



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.

INGENIERÍA QUÍMICA.

**“OPTIMIZACIÓN AL PROCESO DE PURIFICACIÓN
DEL AGUA SUMINISTRADA A LOS BEBEDEROS DE
LA FES ZARAGOZA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

JUAN MANUEL GONZÁLEZ FIALLEGA

DIRECTOR:

I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA.



México D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

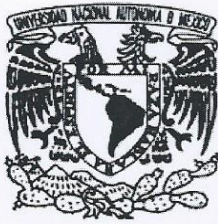


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.**

Comunico a usted que al alumno(a) González Fiallega Juan Manuel con número de cuenta 303164269 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 19 del mes de septiembre de 2014 a las 12:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
VOCAL	I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
SECRETARIO	DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
SUPLENTE	M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ
SUPLENTE	DR. EDTSON EMILIO HERRERA VALENCIA

[Handwritten signatures and names of the jury members]

 Caballero Diaz Marina
 Edtson E. Herrera Valencia

El título de la tesis que se presenta es: **Optimización al proceso de purificación del agua suministrada a los bebederos de la FES Zaragoza.**

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 México, D. F. a 2 de septiembre de 2014.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ
 DIRECTOR
 ZARAGOZA
 DIRECCION

RECIBÍ:
 OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
 Y DE GRADO

Vo.Bo.
[Handwritten signature]
 DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
 JEFE DE LA CARRERA DE I.Q.

AGRADECIMIENTOS.

A lo largo de mi corta existencia he logrado tener muchas experiencias a veces buenas, a veces malas, sin embargo he logrado aprender de cada una de ellas, sería ingrato de mi parte no agradecerle a la vida, a lo mejor me gusto o no la forma y momento en que me enseñó ciertas lecciones sin embargo hoy en día las agradezco.

Agradezco a mi familia, a mi padre, a mi madre y a mis hermanos no solo por ser mi familia, sino también por haber soportado mi exquisito carácter los últimos diez años.

Agradezco a mi Tía María del Carmen, no solo por estar siempre conmigo, sino porque desde hace muchos años me ha apoyado, no existen palabras para decir lo mucho que estoy agradecido con ella, porque a pesar de las mareas que muchas veces me dejaron sin aliento, ella siempre estuvo para ayudarme.

Agradezco a mis Tías Guadalupe, Roció, Claudia, al igual que a mis abuelos, Carmen y Agustina.

Agradezco a mis profesores, aquellos que siempre me apoyaron y fomentaron mi gusto por sus materias, ya que no solo me impartían Física, Química ó Psicología, me enseñaban también valores se preocupaban por el bien de mi como su alumno, puedo decir que mucho de lo que soy y se hoy en día es gracias a ellos, desde mis profesores en la ESD 198 “Luis Pasteur”, la ENP 5 “José Vasconcelos” y la FES Zaragoza.

Agradezco al I.Q. Eduardo Vázquez Zamora mi Director de Tesis por lo mucho que me ha apoyado durante mi servicio social y mi tesis, le agradezco infinitamente la oportunidad que me dio cuando todas las puertas de habían cerrado.

Agradezco a mis compañeros de banca, amigos de estudio desde el poderoso grupo “E” matutino de la ESD 198, pasando por el indestructible 606 A1 de la ENP 5, con los cuales pase momentos muy agradables desde caminar 1Km por un chicle hasta hacerla de merengüero en el salón.

Agradezco a mis amigos Pablo, Osvaldo, Dulce, Cesar, Yarenzy, Nayeli, Ana Lidia, Sarai, Charlie, Karina, Lorena, Gloria, Oswaldo, Ivette, Alfredo, Josafat, Diana, Citlali, Bianca, Rubi, Irais, Ricardo, entre muchos otros con los cuales compartí momentos muy agradables desde exponer para toda la escuela nuestros proyectos hasta hacer equipos de 30 .

Agradezco de manera muy especial a mi amigo Carlos “EL LATIN”, por haberme apoyado y estar conmigo en las buenas y las malas durante nuestra estancia en la FESZ, también le agradezco su apoyo y opiniones en la elaboración de este trabajo.

A mis compañeros del Servicio Social Enrique, Isaac, Miriam, Leonardo, Sandra, Ana, Karen y Bety con los cuales cree no solo un circulo de trabajo sino también de amistad.

Por ultimo pero siendo lo más importante agradezco a mi institución la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO** por haberme abierto sus puertas en el año 2002 bajo el slogan **IDEAS EN LIBERTAD** para estudiar el bachillerato, en tus aulas, laboratorios, jardines experimente las mejores experiencias de mi vida, conocí a la mejor gente, no tengo palabras para definir lo mucho agradezco, con orgullo llevare y defenderé hasta la muerte el nombre y prestigio de la **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO.**

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a la:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

A la



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.

Y a la



CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA



"El más grande fruto de la justicia es la serenidad del alma."

-Epicuro



ÍNDICE.

OBJETIVOS RESUMEN

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO ALREDEDOR DEL AGUA.

1.1 EL ¿QUÉ? ¿CÓMO? ¿CUÁNDO? ¿DÓNDE? y ¿POR QUÉ? DEL AGUA.

- 1.1.1 Definición, Distribución y Porcentajes de agua en el mundo.
- 1.1.2 Agua Dulce, Agua Salada y Agua Salobre.
- 1.1.3 Usos del Agua.

1.2 AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

- 1.2.1 Agua Potable
 - 1.2.1.1 Fuentes de obtención de agua.
 - 1.2.1.2 Principales contaminantes del agua.
 - 1.2.1.3 Procesos para potabilización de agua.
- 1.2.2 Agua Purificada.
- 1.2.3 Agua Embotellada.
- 1.2.4 Perspectiva Económica alrededor del agua.
- 1.2.5 ¿De quién es el agua?
- 1.2.6 Problemas actuales con el agua.
- 1.2.7 Posibles soluciones.
- 1.2.8 ¿Qué puede pasar a futuro?

1.3 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA.

- 1.3.1 Propiedades Físicas del agua.
- 1.3.2 Propiedades Químicas del agua.
- 1.3.3 Propiedades Organolépticas del agua.

1.4 LEGISLACIÓN DEL AGUA.

- 1.4.1 Normas Oficiales Mexicanas.
- 1.4.2 Parámetros de interés en base a NOM.

1.5 PROCESOS PARA PURIFICACIÓN DE AGUA.

- 1.5.1 Físicos.
 - 1.5.1.1 Altas Temperaturas.
 - 1.5.1.2 Filtración.
 - 1.5.1.3 Filtros de Arena.
 - 1.5.1.4 Filtros de Carbón Activado.
 - 1.5.1.5 Ósmosis Inversa
 - 1.5.1.6 Destilación.
 - 1.5.1.7 Otros Filtros.



1.5.2 Químicos.

- 1.5.2.1 Cloración.
- 1.5.2.2 Yodo.
- 1.5.2.3 Permanganato de Potasio.
- 1.5.2.4 Coagulación.
- 1.5.2.5 Floculación.
- 1.5.2.6 Intercambio Iónico.
- 1.5.2.7 Otros

1.5.3 Energías.

- 1.5.3.1 Luz UV.
- 1.5.3.2 Ozono.

1.5.4 Algunos arreglos posibles de procesos de potabilización y purificación de agua.

CAPÍTULO II. OPERACIÓN ACTUAL DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

2.1 LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

- 2.1.1 Generalidades.
- 2.1.2 Planta Purificadora Campus I.
- 2.1.3 Planta Purificadora Campus II.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN.

- 2.2.1 Generalidades.
- 2.2.2 Proceso de la Planta Purificadora de Campus I.
- 2.2.3 Proceso de la Planta Purificadora de Campus II.

2.3 CAMBIOS REALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS.

- 2.3.1 Generalidades.
- 2.3.2 Cambios en la operación de la Planta Purificadora de Campus I.
- 2.3.3 Cambios en la operación de la Planta Purificadora de Campus II.

2.4 OBSERVACIONES DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

- 2.4.1 Planta Purificadora de Campus I.
- 2.4.2 Planta Purificadora de Campus II.
- 2.4.3 Mantenimiento Correctivo y Preventivo en las Plantas.
 - 2.4.3.1 Limpieza General en Planta.
 - 2.4.3.2 Limpieza Interna de Equipos.
 - 2.4.3.3 Limpieza de Tuberías.
- 2.4.4 Mantenimiento Correctivo y Preventivo en los Bebederos.
 - 2.4.4.1 Líneas de Alimentación.
 - 2.4.4.2 Bebederos.



CAPÍTULO III. OPTIMIZACIÓN AL PROCESO DE PURIFICACIÓN DE AGUA.

3.1 OBSERVACIONES DEL PROCESO ANTERIOR.

- 3.1.1 Vida útil de los tanques de pretratamiento y alimentación (TQ-01 y TQ-02).
- 3.1.2 Vida útil del medio filtrante (arena) del filtro de lecho profundo (FL-01).
- 3.1.3 Vida útil del carbón activado del filtro (FC-01).
- 3.1.4 Vida útil de los filtros pulidores (FP-01, FP-02, FP-03).
- 3.1.5 Vida útil de la lámpara de luz UV (BA-01).
- 3.1.6 Vida útil del generador de Ozono (BA-02).
- 3.1.7 Vida útil de los sistemas hidroneumáticos (GA-01, GA-02).
- 3.1.8 Naturaleza del agua cruda alimentada a cada Campus.

