ya que las exposiciones prolongadas a este metaloide pueden causar daños crónicos a la salud. Dicha situación es particularmente importante en la Comarca Lagunera en México (Rangel *et al.*, 2015)

A principios de la década de 1960, las instituciones de salud de México reportaron problemas de salud en personas y animales en la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango, México, debido al consumo de agua subterránea con elevadas concentraciones de arsénico. El agua provenía del acuífero aluvial que representaba la principal fuente de abastecimiento para más de dos millones de personas que habitaban en la zona. Estudios realizados delinearon extensas áreas de la Región Lagunera donde las concentraciones de arsénico estaban por arriba de 25 µg/l, nivel máximo recomendado en la NOM-127-SSA1-1994, modificada en 2000 para agua de consumo humano (CONAGUA, 2014b).

La calidad del agua en La Laguna se ha visto afectada por la sobreexplotación de sus mantos acuíferos reduciendo la calidad del agua los laguneros tendrán graves consecuencias en la salud, ya que al verse sobreexplotados los acuíferos se elevan los valores de concentración del arsénico, el cual es una sustancia altamente cancerígena (INFORURAL, 2014)

De los 114 pozos y tanques para abastecer de agua a la población de Torreón, 21 (18%) superan la Norma oficial mexicana de niveles permisibles de arsénico en el agua, que es de 0.025 miligramos por litro, según el último análisis fisicoquímico realizado por el sistema municipal de aguas y saneamiento (SIMAS) de la ciudad. (Rodriguez, 2019).

## **2.6 ENFERMEDADES CAUSADAS POR CONSUMIR AGUA CON ARSÉNICO**

### **2.6.1 EFECTOS AGUDOS**

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte.

## **2.6.2 EFECTOS A LARGO PLAZO**

Los primeros síntomas de la exposición prolongada (bioacumulación) a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC (OMS, 2018)

## **2.7 NOM-127-SSA1-1994**

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.(SSA, 1994)

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.(SSA, 1994)

## **2.8 INFRAESTRUCTURA NECESARIA EN UNA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA**

### **2.8.1. PLANTA POTABILIZADORA**

En el año 2013 existían registradas en el país, 742 plantas potabilizadoras en operación, con una capacidad total instalada de 137 808.72 L/s y un caudal potabilizado de 94 791.68 L/s. Al cierre de 2014, el registro de plantas en operación aumentó a 779 unidades, con una

capacidad instalada en conjunto de 138 045.29 L/s y caudal potabilizado de 96 274.75 L/s. Esto significó un incremento en el ejercicio del 0.13 por ciento en la capacidad instalada, y aumento en caudal potabilizado del 1.5 por ciento (CONAGUA, 2014a)

Los procesos de potabilización están en función de la calidad del agua en las fuentes de captación, pudiendo ser tan sencillo como la desinfección, o involucrar diversas operaciones unitarias como oxidación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración, además de la desinfección (CONAGUA, 2007).

A continuación, se describen los procedimientos que se utilizan en algunos procesos de potabilización.

## **2.9 NORIA**

La noria es una obra de captación de aguas subterráneas que no se encuentran contenidas en un acuífero, que provienen de las filtraciones de cauces naturales o artificiales o de napas subsuperficiales de drenaje natural del suelo en las posiciones más altas (INGECIV, 2015).

## **2.9 FILTRADO DE ARENA SILICA.**

Las arenas silíceas es un tipo de arena con una alta proporción de SiO<sub>2</sub> (sílice), y la mayoría de los usos requieren de una ley superior al 95%. También se conoce como arena industrial, y se diferencia de las arenas que se usan para propósitos básicos de construcción principalmente por su contenido de sílice, pero también se diferencian por otros atributos físicos como la dureza, la geometría del grano, su resistencia a la compresión, entre otros. (Energetica, Diembre, 2018 )

El agua sucia entra por la parte superior del filtro y desciende a través del lecho filtrante de arena. El filtrado se realiza al ir quedando absorbidas las partículas sólidas a lo largo del sinuoso lecho filtrante. Cuando el agua llega a la parte inferior se recoge en un colector de salida. El lecho filtrante de arena queda retenido dentro del filtro gracias a unas crepinas o brazos filtrantes con pequeñas ranuras de paso de agua. Las partículas sólidas se van quedando retenidas en el lecho de arena. A medida que se incrementa la suciedad retenida se incrementa también la pérdida de carga del filtro (REGABER, 2014).

## 2.10 RETROLAVADO

El retrolavado es la operación de mantenimiento más importante para el correcto desempeño de una cama con un medio granular, que puede ser de carbón activado, arena, zeolita, resina de intercambio iónico o lechos multimedia (Carbotecnica, 2014)

Con el retrolavado, el agua arrastra la suciedad acumulada en el filtro. El agua, cargada de suciedad, sale a través de la válvula de drenaje hacia el exterior. El proceso de limpieza puede automatizarse mediante las válvulas de contravalado y el programado de lavado de filtros (REGABER, 2014).

## 2.11 DESINFECCIÓN

En este proceso se eliminan los agentes patógenos reconocidos, pero no necesariamente todas las formas de vida microbianas (Vignoli, 2002)

Los agentes químicos más importantes son el cloro, el bromo, el yodo, el ozono, el permanganato de potasio, el agua oxigenada y los iones metálicos (Chulluncuy, 2011).

## 2.12 HIPOCLORITO DE SODIO

La cloración de las aguas empezó a utilizarse a principios del siglo xx, hacia el año 1910 y fue en los años 40 y 50 cuando se extendió a gran parte de la población urbana (SSA, 1994).

Es un líquido transparente, ligeramente amarillo o verde con un fuerte olor a cloro. Se utiliza normalmente mezclado con agua como limpiador doméstico, desinfectante y agente blanqueador. También se utiliza en la purificación y el tratamiento del agua (Health, 2009).

Su carácter de oxidante fuerte le permite actuar como agente de blanqueo y desinfección; estas propiedades se aprovechan para el tratamiento de fibras y la eliminación de microorganismos en el agua (kirk-othmer, 2007)

El cloro es el agente desinfectante más importante; puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal (hipoclorito de sodio). Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo. En dosis adecuadas no produce riesgos para el hombre ni para los animales. Su efecto residual protege al agua de contaminarse en las redes de distribución (Arboleda, 2000).

### 2.13 CLORURO FÉRRICO

El cloruro férrico usado como coagulante, tiene ventajas al compararlo con otros, entre las que se destacan su efectividad en amplios rangos de pH y temperatura. Además genera iones trivalentes de mayor peso molecular, esenciales para el proceso de coagulación (Zerbatto *et al.*, 2009)

El proceso de coagulación usando cloruro férrico seguido de floculación, sedimentación y filtración, es una excelente alternativa de tratamiento para remover arsénico de agua para consumo humano. (Rivera *et al.*, 2011a).

### 2.14 COAGULACIÓN

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos

La coagulación convencional ha sido utilizada tradicionalmente para remover sólidos del agua con fines de uso y consumo humano y sigue siendo uno de los procesos más utilizados en la potabilización de agua en México. (Rivera *et al.*, 2011b).