3.2 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS EXISTENTES.

- 3.2.1 Tanques de pretratamiento y alimentación (TQ-01 y TQ-02).
- 3.2.2 Filtros de Lecho Profundo (FL-01).
- 3.2.3 Filtro de Carbón Activado (FC-01).

3.3 EQUIPOS QUE SE AGREGARON AL PROCESO.

3.4 PROCESO DE PURIFICACIÓN OPTIMIZADO.

- 3.4.1 Arranque.
- 3.4.2 Descripción del Proceso de Purificación de Agua Optimizado.

3.5 OBSERVACIONES DEL PROCESO OPTIMIZADO.

CAPÍTULO IV. OPERACIÓN DEL NUEVO PROCESO DE PURIFICACIÓN.

4.1 INTRODUCCIÓN.

4.2 OBJETIVOS.

4.3 FACTORES A CONSIDERAR.

- 4.3.1 Desinfección.
- 4.3.2 Filtración por lecho profundo (FL-01).
- 4.3.3 Filtración por carbón activado (FC-01).
- 4.3.4 Filtración pulidora, luz UV, Ozono y bactericida.
- 4.3.5 Bitácoras de operación, surtimiento de consumibles y programación de mantenimiento.

4.4 OPERACIÓN DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

- 4.4.1 Operación de la Planta Purificadora de Campus I.
- 4.4.2 Operación de la Planta Purificadora de Campus II.

4.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.

4.6 CONSIDERACIONES A FUTURO.



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

CONCLUSIONES.

SUGERENCIAS.

ANEXOS.

BIBLIOGRAFÍA.



ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: “El Ciclo del Agua”.
- Figura 2. Planta de coagulación y filtración convencional para remoción de color, turbidez y microorganismos.
- Figura 3. Planta para un suministro pequeño con agua cruda de buena calidad.
- Figura 4. Planta de ablandamiento.
- Figura 5. Planta de ablandamiento.
- Figura 6. Planta de ablandamiento.
- Figura 7. Planta de remoción de hierro y manganeso.
- Figura 8. Planta de remoción de hierro y manganeso.
- Figura 9. Planta de filtración directa.
- Figura 10. Planta de filtración directa.
- Figura 11. Diagrama de una planta potabilizadora.
- Figura 12. Disponibilidad del agua por subregiones en el año 2000.
- Figura 13. Clasificación de las diferentes operaciones y procesos unitarios para purificar agua.
- Figura 14. Muestra de forma esquemática la osmosis, la presión osmótica y la osmosis inversa.
- Figura 15. Muestra un equipo sencillo de laboratorio para osmosis inversa.
- Figura 16. Muestra el cloro residual libre y el punto de ruptura (breakpoint).
- Figura 17. Muestra el efecto de desestabilización en los coloides al agregar el coagulante.
- Figura 18. Muestra un Proceso para purificación mediante osmosis inversa a nivel del hogar.
- Figura 19. Muestra un proceso para purificación comercial con almacenaje presurizado.
- Figura 20. Muestra un proceso para purificación de agua para beber.
- Figura 21. Muestra un proceso para purificación de agua embotellada.
- Figura 22. Muestra la planta purificadora de agua de Campus I.
- Figura 23. Muestra la ubicación de la planta purificadora y los nueve bebederos de Campus I.
- Figura 24. Muestra la planta purificadora de agua de Campus II.
- Figura 25. Muestra la ubicación de la planta purificadora y los nueve bebederos de Campus II.
- Figura 26. Muestra de manera general el proceso completo de purificación de agua.
- Figura 27. Muestra el Pretratamiento con hipoclorito de sodio (Desinfección).
- Figura 28. Muestra la operación unitaria de filtrado por lecho profundo.
- Figura 29. Muestra la operación unitaria de filtrado por carbón activado.
- Figura 30. Muestra la operación unitaria de filtración pulidora.
- Figura 31. Muestra la desinfección por luz UV.
- Figura 32. Muestra la desinfección por ozono (ozonificación).
- Figura 33. Muestra la última etapa del proceso de purificación (bactericida).
- Figura 34. Muestra la fase de pretratamiento.
- Figura 35. Muestra fase de tratamiento completo.
- Figura 36. Muestra la Planta Purificadora de Campus I en la fase de Tratamiento Completo.
- Figura 37. Muestra la Planta Purificadora de Campus I en la fase de Pretratamiento.
- Figura 38. Muestra el paso de agua por la lámpara de luz UV de la Planta Purificadora de Campus I.
- Figura 39. Tubo Venturi para contacto con el ozono en la Planta Purificadora de Campus I.
- Figura 40. Muestra la Planta Purificadora de Campus II en la fase de Tratamiento Completo.
- Figura 41. Muestra la Planta Purificadora de Campus II en la fase de Tratamiento Completo.
- Figura 42. Muestra el arreglo de los filtros FL-01 y FC-01 en la fase de Tratamiento Completo.
- Figura 43. Muestra las operaciones Filtrado, Retrolavado y Reacomodo de los filtros.
- Figura 44. Tubo Venturi para contacto con el ozono en la Planta Purificadora de Campus II.
- Figura 45. Muestra los tanques de pretratamiento TQ-01 de las plantas purificadoras.
- Figura 46. Muestra la operación filtrado, retrolavado y enjuague rápido del filtro FL-01.
- Figura 47. Muestra la operación filtrado, retrolavado y enjuague rápido del filtro FC-01.
- Figura 48. Muestra la carcasa, los cartuchos usados y nuevos de los filtros pulidores.
- Figura 49. Muestra las lámparas de Luz UV de las plantas purificadoras.
- Figura 50. Muestra los generadores de ozono BA-01 de ambas plantas purificadoras.
- Figura 51. Muestra los sistemas hidroneumáticos GA-01 y GA-02 de las plantas purificadoras.
- Figura 52. Muestra los Tanques TQ-01 y TQ-02 de las planta purificadora de Campus I.
- Figura 53. Muestra los Tanques TQ-01 y TQ-02 de las planta purificadora de Campus II.
- Figura 54. Muestra los pasos para desmontar el filtro de lecho profundo FL-01.
- Figura 55. Muestra los diferentes medios filtrantes conformaban el filtro de lecho profundo FL-01.
- Figura 56. Muestra los diferentes medios filtrantes que conforman el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01.



- Figura 57. Muestra el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01 en Campus I.
Figura 58. Muestra el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01 en Campus II.
Figura 59. Carbón activado nuevo y carbón activado usado, donde se muestra la presencia de calcificaciones.
Figura 60. Muestra los pasos para desmontar el filtro de carbón activado FC-01.
Figura 61. Muestra el carbón activado nuevo que se colocó en los filtros FC-01.
Figura 62. Muestra los filtros de carbón activado FC-01 de ambas plantas purificadoras.
Figura 63. Muestra el medidor/cuantificador de flujo de Campus I.
Figura 64. Muestra el medidor/cuantificador de flujo de Campus II.
Figura 65. Muestra la etapa de pretratamiento del proceso de purificación optimizado.
Figura 66. Muestra la etapa de tratamiento parcial del proceso de purificación optimizado.
Figura 67. Muestra la etapa de tratamiento completo del proceso de purificación optimizado.
Figura 68. Muestra la etapa de llenado de TQ-02 del proceso de purificación optimizado.
Figura 69. Muestra la etapa de retrolavado de un filtro multicama en función de la turbiedad y el tiempo.

ÍNDICE DE TABLAS.

- Tabla 1. Muestra el contenido de sales minerales de los diferentes tipos de agua.
Tabla 2. Muestra algunos usos del agua.
Tabla 3. Muestra los límites permisibles del agua potable en México.
Tabla 4. Muestra los principales contaminantes del agua.
Tabla 5. Muestra los diferentes parámetros para poder clasificar el agua.
Tabla 6. Muestra la naturaleza de los tratamientos en función del tipo de agua.
Tabla 7. Muestra las operaciones y procesos unitarios que forman los procesos de potabilización.
Tabla 8. Muestra de forma sencilla cada una de las operaciones y procesos unitarios.
Tabla 9. Muestra los diferentes tipos de agua embotellada según la IBWA.
Tabla 10. Muestra las propiedades físicas del agua.
Tabla 11. Muestra las Normas Oficiales Mexicanas vigentes para cualquier tipo de agua.
Tabla 12. Muestra las Normas Oficiales Mexicanas vigentes para agua purificada.
Tabla 13. Muestra los límites máximos del agua purificada en México.
Tabla 14. Muestra las variables principales en el diseño de filtros.
Tabla 15. Muestra los mecanismos de remoción de un filtro.
Tabla 16. Muestra los parámetros de calidad para el agua a tratar por intercambio iónico.
Tabla 17. Muestra los equipos que conforman las plantas purificadoras y su función.
Tabla 18. Muestra los parámetros físicos y químicos del agua cruda alimentada a cada Planta
Tabla 19. Muestra las características del medidor de flujo de turbina utilizado.
Tabla 20. Muestra de manera dinámica las diferencias entre el anterior y nuevo proceso de purificación de agua de la planta de Campus I.
Tabla 21. Muestra de manera dinámica las diferencias entre el anterior y nuevo proceso de purificación de agua de la planta de Campus II.