El sistema de la coagulación está integrado por una serie de proteínas plasmáticas, a las que se les asignó un número romano según el orden en el cual fueron descubiertas. La mayoría de estas proteínas o factores de la coagulación, existen bajo condiciones fisiológicas en forma inactiva, como zimógenos, que son convertidos a enzimas activas por ruptura de una o dos uniones peptídicas. (Guerrero, 2015)

### 2.15 POLÍMERO ANIÓNICO

Los polímeros están constituidos por pequeñas subunidades o monómeros formando cadenas lineales o ramificadas. Si el monómero presenta grupos ionizables, el polímero se llama polielectrolito, y según el tipo de grupo ionizable pueden ser catiónicos (carga positiva), aniónicos (carga negativa) o anfóteros (carga positiva y negativa). También existen otros sin

grupos ionizables llamados polielectrolitos no iónicos, capaces de desestabilizar los coloides por enlaces de puente intrapartícula (Tchobanoglous, 1979).

En un estudio realizado en donde el agua contenía 67 µg/L en promedio de arsénico se aplicaron 8.5 mg/L de hierro (coagulante) y 0.2 mg/L de un polímero aniónico, mediante lo cual fue posible obtener una eficiencia de remoción de arsénico de 93% y del hierro adicionado del 98% (Rivera *et al.*, 2011a).

## **2.16 BOMBAS**

En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

## **2.17 SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación es la operación unitaria que consiste en separar, por acción de la gravedad, un sólido finamente dividido de un líquido en el que está suspendido, obteniendo un líquido clarificado y un lodo más o menos espeso con elevado porcentaje de sólidos (COULSON y RICHARDSON 1978).

## **2.18 LODOS GENERADOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS**

Como ya se ha indicado, los lodos que se originan en las estaciones de tratamiento se recogen a través de las purgas de los decantadores, donde generalmente precipitan por gravedad o en el lavado de los filtros.

Dado que estos lodos se extraen de forma intermitente y las concentraciones son bastante diferentes, es aconsejable enviarlos a un depósito de mezcla y almacenamiento, donde se homogeneice la concentración y a la vez se disponga de un volumen tal que permita el funcionamiento continuado de la planta de fangos (Ramirez, 2008).

## **2.19. ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD**

El espesamiento por gravedad suele realizarse en decantadores estáticos circulares o rectangulares provistos de rasquetas que arrastran el fango precipitado hacia las arquetas de recogida. El agua decantada clarificada se extrae por los vertederos situados en la parte

superior. a veces, los decantadores por gravedad pueden disponer de lamelas que, al aumentar la superficie de decantación, permiten reducir el volumen del decantador, obteniendo los mismos o mejores resultados en el espesamiento (Ramirez, 2008).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización geográfica.

Este trabajo se llevó a cabo en la planta potabilizadora de Torreón, Coahuila que se encuentra en paseo de las villas # 1 Fraccionamiento Las Villas, 27105 sus coordenadas latitud: 25 ° 36 45. 78" N, longitud: 103° 24 37.46" O.

Mapa de la ciudad de Torreón Coahuila y su localización geográfica de la planta potabilizadora.



### **3.2. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.**

La planta potabilizadora se encuentra en Torreón, Coahuila en el paseo de Las Villas # 1 Fraccionamiento Las Villas, el proceso de arranque de operación de la planta fue dirigido por la empresa IS SOLUTION la constructora de la planta con ayuda del ing. De la O, Ing. Mendoza, Ing. Jorge Pérez Supervisor de la planta (personal de las villas) Actualmente los ingenieros siguen apoyando para mantener la operación en óptimas condiciones.

Los operadores se encargan del muestreo de las norias y del efluente para el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994, aparte de la operación y mantenimiento de los diversos equipos que se encuentran dentro de la potabilizadora (bombas, tanques, válvulas, tuberías) así como también de las sustancias que se dosifican en el proceso como el hipoclorito, cloruro férrico, polímero aniónico y cualquier asesoría relacionada con la planta.

### **3.3 PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACIÓN DEL MANUAL**

#### **3.3.1. ANÁLISIS DEL PROCESO OPERATIVO DE LA PLANTA.**

Para determinar los procedimientos y requerimientos de la planta potabilizadora se realizó una lista de chequeo y verificación por actividad, permitiendo de esta forma recabar la información necesaria inherente a cada uno de los procesos involucrados.

#### **3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EN LA PLANTA TRATADORA**

Se realizó un mapa conceptual descriptivo, así como el diagrama de flujo para cada una de las etapas de operación de la planta potabilizadora.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPUESTA DE UN MANUAL DE OPERACIÓN

El siguiente Manual de Operación da como resultado los pasos a seguir para operar una planta potabilizadora. En el cual se describen las etapas de cada parte del proceso, así como los pasos a seguir para operar correctamente cada uno de los equipos, el mantenimiento que se debe de realizar en cada área para obtener resultados satisfactorios y cumplir con el objetivo que es el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994. El manual está dirigido al personal de la planta que se encarga de la operación y administración, así como al personal de nuevo ingreso, sirve como guía detallada para llevar a cabo la operación cotidiana de la planta alcanzando un nivel de desempeño eficiente y seguro.

Este documento se propone ante las instancias correspondientes para su aprobación e implementación; este mismo puede ser sujeto a revisión parcial para obtener optimizar resultados.

### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA PARA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO

A continuación, se describe las seis etapas del proceso de potabilización del agua de la planta potabilizadora.

**Primera etapa.** - se cuenta con ocho pozos donde se sustrae agua del subsuelo que es bombeada a través de unas tuberías, el fluido extraído es regulado por medio de unas válvulas hacia un estanque para ser almacenada; después de esto se re bombea hacia la planta potabilizadora para ser mezclada con sustancias químicas que facilitan la remoción de arsénico.

**Segunda etapa.**- Las tubería que conducen el agua hacia la planta potabilizadora cuentan con dos mezcladores mecánicos cuya función es realizar una mezcla homogénea de cloruro férrico, hipoclorito de sodio, floculante aniónico que ayudan a la remoción de arsénico y darle un tratamiento para la eliminación de microorganismos así como sedimentar sólidos suspendidos totales, esta dosificación es por medio de unas bombas que la inyectan a la tubería; en el tanque de contacto se agrega el polímero aniónico que ayuda a precipitar los sólidos suspendidos totales.

**Tercera etapa.**- los tanques de contacto hacen la función de reactores químicos porque es ahí donde se llevan a cabo las reacciones químicas que remueven el arsénico con el cloruro férrico; por el intercambio iónico el arsénico desplaza al fierro ya que es más afín al cloro de esta forma se reduce el arsénico presente en el tratamiento del agua, la función del floculante aniónico es ayudar a la precipitación de la materia orgánica presente en el efluente y además de precipitar las partículas coloides de la reacciones químicas.

**Cuarta etapa.** – En esta etapa se cuenta con tres filtros dos de grava con arena y uno de carbón activado. En esta etapa el efluente es bombeado por tres bombas centrifugas para incrementar la presión del agua a través de las tuberías, su función es filtrar el agua tratada reteniendo todas las partículas presentes.

**Quinta etapa.** – Esta etapa consta de un tanque de sedimentación, en donde el efluente tratado es depositado para que por medio de gravedad las partículas que lograron pasar el proceso de filtración se depositen al fondo del tanque con una capacidad de 150 m3.

**Sexta etapa.** - En esta etapa el efluente tratado es depositad en cuatro tanques de almacenamiento, donde por decantación en el tanque numero dos es depositada y almacenada el agua tratada.

## **CAPACIDAD NOMINAL DEL DISEÑO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA**

Capacidad de potabilización.

Flujo 15 L/seg.

Temperatura 22°C.

pH 7.53

Fierro 0.03 mg/L.

Turbidez 1.0 NTU

Arsénico 0.179 mg/L.

### **4.3 CONDICIONES NORMALES**

Se entiende por condiciones normales una operación continua, al aceptar agua con las características físicas deseadas cómo son: olor, color; un funcionamiento óptimo del equipo, un paro programado que sea por rutina de mantenimiento y flujo dentro de lo diseñado.

#### **4.4 PROPÓSITO**

Este procedimiento tiene como objeto Establecer los estándares de operación del proceso de la planta de potabilización en todos los turnos de operación para la correcta operación de la planta potabilizadora de agua de Las Villas, Torreón, Coahuila.

#### **4.5 ALCANCE**

Este procedimiento es de aplicación obligatoria para todo el personal que intervenga en la operación y mantenimiento en los procesos operativos de la planta potabilizadora de las Villas.

#### **4.6 RESPONSABILIDAD Y AUTORIDAD**

Superintendente de operación, supervisor de área, operador cuarto de control.

#### **4.7 CRITERIOS DE OPERACIÓN**

Antes de la operación de la planta potabilizadora, se debe considerar que todos los equipos involucrados (Pozo, noria, bomba sumergible, caudal de agua requerido, válvulas butterfly, válvulas bypass, tuberías, mezcladores dinámicos, dosificadores, compresor de aire comprimido, depósitos de cloruro férrico, hipoclorito, floculante aniónico, tanques de contacto 1 y 2, bombas centrifugas 1, 2, 3. Filtros 1, 2, 3. Tanque de sedimentación) en la operación deben estar en condiciones óptimas de operación, para poder llevar a cabo la correcta operación de la planta y se pueda cumplir con la función de diseño de reducir la concentración de los diferentes tipos de arsénico presentes en el agua de consumo humano para el cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.

#### **4. 8 PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN PLANTA POTABILIZADORA**

- Establecer todos los pasos y fases de la operación del proceso.
- Proporcionar al personal una clara comprensión de los parámetros para la operación segura y confiable del proceso.
- Acciones para regresar a condiciones seguras de operación. Los Procedimientos de Operación incluyen:
  - 1.- Primer arranque de la operación (en el proyecto se utiliza un protocolo complementario).
  - 2.- Puesta en operación después de un cambio de turno.
  - 3.- Arranques después de una falla o un paro de emergencia.
  - 4.- Arranque después de un paro (por cualquier motivo).

## **4.9 RESPONSABILIDADES DEL SUPERVISOR Y TRABAJADOR**

### **4.9.1 RESPONSABILIDAD DEL SUPERVISOR**

- 1.- Es responsabilidad actualizar los documentos de acuerdo con el programa de operación mensual, funcionamiento y seguridad de la planta potabilizadora.
- 2.- Es responsabilidad proporcionar, revisar, verificar que se cumpla con el programa de operación mensual de la planta potabilizadora.
- 3.- Es responsabilidad programar con el encargado de mantenimiento los días del mes que se dar servicio a la planta potabilizadora.
- 4.- Es responsabilidad establece directrices, lineamientos, recomendaciones, metodologías, para llevar a cabo la operación de la planta potabilizadora.
- 5.- Es responsabilidad proporcionar toda la documentación correspondiente a formatos, documentos, bitácoras, reportes, a los operadores de la planta potabilizadora.
- 6.- Es responsabilidad solicitar los recursos para el correcto funcionamiento, operación, preservación de las instalaciones de la planta potabilizadora y el personal a su cargo.
- 7.- Es responsabilidad realizar la orden de compra para el muestreo del agua tratada con un laboratorio certificado y acreditado para el cumplimiento de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.
- 8.- Es responsabilidad proporcionar a los trabajadores la capacitación para hacer las actividades de manera segura.
- 9.- Es responsabilidad realizar un análisis de riesgo del proceso.
- 10.- La aplicación del código de colores y señalización de las sustancias químicas peligrosas que se utilicen para la correcta operación de la planta potabilizadora.
- 11.- Contar con un plan de acción de emergencias.
- 12.- Disponer de equipo o materiales para contener las sustancias peligrosas en caso de derrame de los líquidos.
- 13.- Hacer cumplir el procedimiento de operación de la planta potabilizadora de las villas.

#### **4.9.2 RESPONSABILIDADES DEL TRABAJADOR U OPERADOR**

- 1.- Entrega de turno y recepción de turno, debe ser en el cuarto de control de la planta potabilizadora, de forma verbal y escrita en la bitácora de operación de la planta, así como revisar visualmente el monitoreo de la planta en la PC.
- 2.- Revisar el estado de los equipos antes de operarlos.
- 3.- Realizar un recorrido por toda la planta potabilizadora y realizar el check list de los equipos y las condiciones de operación de la planta potabilizadora.
- 4.- Informar al supervisor sobre las anomalías detectadas, desviaciones encontradas en la operación, condiciones inseguras de las instalaciones, funcionamiento de los equipos.
- 5.- Cumplir con las medidas de seguridad establecidas por la empresa.
- 6.- Utilizar el equipo de protección personal proporcionado por la empresa.
- 7.- Operar los equipos y maquinaria a su cargo, conforme a diseño.
- 8.- Reportar cualquier anomalía, falla de equipo detectada en el check list realizado durante el turno, o en el turno, al personal de mantenimiento y supervisor ya sea en la maquinaria o instalaciones de la planta potabilizadora.
- 9.- Reponer los niveles de cloruro férrico, hipoclorito de sodio, floculante aniónico en cada se depositó correspondiente.
- 10.- Informar al supervisor cuando no se tenga stock de cloruro férrico, hipoclorito de sodio, floculante aniónico, registrar el stock en el reporte de operación, en bitácora de operación, así como vía correo electrónico.

#### **4.9.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES**

1. El agua que abastece la planta potabilizadora Las Villas en Torreón proviene de las norias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Y un proveedor externo Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento CEAS.
2. Inspeccionar físicamente el funcionamiento de las norias en operación y revisar el flujo del agua que indica el flujómetro instalado en la tubería de salida de la motobomba, registrar el valor indicado y registrarlo en el formato de operación por turno al inicio de cada turno y final de cada turno.

3. En caso dado que el gasto, flujo, caudal en la noria sea menor a 12 L/seg. Apagar esa motobomba y cambiar a otra noria que tenga mayor gasto o esté dentro del valor mínimo de operación que es de 12 L/seg.
4. Inspeccionar que las válvulas de las norias que están en operación estén abiertas hacia la planta potabilizadora, en caso de que se esté filtrando agua para potabilizarla.
5. Listado de válvulas de norias 1,2,3,4,5,6,7,8, y un proveedor externo Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento (CEAS.)
6. Agua de riego a jardines dirección del flujo a estanque de captación fraccionamiento Las Villas, abrir las válvulas de la noria uno y dos, válvula 1; noria tres, válvula 3; noria cuatro, válvula 4; noria cinco válvula, 5; noria seis y siete válvula 2; noria ocho, válvula 6; noria proveedor externo Comisión estatal de aguas y saneamiento CEAS, válvula 8, (nota tomar la lectura del medidor instalado y registrar el consumo de agua en formato de reporte de operación del agua consumida a proveedor Comisión estatal de aguas y saneamiento CEAS).
7. Dar un recorrido en toda la planta y realizar un check list de las condiciones y revisión de las válvulas de las tuberías, así como la dirección del flujo, registrar el sentido del flujo en formato de reporte de operación.
8. Dirección del flujo del agua a riego jardines fraccionamiento Las Villas, va en función de los niveles del estanque o de la demanda de agua ver programa de operación mensual proporcionado por supervisor.
9. Dirección del flujo del agua a potabilizar para fraccionamiento Las Villas, va en función de los niveles de los tanques de almacenamiento o de la demanda de agua, ver programa de operación mensual.
10. Inspeccionar el monitoreo del proceso en el panel de control y verificar que las condiciones de operación sean las que indica el monitoreo, comparándolo en campo y verificado con el check list realizado en el recorrido.
11. Dar un recorrido por la planta potabilizadora al inicio de cada turno y cada dos horas para detectar alguna desviación que no corresponda al correcto funcionamiento de los equipos de la planta potabilizadora.
12. Inspeccionar y medir los niveles de cloruro férrico, y anotar la medición en el formato de reporte de operación.