OBJETIVOS.

- **Objetivo General.**

- Optimizar el proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ.

- **Objetivos Particulares.**

- Analizar los diferentes equipos y alternativas para optimizar el proceso de purificación de agua.
- Dar el mantenimiento necesario a los equipos de las plantas purificadoras.
- Reestructurar el arreglo de tuberías en función de los equipos incorporados.
- Realizar la operación de las plantas purificadoras en función al proceso de purificación optimizado, con el fin de abastecer un agua purificada de calidad, siguiendo los parámetros de la norma NOM-041-SSA1-1993.



RESUMEN.

El ser humano necesita consumir agua, para ello el agua debe estar libre de contaminantes, dentro de las formas de agua para beber se encuentra el agua potable y el agua purificada, el agua potable conocida como agua de la llave tiene una calidad aceptable, esta llega a las casas mediante una red de distribución la cual está en manos del gobierno de la entidad. En algunas entidades no se recomienda consumir el agua de la llave, debido a la mala calidad de esta, en general el agua potable no es recomendable para consumo humano por largos periodos de tiempo, debido a la zona, los procesos y mantenimiento de la línea pública. El agua purificada es un agua sometida a procesos más estrictos, generalmente es obtenida de agua potable o de fuentes naturales mediante procesos de purificación los cuales garantizan un agua apta para consumo humano.

Conforme han pasado los años el agua potable y el agua purificada han sufrido muchos cambios, desde una perspectiva económica el agua purificada ha resultado ser un negocio redondo, sin embargo esto pone una pregunta en tela de juicio. ¿De quién es el agua? El agua purificada es vendida generalmente como agua embotellada o en garrafones, comercializada generalmente por compañías refresqueras o embotelladoras a un precio muy elevado, comparando lo que cuesta producir agua embotellada y el precio de esta en el mercado se observa una brecha gigantesca en el valor real del agua. Además de la idea de la monopolización del agua, la venta de agua embotellada tiene otros problemas como son la excesiva producción de botellas de PET.

Estos problemas con el agua no son nuevos ni exclusivos de un país, existen alrededor del mundo, convirtiendo el agua para consumo humano en un problema global, cuyas posibles soluciones empiezan con la concientización de la sociedad.

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ) a través de un Proyecto Académico de la Carrera de Ingeniería Química, implemento plantas purificadoras de agua, con el fin de abastecer a la comunidad universitaria de agua purificada, siendo esta una opción para reducir el problema causado por las botellas de PET, además de que acompañada por la concientización, ayuda hasta cierto punto a combatir el gran problema de salud que es el sobrepeso y la obesidad, reafirmando así su compromiso como “Facultad Promotora de Salud”.



Las plantas purificadoras de la FESZ tienen tres años operando, a lo largo de este tiempo se ha realizado el mismo proceso, siempre con mantenimiento constante, sin embargo el tren de tratamiento no ha sido modificado, se han realizado pequeñas modificaciones como son, el tiempo de pretratamiento, el tiempo de tratamiento, cambio de orden en los tratamientos, sin embargo no ha habido alguna modificación fuerte.

La optimización del proceso de purificación era necesaria para continuar abasteciendo de agua purificada de calidad a la FESZ, dentro de la optimización se consideraron los siguientes factores, reducción en el tiempo de producción, mejor manejo de materia prima y producto terminado, aumento en la calidad del producto terminado, reducción del gasto en servicios y consumibles. Sin embargo para poder tener una optimización completa también se modificó la operación, en función de la optimización realizada a la planta. De esta forma al modificar y actualizar los equipos de la planta purificadora, en conjunto con la operación correcta se obtuvo una optimización al proceso de purificación del agua suministrada a los bebederos de la FESZ.



CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO ALREDEDOR DEL AGUA.



1.1 EL ¿QUÉ? ¿CÓMO? ¿CUÁNDO? ¿DÓNDE? Y ¿POR QUÉ? DEL AGUA.

1.1.1 Definición, Distribución y Porcentajes de agua en el mundo.

El agua es un compuesto molecular formado por dos átomos de hidrogeno y un átomo de oxígeno, unidos mediante un enlace covalente (H₂O), la superficie terrestre está conformada en un 72% de agua, el 97.2% del agua se encuentra en los océanos, el 2.8% restante se divide entre casquetes de hielo, lagos, ríos y mantos freáticos ⁽¹⁾. A pesar de ser una gran cantidad de agua solo el 2.5% es agua dulce, la cual se encuentra en su mayoría (68.7%) en glaciares, hielos o nieves en las zonas de la Antártida y Groenlandia ⁽²⁾. El agua dulce puede encontrarse en glaciares (68.7%), agua subterránea (30.06%), hielo del suelo (0.86%), lagos (0.26%), humedad del suelo (0.05%), vapor atmosférico (0.04%), pantanos y humedales (0.03%), ríos (0.006%) e incorporado a los seres vivos (0.003%) ⁽³⁾.

1.1.2 Agua Dulce, Agua Salada y Agua Salobre.

El agua puede clasificarse en agua salada, agua salobre y agua dulce, esta clasificación es elemental debido a los usos de cada tipo, puede definirse al agua salada como agua con un contenido de sales minerales, entre el 3.5%-5%, el agua de mar es considerada como agua salada. El agua salobre es agua con un contenido de sales, sin embargo este es menor que el agua salada, encontrándose entre un 0.05%-3.0%, un cuerpo de agua salobre es el Gran Lago Salado de Utah ⁽¹⁾.

El agua dulce puede definirse como agua con un bajo contenido de sales, menor al 0.05%, esto la hace apta para consumo humano (Tabla 1).

SALES MINERALES	AGUA DULCE	AGUA SALOBRE	AGUA SALADA
PORCENTAJE	>0.05%	0.05%-3.0%	3.5%-5.0%
P.P.M.	>500	500-30000	35000-50000

Tabla 1. Muestra el contenido de sales minerales de los diferentes tipos de agua.

1.1.3 USOS DEL AGUA.

El agua es un compuesto molecular muy importante considerado como **“Disolvente Natural”** por sus propiedades físico-químicas, a su vez es considerado **“El Líquido de la Vida”**, con estos dos términos se puede comprender de manera general la importancia para el ser humano, existen un sinnúmero de usos para el agua, sin embargo los más conocidos se muestran a continuación (Tabla 2).



Usos	Ejemplos
Transporte de desechos	Sistemas de desagüe
Recreativos	Balnearios, Juegos Recreativos
Municipales	Riego de jardines, lavado de coches, calles, instalaciones, etc.
Industria	Química, Petrolera, Manufactura, etc.
Agricultura	Riego
Vida Acuatica	Cultivo de peces, mariscos, vida acuática, etc.
Limpieza Personal	Aseo Personal.
Consumo Humano	Bebida, Cocina, Procesamiento de alimentos.

Tabla 2. Muestra algunos usos del agua.

1.2. AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

1.2.1 Agua Potable.

El agua para consumo humano como primer control de seguridad debe ser potabilizada, por ello puede definirse al agua potable como toda agua para consumo humano, cuya ingesta no cause un efecto nocivo en la salud, para esto debe encontrarse libre de gérmenes patógenos y sustancias tóxicas ⁽⁴⁾. Otro objeto de estudio del agua potable es el tiempo durante el cual puede ser consumida, para poder considerarse agua potable, esta debe poder consumirse toda la vida sin causar ningún riesgo significativo para la salud ⁽⁵⁾. Los límites permisibles de contaminantes en el agua potable se pueden dividir en cuatro categorías, bacteriológicas, físicas y organolépticas, químicas y radioactivas, estos parámetros se rigen en cada país por normas establecidas por este, sin embargo dichas normas se basan en normas internacionales, en México el agua potable se rige por la Norma Oficial Mexicana 127 (NOM-127-SSA1-1994), (Tabla 3) ⁽⁶⁾.



Límites permisibles de características bacteriológicas	
Característica	Límite permisibles (NMP=Número más probable, UFC=Unidades formadoras de colonias)
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml o 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml o Cero UFC/100 ml
Límites permisibles de características físicas y organolépticas	
Característica	Límite permisibles.
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método
Límites permisibles de características químicas	
Característica	Límite permisibles (mg/L)
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Límites permisibles de características radiactivas	
Característica	Límite permisibles (Becquerel por litro)
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

Tabla 3. Muestra los límites permisibles del agua potable en México ⁽⁶⁾.



1.2.1.1 Fuentes de obtención de Agua.

El agua dulce se encuentra en diferentes lugares, desde grandes glaciares, hielos perpetuos, ríos, lagos, aguas subterráneas, sin embargo a pesar de encontrarse en muchos lugares, solo algunos de estos son accesibles para su explotación, para cuantificar el agua en el mundo se hace uso del concepto recursos hídricos, puede entenderse como un recurso hídrico cualquier cantidad de agua disponible para su explotación.

Es cierto que el agua es un recurso natural renovable ⁽⁷⁾, la mayoría de las fuentes de obtención de agua son generadas por el **Ciclo del Agua**, el cual puede comprenderse de manera sencilla como la descripción de la presencia y movimiento del agua sobre la tierra ⁽⁸⁾.