13. Inspeccionar y medir los niveles de hipoclorito de sodio, y anotar la medición en el formato de reporte de operación.
14. Inspeccionar y medir los niveles de floculante aniónico, y anotar la medición en el formato de reporte de operación.
15. En caso de que falte algún coagulante, o floculante reponer el nivel del depósito y mantenerlo siempre por encima del nivel medio siendo este un nivel crítico para la operación.
16. En dado caso de que no se tenga los floculantes en el área solicitar estos sean repuestos a su supervisor o área de almacén o compras para tener stock en el área.
17. Inspeccionar que las mangueras que inyectan los floculantes no estén obstruidas o tapadas y que estén conectadas, así como que no presenten fugas.
18. Inspeccionar que la velocidad de inyección del dosificador de cloruro férrico esté inyectando la cantidad calculada en la dosificación en caso de que no sea así purgar la línea y aumentar la velocidad y presión de la inyección del dosificador y regresar a la velocidad establecida por el cálculo de dosificación en ml/L., de acuerdo al caudal que se tenga en la tubería de agua a tratar.
19. Inspeccionar que la velocidad de inyección del dosificador de hipoclorito de sodio este inyectando la cantidad calculada en la dosificación, en caso de que no sea así, purgar la línea y aumentar la velocidad y presión de la inyección del dosificador y regresar a la velocidad establecida por el cálculo de dosificación en ml/L., De acuerdo al caudal que se tenga en la línea de agua a tratar.
20. Inspeccionar que la velocidad de inyección del dosificador del floculante aniónico este inyectando la cantidad calculada en la dosificación, en caso de que no sea así, purgar la línea y aumentar la velocidad y presión de la inyección del dosificador y regresar a la velocidad establecida por el cálculo de dosificación en ml/L., de acuerdo al caudal que se tenga en la line de agua a tratar
21. Inspeccionar físicamente el funcionamiento de las norias en operación y revisar el flujo del agua que indica el flujómetro instalado en la tubería de salida de la motobomba, registrar el valor indicado en el formato de operación por turno al inicio y al final de turón.
22. Llegar al área, identificar la bomba de la noria, seguir la tubería del agua hasta identificar el instrumento medidor de flujo, abrir la tapa del indicador de flujo e identificar la medición del flujo los datos arrojados por el medidor deben estar en litros por segundo

(l/seg). Registrar el valor indicado por el instrumento anotarlo en el reporte de operación por turno el dato en la celda correspondiente.



*Fig. 1 Medidor de flujo*



*Fig.2 Flujiómetro tubería de noria.*

23. Si el gasto es menor a 12 l/seg. Apagarla bomba de la botonera del rack, presionar botón rojo para apagar, presionar botón verde para encender.



*Fig. 1 Rack de operación.*

24. Revisión de las válvulas de la tubería que estén abiertas hacia la planta potabilizadora, en caso de que no sea así, girar la palanca de la válvula en dirección del tubo en esa posición indica válvula abierta.



*Fig. 2 Válvula en contra sentido.*

25. Válvula en contra sentido del tubo indica válvula cerrada (Fig.4). Mover la palanca en dirección al tubo que indica válvula abierta.

Tabla 1. Válvulas

26.No. Válvula	27.No. Noria	28. Estanque	29. P. potabilizadora
30.1	31.1 Y 2	32. Abierta	33. Cerrada
34.3	35.3	36. Abierta	37. Cerrada
38.4	39.4	40. Abierta	41. Cerrada
42.5	43.5	44. Abierta	45. Cerrada
46.2	47.6 Y 7	48. Abierta	49. Cerrada
50.6	51.8	52. Abierta	53. Cerrada
54.8	55. CEAS	56. Cerrada	57. Cerrada

58. Medidor de agua instalado en tubería de línea proveedor Comisión estatal de aguas y saneamiento (CEAS).

Nota: cuando se consuma agua de esta noria, registrar el valor del medidor en metros cúbicos (m<sup>3</sup>). y el flujo del agua en (lts/seg). En formato de operación planta potabilizadora.



*Fig. 3 Medidor de tubería*

Realización de check list.

Tomar formato de check list dar un recorrido en las instalaciones de la planta potabilizadora e identificar los puntos a verificar en el formato anotar la información correspondiente al check list.

1. Nombre del formato, check list recorrido operación planta potabilizadora.
2. Apartado de fecha: Indicar el día que se realizó.
3. Apartado de turno: Indicar el turno en el que se realiza check list.
4. Apartado Numero: Indicar que noria es, el valor numérico del flujo, el número de válvula que está operando, el nivel del estanque en m<sup>3</sup>, el consumo de agua en el medidor para el proveedor Comisión estatal de aguas y saneamiento CEAS en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), Indicar valor numérico en mililitros (ml). en el caso de los niveles de cloruro férrico, hipoclorito de sodio, floculante aniónico, el nivel del tanque de contacto uno y dos indicar el nivel em m<sup>3</sup>, en el filtro uno, dos, tres, indicar si un valor numérico está en operación.
5. Apartado posición: anotar la posición en la que se encuentran las válvulas durante el recorrido si están abiertas o cerradas, comparar con el listado de la tabla listado de válvulas de norias del turno anterior y el registro de la bitácora de operación de la planta potabilizadora.

En el formato propuesto de check list (fig.6) para la supervisión en las instalaciones de la planta potabilizadora anotar la desviaciones detectadas para cada uno de los parámetros considerados; las cuales deben ser atendidos por el personal de mantenimiento ya sean en el turno en operación o para recorridos programados .

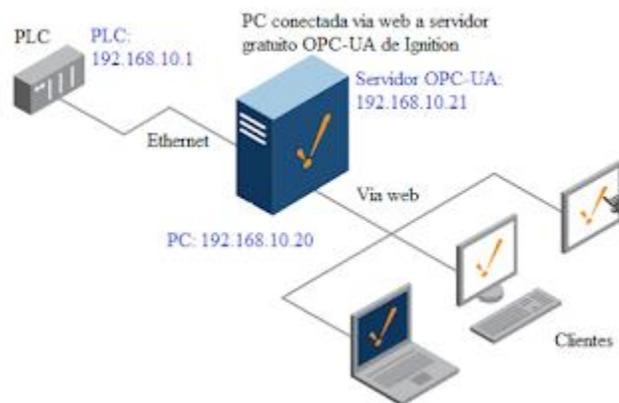
En el apartado de comentarios: hacer la anotación de condiciones de seguridad que pongan en riesgo la operación de la planta, así como la seguridad de las instalaciones o personas, durante el recorrido o durante el turno de operación.

Check list recorrido operación planta potabilizadora				
Fecha:	Turno:	Número	Posición	Observaciones
No. de noria que esta en operación				
Flujo lts/seg.				
No. de Válvula				
Nivel del estanque en M3				
P. Potabilizadora				
Consumo M3 Medidor CEAS				
Nivel de cloruro férrico				
Nivel de hipoclorito de sodio				
Nivel de floculante aniónico				
Nivel de tanque de contacto 1				
Nivel de tanque de contacto 2				
Filtro 1				
Filtro 2				
Filtro 3				
Compresor de aire horometro				
Comentarios:				

*Fig.4 Check List Recorrido operación planta potabilizadora*

#### 4.10. MONITOREO DEL PROCESO

Al inicio y durante el turno a operar la planta potabilizadora por medio del monitoreo de proceso se realizará una inspección visual del diagrama de flujo del proceso en el monitor de la PC; verificando que lo que se marca en el diagrama sea congruente con lo realizado de manera física con el check list (fig. 6). Si se detecta una falla o desviación durante la operación en el turno será necesario, llevar a cabo una verificación en campo para detectar la falla en el monitoreo y atender dicha falla si es que no requiere intervención por parte del personal de mantenimiento.



*Fig. 5 Monitoreo del proceso*

##### 4.10.1. PROCESO DE MONITOREO.

El proceso de monitoreo consta de los siguientes elementos: servidor, computadora personal y hardware el enlace se realiza por medio de un software, a una tarjeta de PLC (controlador lógico programable), y ese a su vez por medio de un lazo de control se ven en tiempo real las mediciones de los sensores instalados en el proceso, así como las variables a controlar en la pantalla del monitor de la PC.

Frecuencia de recorridos es necesario que se realice un recorrido en las instalaciones cada dos horas para inspeccionar físicamente las condiciones del proceso. el recorrido debe

realizarse en los siguientes horarios 08:00,10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00, 22:00, 24:00, 02:00, 04:00, 06:00. En dado caso de no realizarse a la hora indicada, hacerlo en la hora inmediata de los horarios establecidos.

Dentro del recorrido debe inspeccionarse lo siguiente

- 1.- Medir los niveles de cloruro férrico y registrar la medición en el formato de reporte de operación.
- 2.- Medir el nivel de hipoclorito de sodio y anotar la medición en el formato de reporte de operación.

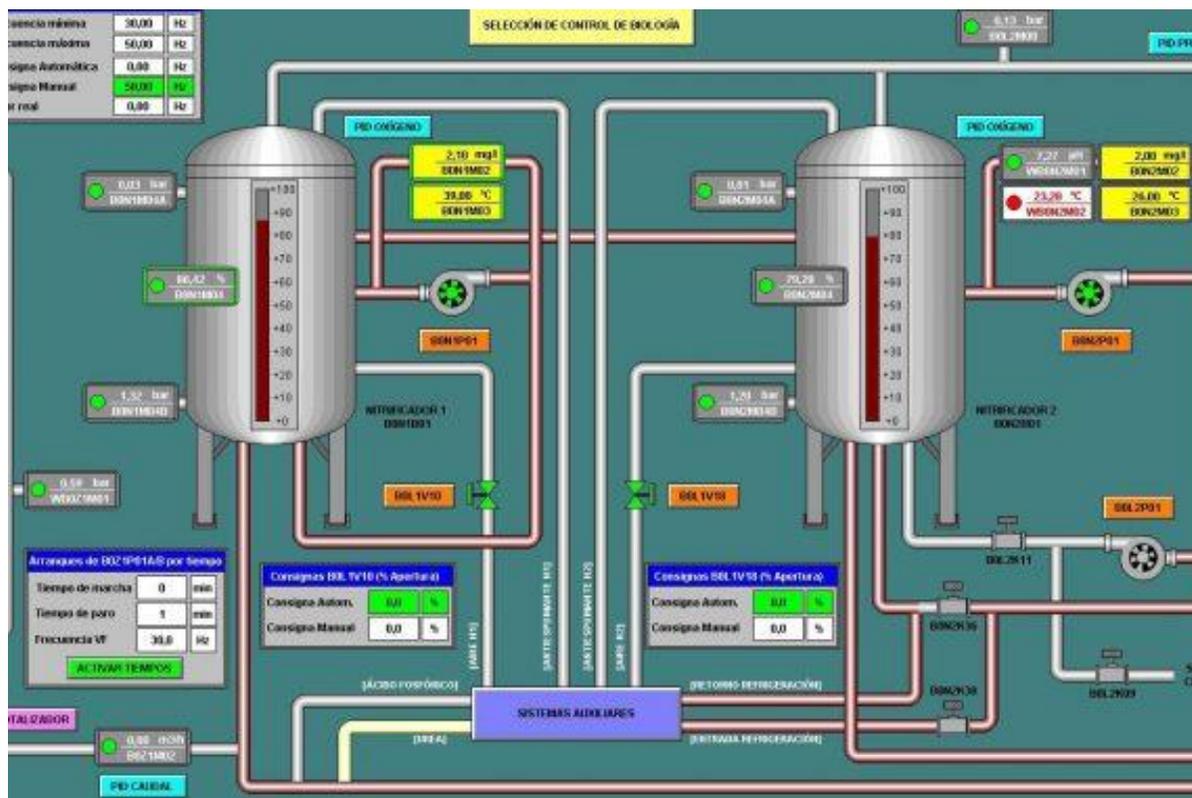


Fig. 6 Proceso de monitoreo



*Fig. 7 Proceso de monitoreo*

3.- Medir el nivel de floculante aniónico y anotar la medición en el formato de reporte de operación. Cuando se lleve a cabo la medición del nivel de floculante aniónico o coagulante, deberá usar el equipo de seguridad para el manejo de sustancias químicas. El cual consta de (lentes seguridad, guates de latex) colocarse el equipo de seguridad para el manejo de sustancias químicas, y reponer los niveles de cada una de las sustancias que se requieran.



*Fig.8 Sustancias químicas*

En caso dado que no se tenga inventario de coagulantes y floculantes en el área asignada de sustancias químicas, informar de inmediato al supervisor, y solicitarlo en el turno de día y tarde, por ningún motivo se debe operar la planta si llega a faltar alguno.

Inspección de líneas o mangueras de bombas dosificadoras de cloruro férrico, hipoclorito de sodio, floculante aniónico, cada dos horas en los recorridos que se den dentro de la planta potabilizadora.

En caso de que una línea o tubería este taponeada u obstruida purgar la línea, desconectando la manguera de la conexión del tubo del agua y de la bomba dosificadora e introducir aire a presión hasta eliminar el tapón de material.



*Fig.9 Ubicación de líneas dosificadoras de coagulantes y floculantes*

#### 4.11 DOSIFICAR A UN LITRO DE CLORURO FÉRRICO.

Para 40 m<sup>3</sup> de agua ver tabla dos de valores para los diferentes flujos de agua.