El ciclo del agua consiste en varias etapas evaporación, transpiración, sublimación, condensación, precipitación, acumulación y filtración, es conocido que la mayoría de la evaporación sucede en los océanos y cuerpos grandes de agua, el vapor de agua se eleva hasta la atmosfera donde se condensa en forma de nubes, las nubes son transportadas por todo el globo terráqueo por las corrientes de aire, después la precipitación puede realizarse en forma de agua, aguanieve, nieve o hielo, todo esto debido al clima del lugar. Las siguientes etapas son las de mayor importancia para la generación de cuerpos de agua, ya que el agua precipitada forma los cuerpos de agua.

El agua obtenida por la precipitación puede almacenarse en ríos, lagos, cuerpos de agua superficiales, sin embargo una cantidad de agua es absorbida por la tierra dando lugar a los cuerpos de agua subterráneos (Figura 1).



Figura 1. “El Ciclo del Agua”⁽⁸⁾.

La importancia del ciclo del agua radica en varios aspectos, uno de ellos es la formación de cuerpos de agua, existen un sinnúmero de cuerpos de agua, bahías, cuencas, ríos, lagos, acuíferos, manantiales, por mencionar algunos, todos estos cuerpos de agua disponibles para su explotación pasan a ser recursos hídricos. Un ejemplo del acceso a los recursos hídricos es el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, donde el 70% proviene de la Cuenca del Valle de México, el 9% del Río Lerma y el 21% restante del Sistema Cutzamala⁽⁷⁾.

1.2.1.2 Principales contaminantes del Agua.

El agua cruda se puede definir como aquella que no ha pasado por un proceso de potabilización o purificación, un proceso de potabilización en el agua para consumo humano es de gran importancia, debido a los agentes patógenos y sustancias tóxicas que puede contener el agua, entre estos agentes se encuentra materia orgánica e inorgánica, para definir los contaminantes principales del agua se deben analizar en su mayoría dos enfoques. El enfoque microbiológico, basado en la salubridad microbiológica, mediante el uso de barreras desde la cuenca de captación hasta el consumidor final, la estrategia más usada en este enfoque es la prevención y reducción de acceso de agentes patógenos⁽⁵⁾. El enfoque químico se basa en los



riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua, debidos en su mayoría a los efectos adversos de estos en la salud ⁽⁵⁾.

Otros enfoques a considerar son el enfoque radiológico, el cual mide la presencia de radiación de origen natural, además del enfoque relativo a la aceptabilidad, el cual se basa en las propiedades organolépticas del agua (color, olor, sabor) ⁽⁵⁾.

Contaminante	Características
Agentes patógenos	Bacterias, virus, protozoarios.
Desechos que requieren oxígeno	Desechos orgánicos, poblaciones de bacterias.
Sustancias químicas inorgánicas	Ácidos, sales y compuestos de metales tóxicos, como mercurio y plomo.
Nutrientes vegetales inorgánicos	Nitratos y fosfatos.
Sustancias químicas orgánicas	Petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, solventes, limpiadores, detergentes.
Sedimento o materia suspendida	Partículas insolubles del suelo y otros materiales sólidos inorgánicos y orgánicos que llegan a quedar en suspensión.
Sustancias radiactivas	Isótopos radioactivos.

Tabla 4. Muestra los principales contaminantes del agua.

1.2.1.3 Procesos para potabilización de agua.

Para poder potabilizar el agua se necesita un proceso de potabilización ideal, dicho proceso está formado por diferentes operaciones y procesos unitarios, sin embargo el número y tipo de operaciones y procesos unitarios de cada proceso de potabilización está dado por la naturaleza del agua a potabilizar. La naturaleza del agua a tratar es un factor importante que se deriva en varios puntos a considerar, uno de ellos es su tipo, el agua a potabilizar puede clasificarse como TIPO A1, TIPO A2 y TIPO A3 ⁽⁹⁾.

Parámetro	Unidad	TIPO A1	TIPO A2	TIPO A3
pH	-	(6.5-8.5)	(5.5-9)	(5.5-9)
Color	Escala Pt	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/L	(25)	-	-
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad (20°C)	S/cm	(1000)	(1000)	(1000)
Detergentes	Lauril Sulfato	0.2	0.2	0.5
Plaguicidas Totales	mg/L	0.001	0.0025	0.005
DQO	mg/L O ₂	-	-	30
Oxígeno disuelto	% Saturación	70	50	30
DBO5	mg/L O ₂	3	5	7
Coliformes Totales (37°C)	100 ml	50	5000	50000
Coliformes fecales	100 ml	20	2000	20000

Tabla 5. Muestra los diferentes parámetros para poder clasificar el agua ⁽⁹⁾.



A su vez con esta clasificación se puede seleccionar el tipo de tratamientos que conformaran el proceso de potabilización ⁽⁹⁾.

Tipo de Agua.	Naturaleza de los tratamientos que conformaran el proceso.
TIPO A1	Tratamiento físico simple y desinfección.
TIPO A2	Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
TIPO A3	Tratamiento físico y químico intensivo, pulidor y desinfección.

Tabla 6. Muestra la naturaleza de los tratamientos en función del tipo de agua ⁽⁹⁾.

Con ayuda de las tablas 5 y 6 se puede conocer el tipo de agua que se va a potabilizar y por ello el tipo de tratamientos que deben seguirse para formar el proceso, sin embargo el proceso de purificación está conformado por operaciones y procesos unitarios, puede entenderse por operación unitaria una operación fundamental de cualquier proceso donde se realice un cambio físico, los procesos unitarios tienen una definición similar a las operaciones unitarias, sin embargo en ellos se llevan a cabo cambios químicos. Dentro de las Operaciones Unitarias y Procesos Unitarios para la potabilización de agua se tienen los siguientes ⁽⁹⁾.

Grado de Tratamiento	Composición del Tratamiento	Descripción
TIPO A1	-Tratamiento físico simple -Desinfección	-Filtración rápida -Desinfección
TIPO A2	-Tratamiento físico normal -Tratamiento Químico -Desinfección	-Precloración -Coagulación/Floculación -Sedimentación -Filtración -Desinfección
TIPO A3	-Tratamiento físico y químico intensivos -Pulido -Desinfección	-Cloración al Breakpoint -Coagulación/Floculación -Sedimentación -Filtración -Carbón Activado -Desinfección

Tabla 7. Muestra las operaciones y procesos unitarios que forman los procesos de potabilización ⁽⁹⁾.

Hoy en día existen muchos procesos de potabilización, incluso existen patentes de estos, sin embargo el proceso de potabilización depende del agua a potabilizar y el agua que se quiera como producto, si se desea purificar en el mismo proceso de potabilización, se puede realizar con las consideraciones necesarias, en México la mayoría del agua a potabilizar proviene de fuentes naturales. Una forma sencilla de comprender las operaciones y procesos unitarios que conforman los procesos de potabilización se muestran a continuación (Tabla 8) ⁽¹⁰⁾.



Operación/Proceso Unitario	Propósito
TRATAMIENTO PRELIMINAR	
Cribado	Remoción de desechos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de planta.
Pretratamiento Químico	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan sabor, olor y color.
Presedimentación Aforo	Remoción de grava, arena, limo y otros materiales. Medida del agua cruda por tratar.
TRATAMIENTO PRINCIPAL	
Aireación	Remoción de olores, 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, flóculos en suspensión y la mayoría de los microorganismos.
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color.
Estabilización	Prevención de incrustaciones y corrosión.
Floración	Prevención de caries dental.
Desinfección	Exterminio de organismos patógenos.

Tabla 8. Muestra de forma sencilla cada una de las operaciones y procesos unitarios ⁽¹⁰⁾.

Las plantas potabilizadoras de agua se pueden armar con estas operaciones y procesos unitarios, a continuación se muestran algunos ejemplos, teniendo en cuenta que son solo posibles combinaciones, ya que el proceso para potabilización esta dado en función del agua cruda y del uso junto con la calidad que se quiere como agua potable.

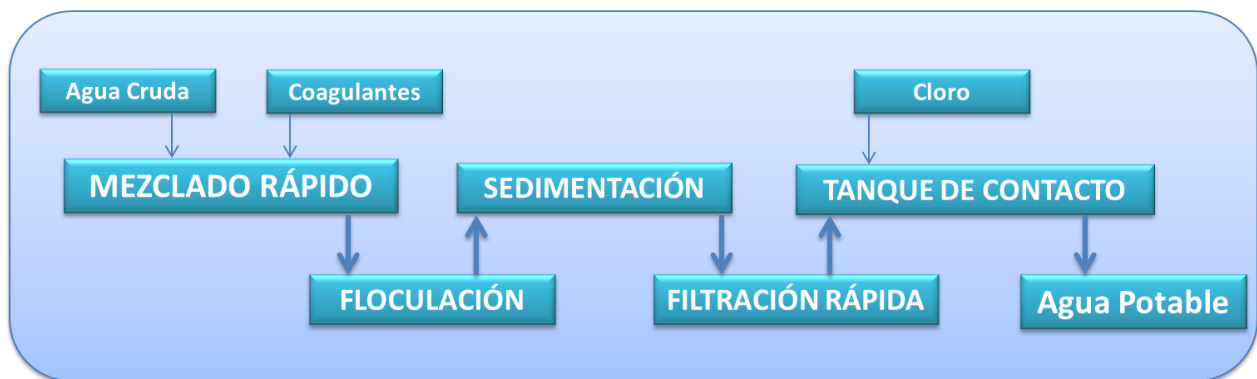


Figura 2. Planta de coagulación y filtración convencional para remoción de color, turbidez y microorganismos ⁽¹⁰⁾.



Figura 3. Planta para un suministro pequeño con agua cruda de buena calidad ⁽¹⁰⁾.

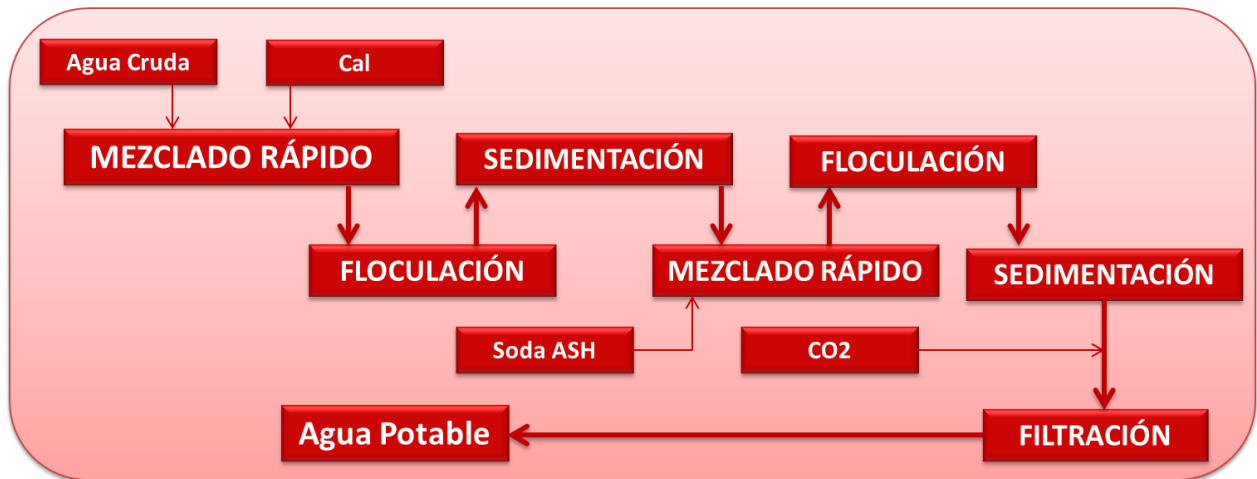


Figura 4. Planta de ablandamiento ⁽¹⁰⁾.

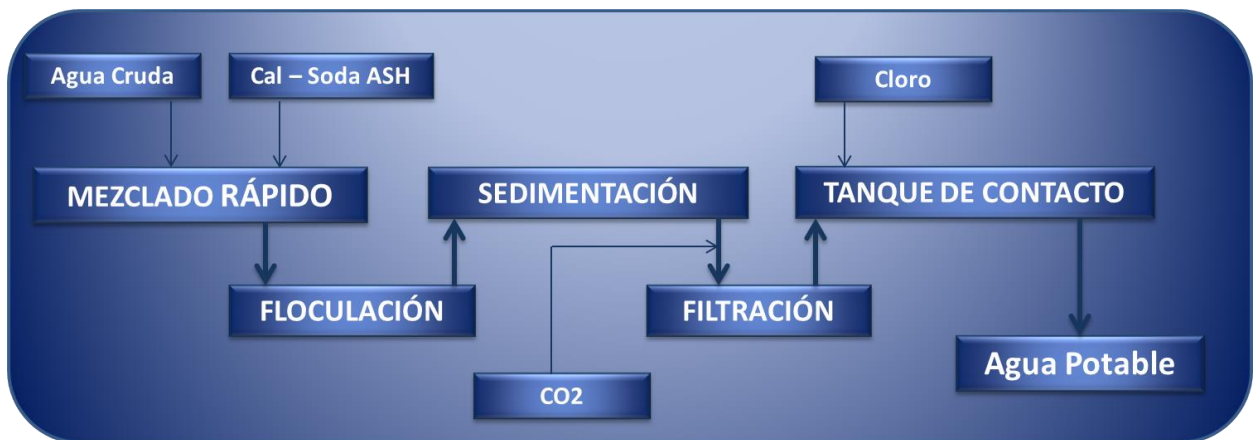


Figura 5. Planta de ablandamiento ⁽¹⁰⁾.

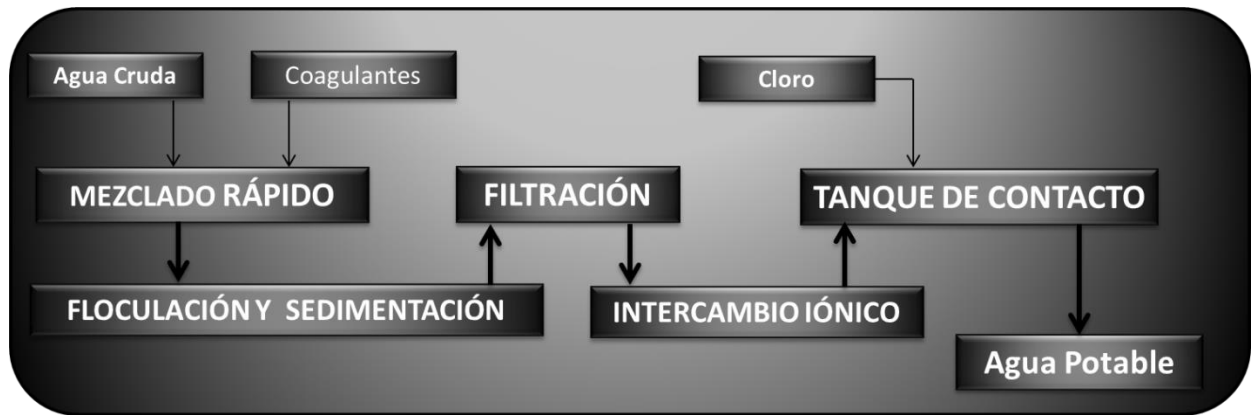


Figura 6. Planta de ablandamiento ⁽¹⁰⁾.

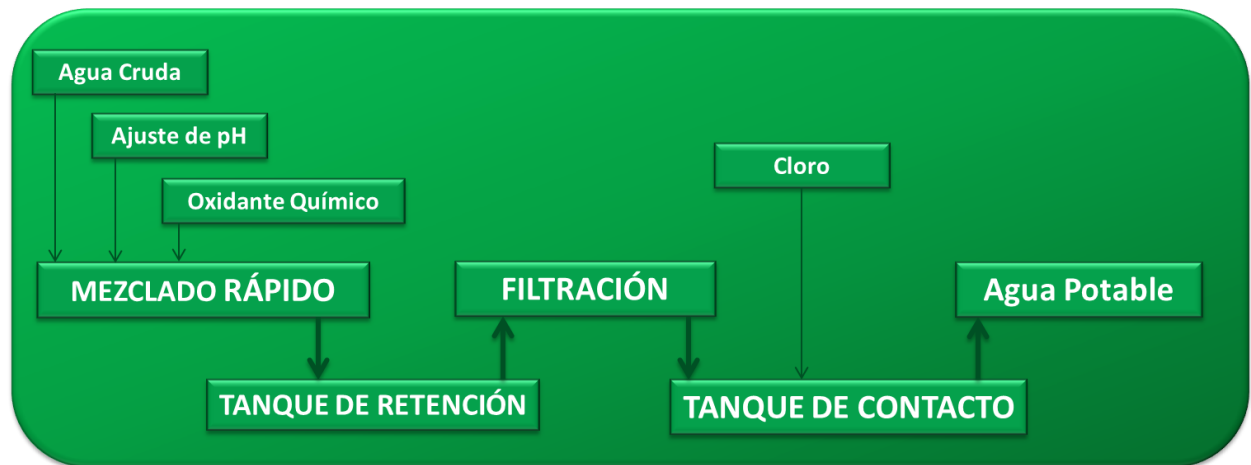


Figura 7. Planta de remoción de hierro y manganeso ⁽¹⁰⁾.