Tabla 2. Conversiones para cloruro férrico

Factor de conversión para el FeCl <sub>3</sub> agregar a 1 litro de cloruro férrico a 40 m <sup>3</sup> de agua				
Flujo de agua			Flujo de cloruro ferrico	
lts/seg	lts/min	m <sup>3</sup> /hr	lts/seg	m <sup>3</sup> /hr
5	300	18.00	0.45	45
6	360	21.60	0.54	54
7	420	25.20	0.63	63
8	480	28.80	0.72	72
9	540	32.40	0.81	81
10	600	36.00	0.9	90
11	660	39.60	0.99	99
12	720	43.20	1.08	108
13	780	46.80	1.17	117
14	840	50.40	1.26	126
15	900	54.00	1.35	135
16	960	57.60	1.44	144
17	1020	61.20	1.53	153
18	1080	64.80	1.62	162

#### 4.12 Cálculos para la dosificación de hipoclorito de sodio.

Dosificar a un litro de hipoclorito de sodio (NaClO). Para 65 m<sup>3</sup> de agua

Tabla 3. Cálculos para la dosificación hipoclorito de sodio

Factor de conversión para el NaClO agregar a 1 litro de Hipoclorito de sodio a 65 m <sup>3</sup> de agua				
Flujo de agua			Flujo de Hipoclorito de sodio	
lts/seg	lts/min	m <sup>3</sup> /hr	lts/seg	m <sup>3</sup> /hr
5	300	18.00	0.28	27.69
6	360	21.60	0.33	33.23
7	420	25.20	0.39	38.77
8	480	28.80	0.44	44.31
9	540	32.40	0.50	49.85
10	600	36.00	0.55	55.38
11	660	39.60	0.61	60.92
12	720	43.20	0.66	66.46
13	780	46.80	0.72	72.00
14	840	50.40	0.78	77.54
15	900	54.00	0.83	83.08
16	960	57.60	0.89	88.62
17	1020	61.20	0.94	94.15
18	1080	64.80	1.00	99.69

#### 4.13 CÁLCULOS PARA LA DOSIFICACIÓN DEL FLOCULANTE POLÍMERO ANIÓNICO

Tabla 4. Cálculos para dosificación del polímero aniónico

Factor de conversión para el polimero anionico 5 gr. A 1 litro				
Flujo de agua			Flujo del polimero anionico	
lts/seg	gr-lts/min	m <sup>3</sup> /hr	lts/seg	m <sup>3</sup> /hr
5	1500	90.00	1.38	138.46
6	1800	108.00	1.66	166.15
7	2100	126.00	1.94	193.85
8	2400	144.00	2.22	221.54
9	2700	162.00	2.49	249.23
10	3000	180.00	2.77	276.92
11	3300	198.00	3.05	304.62
12	3600	216.00	3.32	332.31
13	3900	234.00	3.60	360.00
14	4200	252.00	3.88	387.69
15	4500	270.00	4.15	415.38
16	4800	288.00	4.43	443.08
17	5100	306.00	4.71	470.77
18	5400	324.00	4.98	498.46

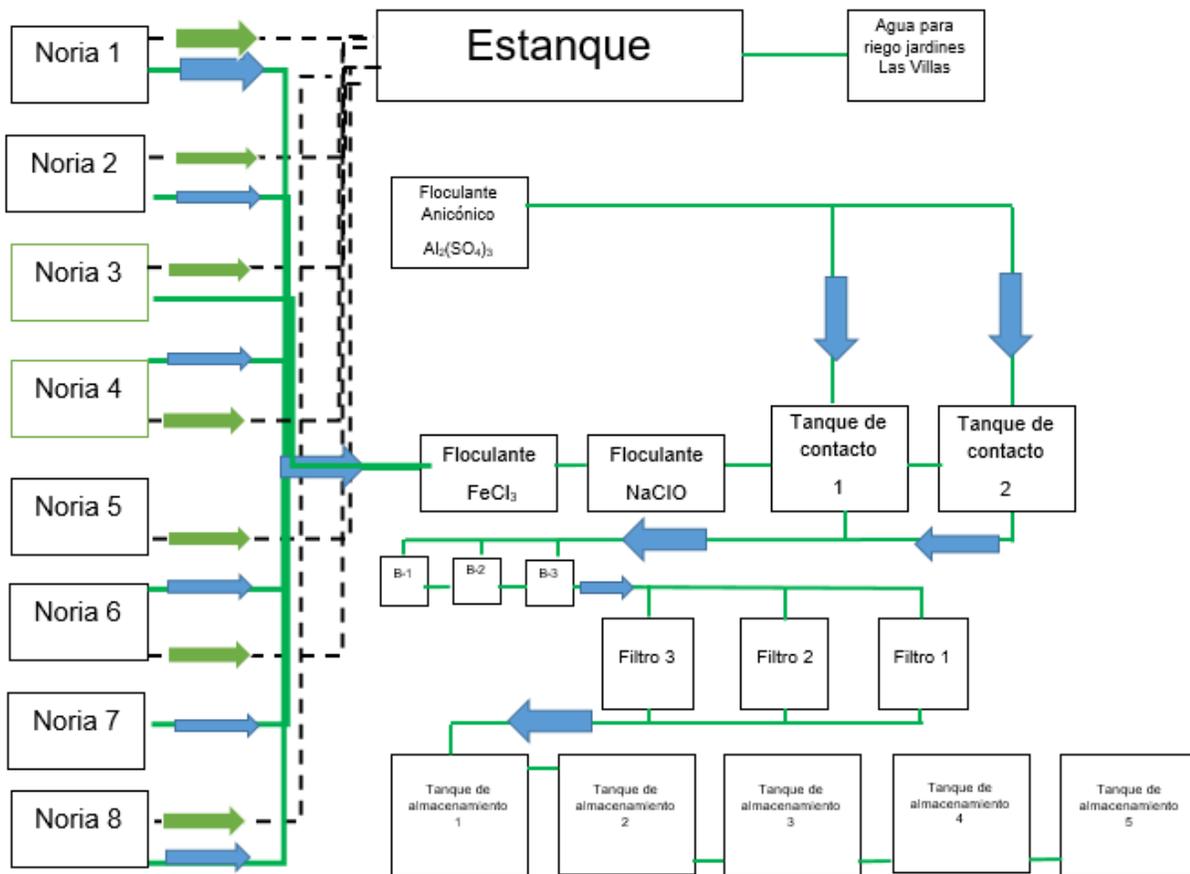


Fig.10 Diagrama de flujo de la planta potabilizadora.

#### 4.14 AGUA DE LLEGADA CORRESPONDE AL AGUA QUE ABASTECE A LA FRACCIONAMIENTO LAS VILLAS EN TORREON COAHUILA; LA CUAL PROVIENE DE LAS OCHO NORIAS ESTABLECIDAS EN EL FRACCIONAMIENTO.

El agua que abastece a la colonia Las Villas, en Torreón, Coahuila, proviene de las norias N-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; cabe hacer la observación que algunas norias contienen valores muy elevadas de arsénico. Para evitar problemas de saturación como es el caso de los filtros de purificación estos se mantienen fuera de servicio. Una vez al año se realiza un muestreo de arsénico en las norias por una empresa externa. Algunas norias contienen concentraciones muy elevadas de arsénico.

#### 4.15 BOMBAS SUMERGIBLES



*Fig. 11 Bomba de noria N-8*

##### **Operación (Es la misma operación para todas las bombas)**

- 1.- Se revisa 2 veces al día para evitar cualquier anomalía. (7am y 7pm).
- 2.- Las bombas están prendidas las 24 horas.
- 3.- Las bombas solo tienen mantenimiento cuando los operadores notan alguna anomalía, entonces un externo le da mantenimiento.
- 4.- Cuando el agua de la noria no se manda a la planta, esta se manda directo a un estanque, esta agua es utilizada para riego y se dirige por diferentes válvulas (estas válvulas solo pueden ser movidas cuando el asesor o ing. Encargado autoriza) debido al muestreo que el encargado realice.

Cada noria tiene su propia bomba sumergible que manda el flujo de agua a la planta potabilizadora. Cada bomba manda diferentes litros por segundo (lps)

Tabla 5. Litros por segundo de cada bomba sumergible de las norias

<b>N-1</b>	12 a 15 lps FUNCIONANDO
<b>N-2</b>	12 a 15 lps F/S
<b>N-3</b>	4 a 5 FUNCIONANDO
<b>N-4</b>	12 a 15 lps FUNCIONANDO
<b>N-5</b>	12 a 15 lps FUNCIONANDO
<b>N-6</b>	12 a 15 lps FUNCIONANDO
<b>N-7</b>	4 a 5 lps FUNCIONANDO
<b>N-8</b>	FUNCIONANDO

#### 4.16 VÁLVULAS DE LAS TUBERÍAS DE CADA NORIA

Válvula norias N-1, N-2

N-1 en función siempre abierta.