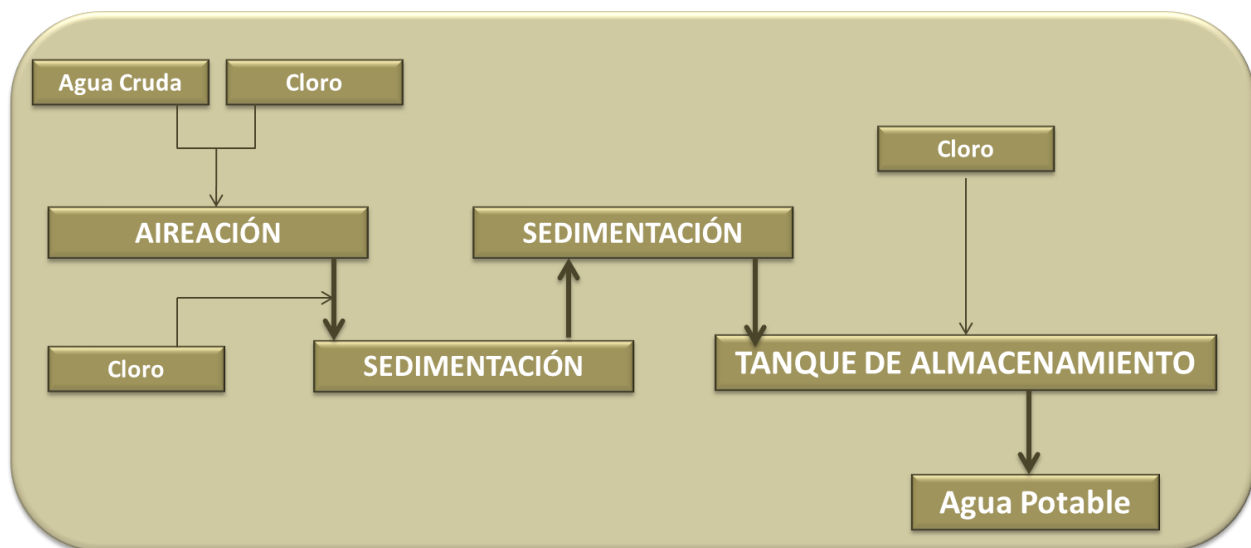


Figura 8. Planta de remoción de hierro y manganeso ⁽¹⁰⁾.

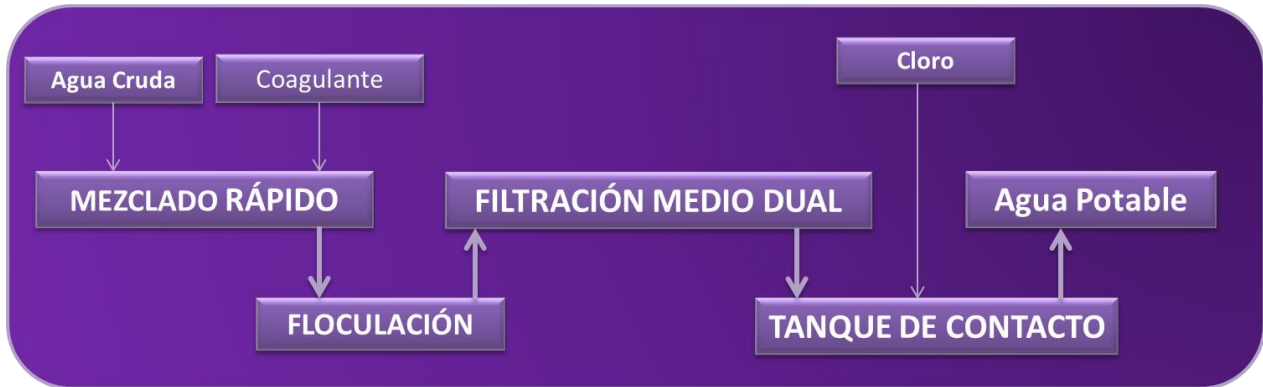


Figura 9. Planta de filtración directa ⁽¹⁰⁾.



Figura 10. Planta de filtración directa ⁽¹⁰⁾.

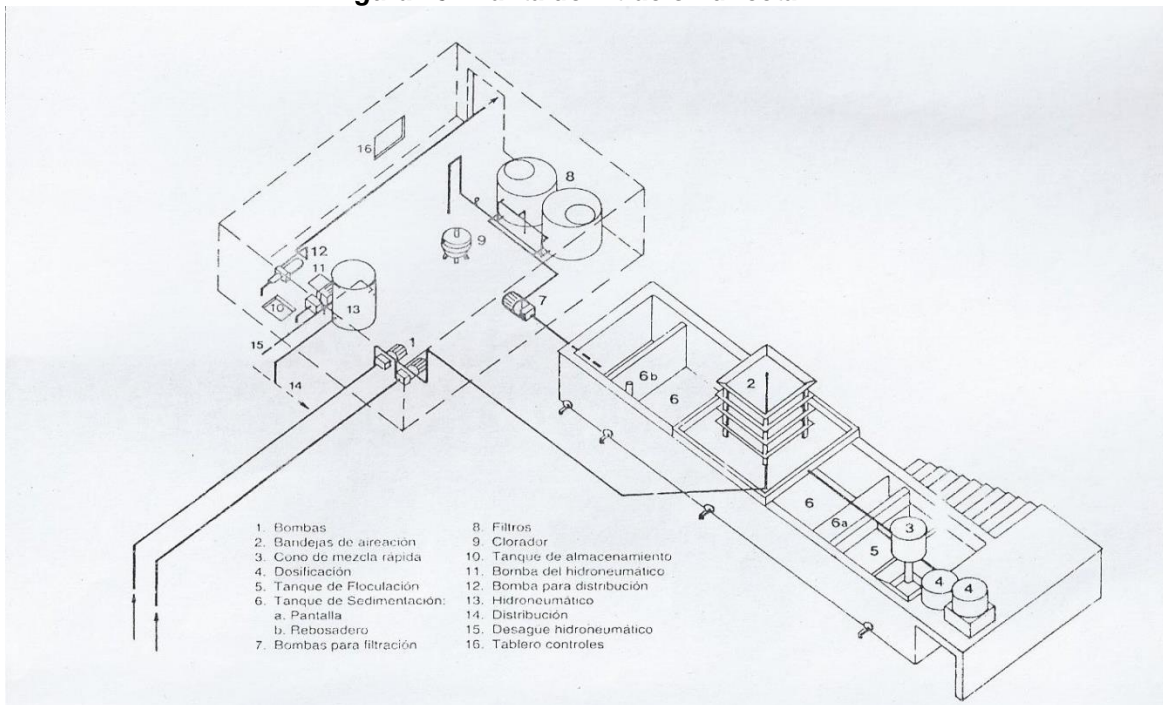


Figura 11. Diagrama de una planta potabilizadora ⁽¹⁰⁾.



1.2.2 Agua Purificada.

El agua purificada puede ser obtenida de dos fuentes principales, el agua potable abastecida por una línea municipal o desde una fuente natural, cualquiera que fuere su origen antes de poder purificar el agua se debe potabilizar, anteriormente se mencionó que se puede llevar a cabo la purificación en el mismo proceso de la potabilización, siguiendo ciertos parámetros. El agua purificada se define como agua sometida a un proceso físico o químico que se encuentra libre de gérmenes patógenos y contaminantes químicos, cuya ingesta no causa efectos nocivos a la salud, puede ser comercializada en garrafones u otros envases con cierre hermético ⁽⁴⁾.

Sin embargo el concepto de agua purificada no solo se aplica a agua purificada comercializada en garrafones o envases con cierre hermético, por ello la purificación de agua se puede entender de manera más abierta como la eliminación por métodos naturales o artificiales de la materia inconveniente del agua, a su vez la purificación como concepto general se define como la operación por la cual se separan de una sustancia otras extrañas que la acompañan ⁽⁴⁾.

1.2.3 Agua Embotellada.

El agua embotellada o agua purificada envasada conocida por el recipiente que la contiene se puede definir como agua sometida a un tratamiento físico o químico que se encuentra libre de gérmenes patógenos y contaminantes químicos, cuya ingesta no causa efectos nocivos a la salud, cuya comercialización puede realizarse en garrafones u otros envases con cierre hermético, a su vez debe cumplir los parámetros establecidos por la NOM-041-SSA1-1993 ⁽¹¹⁾.

No se sabe el momento exacto ni por qué surgió el agua embotellada sin embargo desde el momento que inicio su venta hasta el día de hoy es un producto económicamente rentable, es cierto que en muchos lugares del mundo el agua potable abastecida mediante la línea municipal conocida como agua de la llave o agua de grifo no es de calidad, sin embargo el impacto económico y social del agua embotellada, la ha convertido de un artículo de primera necesidad a un artículo de consumo. Aunado a la contaminación generada por los recipientes desechables donde se envasa.

Internacionalmente el agua embotellada es representada por la International Bottled Water Association (IBWA) en español se conoce como Asociación Internacional de Agua Embotellada, fundada en 1958 entre sus miembros se encuentran compañías y distribuidores de agua



embotellada de todo el mundo, dentro de sus miembros se encuentran compañías de todos tamaños ⁽¹²⁾.

La IBWA clasifica al agua embotellada en diferentes tipos, mediante parámetros como la fuente de obtención, el tipo de procesos utilizados para su purificación, entre otros factores ⁽¹²⁾.

Tipos de Agua Embotellada.		Características.
Spring Water	Agua de Manantial	Obtenida del subsuelo, conocida como agua de manantial.
Purified Water	Agua Purificada	Agua para consumo humano obtenida por destilación, desionización, osmosis inversa u otros procesos de purificación de agua
Mineral Water	Agua Mineral	Agua natural cuyo contenido de solidos disueltos no es menor a 250 ppm, distinguida por su nivel de sales minerales.
Sparkling Bottled Water	Agua Burbujeante	Agua natural con cierto contenido de dióxido de carbono, el cual es posible reemplazarlo después del tratamiento.
Artesian Water or Artesian Well Water Well Water	Agua Artesanal	Agua contenida en un manto acuífero subterráneo de roca o arena.
	Agua de pozo	Agua obtenida de un manto acuífero mediante una perforación hasta la superficie (pozo).

Tabla 9. Muestra los diferentes tipos de agua embotellada según la IBWA ⁽¹²⁾.

Dentro del mercado del agua embotellada existen productores, embotelladores y distribuidores, sin embargo el agua purificada es agua sometida a procesos de purificación, para la elaboración de refrescos se necesita agua carbonatada como principal materia prima, esta se produce a partir de agua purificada y dióxido de carbono presurizado, debido a esto los grandes consorcios refresqueros introdujeron en sus catálogos de productos líneas de agua embotellada, un producto que no requiere insumos extra como azúcares y colorantes ⁽⁷⁾. Así con pequeñas modificaciones a las líneas de proceso para producción de refrescos acompañados de una estrategia de marketing las grandes compañías refresqueras se convirtieron también en grandes compañías productoras de agua embotellada.

1.2.4 Perspectiva Económica alrededor del Agua.

La naturaleza del agua y la importancia para el ser humano hace de esta un tema de interés desde cualquier punto de vista, sin embargo en una economía global no es para sorprenderse que existan temas de interés económico alrededor del agua. El agua es un recurso renovable, el cual tarda mucho tiempo en renovarse, además es un producto de primera necesidad, el cual con el tiempo empezará a escasear. Con esta premisa se puede dar una clara idea de lo



importante que es el agua desde una perspectiva económica, ya sea que se aborde como un monopolio natural ⁽⁷⁾, como una herramienta para el desarrollo tecnologías más eficientes ⁽⁷⁾ o como un elemento clave del desarrollo sustentable ⁽¹³⁾.

1.2.5 ¿De quién es el agua?

Una pregunta interesante, reconsiderando que el 72% de la superficie terrestre está cubierta por agua, de la cual solo el 2.5% es agua dulce para consumo humano, además de ser un líquido necesario para la vida, con estas premisas se puede observar la importancia que tiene el agua, a su vez la importancia de quien posea agua, se han mencionado puntos de interés como el agua embotellada, la cual puede comprar uno en cualquier establecimiento, sin embargo esta pregunta tiene puntos muy extensos para los cuales se necesitaría ver al agua con diferentes enfoques.

En algunos países el agua se considera como un derecho humano, definiéndose como el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico ⁽⁷⁾.

A pesar de esto no se tiene una respuesta concreta a esta pregunta, sin embargo es una pregunta importante por la naturaleza e importancia del agua para el ser humano

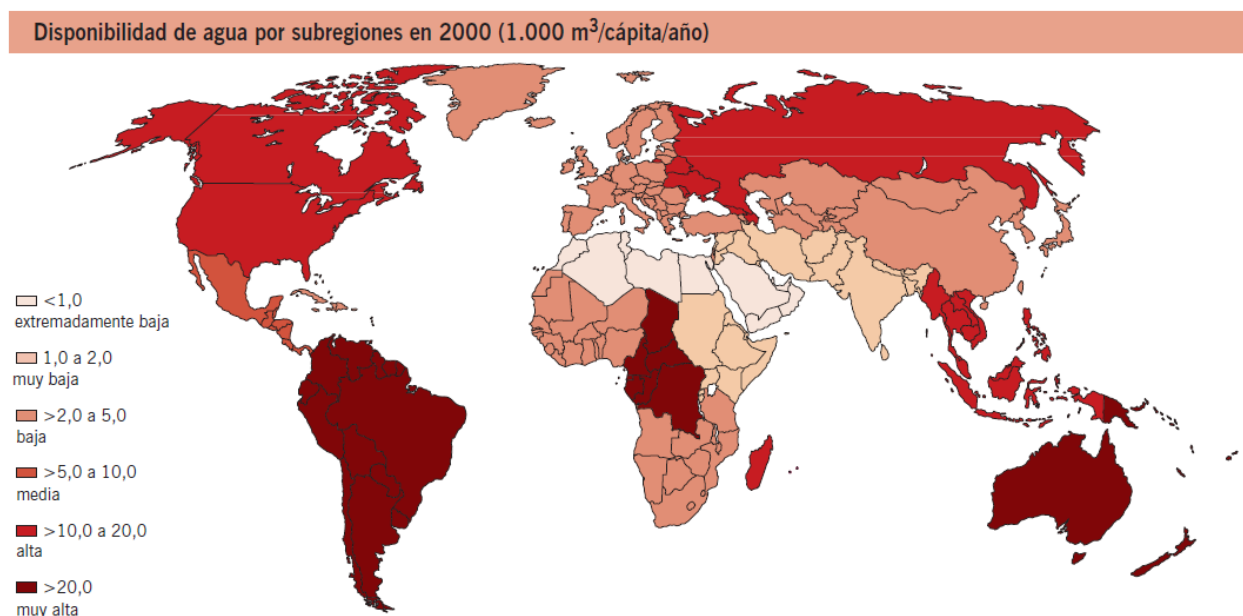


Figura 11. Disponibilidad del agua por subregiones en el año 2000 ⁽³⁾.



1.2.6 Problemas actuales con el agua.

Actualmente la problemática alrededor del agua es de naturaleza mundial, esto debido en mayor parte a que durante mucho tiempo la considerábamos un recurso inagotable ⁽⁷⁾, sin embargo no es así, actualmente existen un sinnúmero de problemas con el agua.

Por mencionar algunos se encuentran la escasez debido a que la demanda en algunas zonas es mayor que la oferta, la calidad del agua suministrada, la contaminación ambiental de las fuentes naturales de obtención ya sean superficiales o subterráneas, la falta de programas para el tratamiento de aguas grises y aguas negras, la sobreexplotación de cuerpos subterráneos causando daño en la superficie y salinización de estos por filtraciones de agua de mar ⁽⁷⁾, en conjunto con la mala gestión de los recursos hídricos a nivel nacional e internacional.

1.2.7 Posibles Soluciones.

Para poder ver a futuro se debe tomar conciencia, como posible solución o medida para buscar una solución en primer lugar se debe considerar una campaña de concientización a nivel mundial, con énfasis no en lo necesaria que es el agua para el ser humano, sino en un enfoque más verídico, concientizar en que los problemas de mañana empiezan el día de hoy, sin ocultar los posibles escenarios por la escasez de agua, con la finalidad de promover el uso responsable de esta.

Tener un uso eficiente del agua de riego mediante la impermeabilización de canales de riego, promoción de métodos de riego que requieran un gasto menor de agua como el riego por goteo, modernización de los sistemas de riego mediante equipos de medición y control de flujo, promover la siembra de cultivos adecuados al entorno físico ⁽⁷⁾.

Promover la protección de los recursos hídricos, mediante campañas de protección al ambiente, promover a nivel nacional e internacional la “Nueva Cultura del Agua”, esta busca garantizar el acceso al agua como un derecho humano, incluyendo la necesidad de una gestión de la demanda mediante un enfoque integral, protección a los ecosistemas, impulsa la participación proactiva en el manejo de los recursos, mantener una racionalidad económica que permita la sustentabilidad y la equidad social ⁽⁷⁾.



1.2.8 ¿Qué puede pasar a futuro?

Existen muchos posibles escenarios de lo que puede pasar a futuro con respecto a la falta de agua, sin embargo estos escenarios se pueden prevenir, con un enfoque más prometedor las situaciones a futuro se pueden ver como desarrollo de nuevas tecnologías, tecnologías más eficientes. La desalinización del agua de mar se puede proyectar como una solución a futuro, métodos innovadores como la desinfección solar y la plata coloidal pueden verse como una solución momentánea en lugares específicos, sin embargo al paso del tiempo junto con la concientización el desarrollo de nuevas tecnologías puede llevar al ser humano a una vida sustentable.

1.3 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA.

1.3.1 Propiedades Físicas del Agua.

Las propiedades físicas pueden definirse como aquellas que se pueden medir sin cambiar la identidad ni la composición de la sustancia ⁽¹⁾, algunas de estas son densidad, punto de fusión, punto de ebullición, tensión superficial, conductividad eléctrica, calor específico y dureza.

Propiedad	Valor	Unidades	Condiciones
Densidad	0.99987	g/mL	0°C
	1.00000	g/MI	4°C
	0.99707	g/mL	25°C
	0.95838	g/mL	100°C
Punto de Fusión	0	°C	-
Punto de Ebullición	100	°C	1 atm
Tensión Superficial	73	Dinas/cm	20°C
Conductividad eléctrica	0.005 – 0.05	S/m	Agua Potable
Calor específico	1	Cal/g	-
Dureza	-	-	-

Tabla 10. Muestra las propiedades físicas del agua ⁽¹⁾(14).



1.3.2 Propiedades Químicas del Agua.

Las propiedades químicas se definen como aquellas que describen la forma en que una sustancia puede cambiar o reaccionar para formar nuevas sustancias ⁽¹⁾, son aquellas donde la composición cambia. Las propiedades químicas del agua son de gran interés, su molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, unidos mediante un enlace covalente formando un ángulo de 104.45°, esto le da la capacidad de formar puentes de hidrogeno, el agua es químicamente neutra al tener un pH de 7, se puede formar por la oxidación de hidrogeno, producto de la combustión, producto de una reacción de neutralización y como producto de reacciones de condensación ⁽¹⁴⁾.