N-2 F/S.



*Fig.12 Válvula norias N-1, N-2*

Válvula noriaN-3

N-3 F/S



*Fig.13 Válvula noria N-3, tubería que desemboca al estanque*

Nota: Aquí en este ejemplo podemos apreciar como desemboca el agua de la noria a un estanque (todas las tuberías de las norias tienen esta opción). El estanque tiene por objetivo el riego de áreas verdes. Cuando la concentración de arsénico en la noria es muy elevada se desvía el agua al estanque para evitar que el agua pase por la potabilizadora y así evitar problemas de operación en el proceso como es el caso de saturar los filtros.

Cuando se requiera el desvío del agua hacia el estanque el Ingeniero encargado será quien de pauta a dicha acción. La decisión será en base a los resultados del laboratorio.

Válvula noria N-4

N-4 En función siempre abierta



*Fig. 14 Válvula noria N-4*

Válvula noria N-5

N-5 En función siempre abierta



*Fig. 15 Válvula N-5*

Válvula noria N-6

N-6 En función siempre abierta



*Fig. 16 Válvula N-6*

Válvula noria N-7

N-7 En función siempre abierta



*Fig.17 Válvula N-7*

Válvula noria N-8

N-8 En función siempre abierta



*Fig. 18 Válvula N-8*

Luego de que las válvulas le dan el paso al flujo que mandan las bombas sumergibles provenientes de las norias entra por dos tuberías que tienen un diámetro de 8" llamadas Comisión estatal de aguas y saneamiento CEAS y Norias. Las cuales descargan al estanque o a la planta potabilizadora Cada tubería tiene su propia válvula.



*Fig. 19 Tuberías entrantes al proceso (las tuberías de las norias están conectadas por debajo y se juntan en dos tuberías de 8").*

#### **4.17 DOSIFICACIÓN EN TUBERÍAS PARA SU DESINFECCIÓN**



*Fig.20 Tuberías de tanque de contacto.*

Para la dosificación del agua el flujo se mezcla con hipoclorito y cloruro férrico con ayuda de mezcladores que se encuentran dentro de las tuberías estos giran con ayuda de la presión del flujo, estas sustancias se utilizan para la desinfección y se dosifican a través de bombas dosificadoras estas se encuentran programadas automáticamente. (ver figura de dosificación y agregar imagen de bombas dosificadoras).

#### 4.18 TANQUES DE CONTACTO

En el tanque de contacto es un reactor diseñado que ayuda a que se termine de realizar las reacciones químicas del cloruro férrico, la desinfección del agua por medio del hipoclorito de sodio, los sólidos suspendidos son atrapados por el floculante aniónico que estos a su vez son precipitados hacia la parte inferior del tanque para posteriormente ser drenados por una válvula de desfogue cuando los sólidos suspendidos aumentaban el volumen.



*Fig. 21 Tanques de contacto*

#### 4.19 Filtros de arena y carbón activado

En el proceso de filtración se cuenta con dos filtros de grava con arena sílica, los filtros uno y dos, son los que contienen grava y arena sílica, en el filtro número uno la alimentación es por la parte superior, donde el efluente conducido a presión tiene el primer contacto con el lecho filtrante.

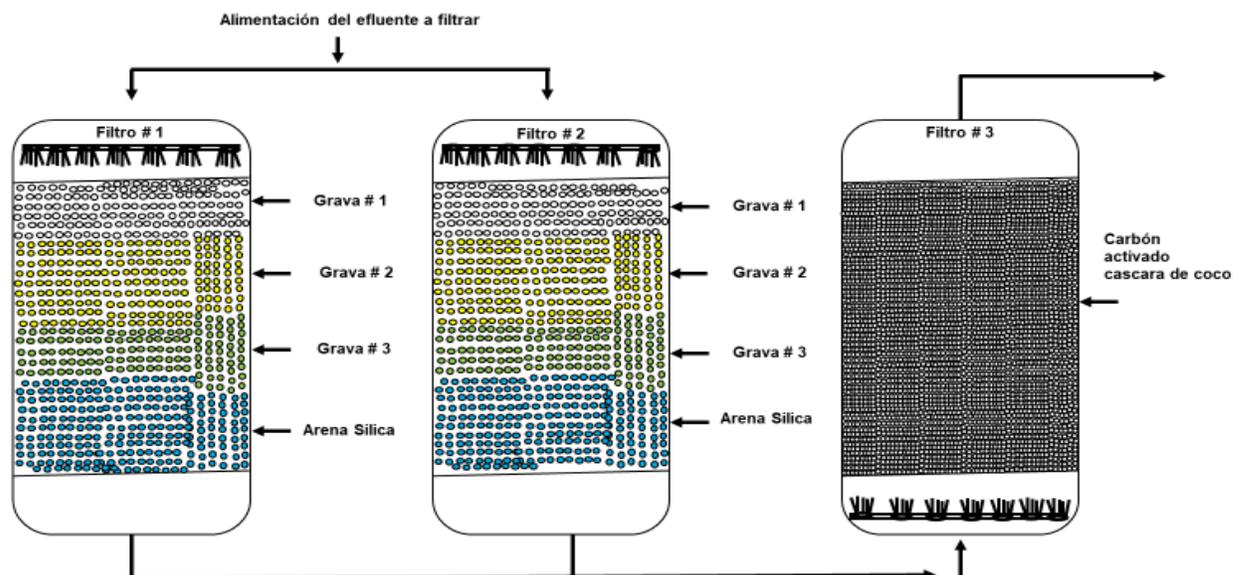


Fig. 22 Esquema de los materiales filtrantes y filtros.

- Filtro número uno y dos.** - Para una mayor eficiencia de filtrado conforme a las pruebas realizadas de turbidez, la grava # 1, es depositada en la parte superior donde el efluente a presión tiene el primer contacto con el medio filtrante, el espesor de estos medios filtrantes es una cama de 85 cm. El segundo espesor es de 75 cm. Con grava del # 2, El tercer espesor es de 55 cm. con grava # 3, El cuarto material filtrante es arena sílica que forma una cama con un espesor de 35 cm. En cada filtro que son alimentados de forma simultánea por la parte superior de cada filtro. La configuración de este medio filtrante esa en función de las partículas retenidas en el filtro. Y esto se puede determinar por la toma de una muestra en la cual se le determina la turbidez del agua.



*Fig. 23 Filtros uno y dos*

- **Filtro número tres.** – Este filtro contiene carbón cascara de coco que es un carbón de muy alta capacidad para retener contaminantes orgánicos presentes en agua y para remover sólidos suspendidos, en otros líquidos, se caracteriza por ser eminentemente microporoso. La microporosidad lo hace un adsorbente preferencial de moléculas de bajo peso molecular, tales como, gasolinas, fenoles y pesticidas, que son los principales contaminantes dañinos presentes en aguas de pozo, lagos y ríos. por sus características, este carbón es altamente eficaz en la remoción de sabor y olor del agua.



*Fig. 24 Filtro tres*

## 4.20 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN Y DESCARGA POR DECANTACIÓN

En este proceso el agua es depositada y las micropartículas que llegaron a pasar el medio filtrante son precipitadas por el fenómeno físico de decantación, ya que las partículas se precipitan hacia el fondo del tanque que este a sus ves descarga el agua por la parte superior del tanque de almacenamiento.



Fig. 25 Tanque de sedimentación

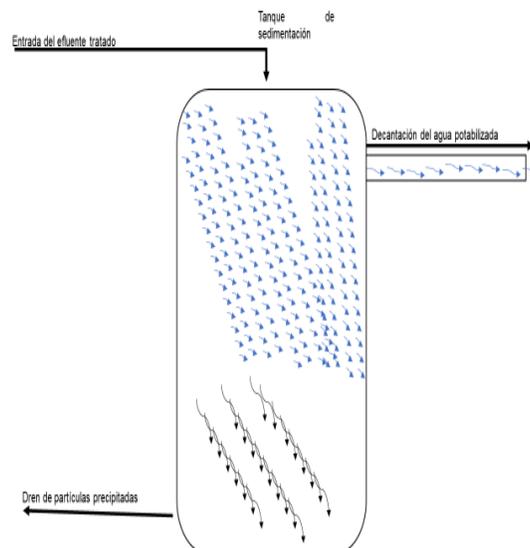


Fig. 26 Esquema de la descarga por decantación

#### 4.21 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL AGUA POTABILIZADA

En este proceso el agua es almacenada en tres tanques de una capacidad de 556.8 m<sup>3</sup> cada tanque, teniendo disponible una cantidad diaria de 1670.4 m<sup>3</sup>. el agua es descargada a través de la tubería por gravedad hacia el fraccionamiento Las Villas de Torreón Coahuila.



*Fig. 27 Tanque de almacenamiento*

## **V. CONCLUSIÓN.**

Para la correcta operación y mantenimiento de una Planta potabilizadora es necesario contar con un manual de operación para la estandarización de todos los procesos y asegurar la calidad de la misma en base a estándares establecidos por la normatividad vigente. La estandarización de los procesos de operación plasmado en un manual de operación contribuye a mantener los más altos estándares de calidad para la potabilización de agua destinada a consumo humano lo cual permite dar cumplimiento a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994. Mediante la implementación de un manual es posible determinar los parámetros y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Y el buen uso de los recursos tanto humanos y materiales en una sola forma de operar, tendrá grandes beneficios económicos y administrativos para ofrecer un mejor servicio como proveedor con calidad adecuada; es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, ocasionadas por un agua fuera de norma. Con una base adecuada de conocimiento técnico y científico es posible llevar a cabo una operación eficiente de los equipos y suministros para prevenir y evitar errores irreversibles que pongan en riesgo el factor humano; por ello es de primordial importancia que se cuente con un manual de operación para optimizar el buen funcionamiento y la calidad. Observaciones. el manual propuesto debe estar sujeto a cambios y actualizaciones regulares para una adecuada operación de la planta potabilizadora.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua., McGraw-Hill.
- ATSDR 2009. La toxicidad del arsénico. CSEM
- Boch, P., Antonio 2012. SOBREEXPLOTACION DE ACUIFEROS Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Hidrologia
- Canto, J. 1977 "Tratamiento de Aguas para Abastecimiento Publico." Barcelona: Tecnico Asociados.
- Carbotecnica 2014. 37. Retrolavado Carbotecnica
- Carro, P., Evelin 2014. "Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación." Revista internacional de contaminación ambiental 30.
- Cesar, C. 2010. "Operacion de planta." Contribución a la gestión y desarrollo social
- CONAGUA 2007. MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO
- CONAGUA 2014a. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. CONAGUA. Mexico, DF
- CONAGUA 2014b. Mecanismos que liberan arsénico al agua subterránea de la Comarca Lagunera, estados de Coahuila y Durango, México. 1
- CONAGUA 2018a. Situacion de los recursos hidricos
- CONAGUA 2018b. Norias. COANAGUA
- COULSON , J. M. y J. F. RICHARDSON (1978). CHEMICAL ENGINEERING OXFORD.
- Chulluncuy, N. 2011. " Tratamiento de agua para consumo humano." Redalyc.
- Dastidar 2009. " Arsenite oxidation by batch cultures of Thiomonas arsenivorans strain." Environmental Engineering.
- FLUENCE 2016. El Papel de la Filtración en el Tratamiento de Agua
- Guerrero, B. 2015. "Generalidades del sistema de la coagulación y pruebas para su estudio. ." Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portuga 56.
- Health, N. 2009 Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. N. J. D. o. Health
- HIEGIENEAMBIENTAL.COM 2018. La historia del tratamiento del agua potable: un camino hacia la mejora radical de la salud pública
- IMTA 2016. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Captación de Agua de Lluvia de Cherán, Michoacán. IMTA
- INFORURAL 2014. " Sobreexplotación de mantos acuíferos disminuye la calidad del agua de La Laguna."
- INGECIV 2015. ¿Qué es una noria (pozo)?
- kirk-othmer 2007. Chemical technology. 5
- Lilo, J. 2003. Estudio del contenido de arsénico en la zona central de la Depresión del Duero. D. G. d. O. H. y. C. d. I. Aguas192
- Nacional, I. G. 2011. "Sobreexplotación y contaminación de acuífero. ." AGE
- OMS 2008. Aersenico
- OMS 2018. 45. Arsenico
- Perez, C. 2013. "Arsenic entrapment in reactive columns of residual soils. J. Environ. Eng." ASCE 139.
- Pulido, B. 2011. Sobreexplotacion de acuíferos y desarrollo sostenible D. d. Hidrologia. España
- Ramirez, Q. 2008. Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. COGITI

- Rangel, M., H. Montañez, Lilia y E. Luevanos, Miriam 2015. "IMPACTO DEL ARSÉNICO EN EL AMBIENTE Y SU TRANSFORMACIÓN POR MICROORGANISMOS." Terra Latinoamericana 33.
- REGABER 2014. FILTRO ARENA 20", 36" y 48"
- Rivera, C., Eduardo 2016 AFECTACIONES A LA SALUD POR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO (ARSENICISMO) EN LA COMARCA LAGUNERA. S. G. MEXICANO
- Rivera, H. M. L., P. Castrejon, Sara, D. Martin, Alejandra, S. Gelover, Silvia, R. Gomez, Areli y Y. Hernandez, Carlos 2011a. "ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN CON CLORURO FÉRRICO PARA REMOVER ARSÉNICO DE AGUA SUBTERRÁNEA." AIDIS 4.
- Rivera, H. M. L., C. Perez, Sara, D. Martin, Alejandra, S. Gelover, Silvia, R. Gomez, Areli y Y. Hernandez, Carlos 2011b. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN CON CLORURO FÉRRICO PARA REMOVER ARSÉNICO DE AGUA SUBTERRÁNEA. Revista AIDIS 4
- Rodriguez, F. 2019. Pozos de agua de Torreón rebasan niveles de arsenico EL UNIVERSAL. Torreón, Coahuila
- Salamanca, E. 2014. "TRATAMIENTO DE AGUAS PARA EL CONSUMO HUMANO." UNIVERSIDAD DE LA COSTA 17.
- SEMARNAT 200. Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México
- SSA 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Tchobanoglous, G. (1979). INTRODUCCIÓN: TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO Y JAR-TEST.
- Valenzuela, C., Andres y J. Yañez (2009). Isolation of arsenite-oxidizing bacteria from arsenic-enriched sediments from Camarones river, Northern Chile. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.
- Varela, S., Jaime y M. López, Lorenia 2004. "El arsenico y sus riesgos." REVISTA UNIVERSIDAD DE SONORA
- Vignoli, R. (2002). ESTERILIZACION Y DESINFECCION.
- Zerbatto, M., H. Carrera y L. Modini 2009. Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. UNLP