1.3.3 Propiedades Organolépticas del Agua.

Puede entenderse por propiedades organolépticas, todas aquellas propiedades de naturaleza física detectadas por los sentidos del ser humano, entre ellas color, olor, sabor y textura. El agua es incolora, inodora e insípida, estas son tres propiedades organolépticas características del agua. Sin embargo en estos tiempos uno puede distinguir el sabor y color del agua de la llave y del agua embotellada, de las tres propiedades que tiene el agua las propiedades organolépticas son de suma importancia para generar confianza en el consumidor.



1.4 LEGISLACIÓN DEL AGUA.

1.4.1 Normas Oficiales Mexicanas.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) referentes al agua son las siguientes ⁽¹⁵⁾.

NOM	Título
NOM-041-SSA1-1993	Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias
NOM-120-SSA1-1994	Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.
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.
NOM-130-SSA1-1995	Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
NOM-131-SSA1-1995	Bienes y servicios. Alimentos para lactantes y niños de corta edad. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
NOM-160-SSA1-1999	Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.
NOM-179-SSA1-1998	Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
NOM-180-SSA1-1998	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Equipos de tratamiento de tipo doméstico. Requisitos sanitarios.
NOM-201-SSA1-2002	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.

Tabla 11. Muestra las Normas Oficiales Mexicanas vigentes para cualquier tipo de agua ⁽¹⁵⁾.

Teniendo como punto de interés el agua purificada las NOM vigentes son las siguientes.

NOM	Título
NOM-041-SSA1-1993	Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias
NOM-120-SSA1-1994	Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.
NOM-160-SSA1-1999	Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada.
NOM-201-SSA1-2002	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.

Tabla 12. Muestra las Normas Oficiales Mexicanas vigentes para agua purificada ⁽¹⁵⁾.



1.4.2 Parámetros de interés en base a NOM.

Las NOM son elaboradas por las entidades de salud de este país, entiéndase como entidades de salud mexicanas la Secretaria de Salud y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), sin embargo estas están basadas en parámetros internacionales, en la sección del agua embotellada se habló de la IBWA, esta asociación trabaja en conjunto con la FDA (Food and Drugs Administration) ⁽¹²⁾. Dentro de los parámetros de COFEPRIS se encuentran asociaciones o similitudes con la FDA, esto ayuda a centrar la idea de que el agua es semejante pero no igual en el mundo.

Los parámetros de interés a considerar en función del agua purificada están plasmados en la NOM-041-SSA1-1993.



Especificaciones físicas y organolépticas	
Característica	Límite máximo.
Color	15 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y Sabor	Inodoro e Insípido
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método
Especificaciones fisicoquímicas	
Característica	Límite máximo (mg/L)
pH	6.5-8.5
Alcalinidad Total	300.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.05
Cloro residual libre después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos	0.10
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	1.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	200.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros (como F-)	0.70
Manganeso	0.05
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
Nitrógeno orgánico total como N	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00
Ozono al envasar	0.40
Plata	0.05
Plomo	0.02
Sólidos disueltos totales	500.00
Sulfatos como SO ₄ ⁼	250.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos totales	0.10
Zinc	3.00
Especificaciones Microbiológicas	
Característica	Límite máximo (mg/L)
Mesofílicos aerobios UFC/ml	100
Coliformes totales* NMP/100 ml	no detectable
Coliformes totales** UFC/100 ml	ceros
Vibrio cholerae	Negativo
Plagidas	
Característica	Límite máximo (mg/L)
Aldrín y Dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (Dicloro difenil tricloro etano)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4-D (Acido 2,4 - diclorofenoxiacético)	30.00

Tabla 13. Muestra los límites máximos del agua purificada en México⁽¹¹⁾.



1.5 PROCESOS DE PURIFICACIÓN DE AGUA.

Los procesos de purificación de agua son muy semejantes a los de potabilización, también están formados de operaciones y procesos unitarios, también es de interés la naturaleza del agua, sin embargo el cambio radica en el producto terminado, para poder tener un agua purificada que siga la NOM-041-SSA1-1993, el proceso de purificación debe ser más riguroso en comparación con uno de potabilización.

Se sabe que se puede obtener agua purificada de dos tipos de materia prima, agua potable abastecida por la línea municipal o desde una fuente natural, también se sabe que se puede potabilizar y purificar el agua en un mismo proceso, es de gran interés que los procesos de potabilización y purificación son semejantes, sin embargo la profundidad del proceso radica en cuál es la calidad de agua cruda al inicio y cuál es la calidad de agua purificada al final del proceso. En el caso del agua purificada obtenida a partir de agua cruda proveniente de una línea municipal se puede entender que el proceso de purificación será más enfocado a la purificación ya que la materia prima ya se encuentra potabilizada.

Cualquiera que sea el caso las plantas purificadoras deben diseñarse con procesos adecuados al agua a purificar, siendo este un tema de gran importancia ya que se pueden poner plantas purificadoras muy caras con procesos innovadores para purificar agua que en naturaleza se podría purificar con una planta de purificación sencilla.

Existen muchos procesos de purificación de agua, así como en la potabilización también existen patentes, sin embargo los procesos son formados por operaciones y procesos unitarios, los cuales se pueden clasificar, según su naturaleza ⁽¹⁶⁾.

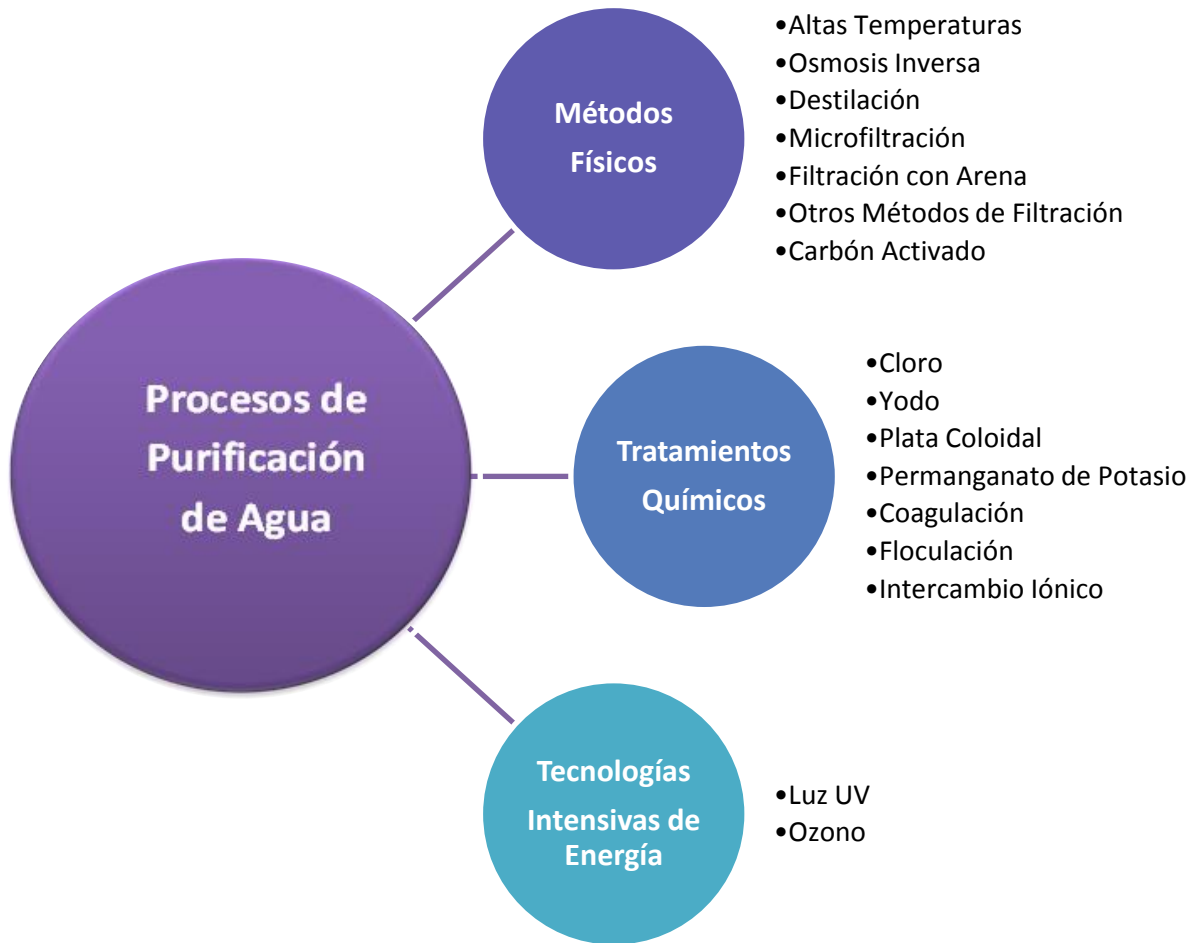


Figura 12. Clasificación de las diferentes operaciones y procesos unitarios para purificar agua ⁽¹⁶⁾.

1.5.1 Físicos.

1.5.1.1 Altas Temperaturas.

Un proceso semejante a la pasteurización, sin embargo se puede definir de manera coloquial como “Hervir el Agua”, llevar el agua hasta su punto de ebullición y dejarla durante cierto tiempo evaporar, con el fin de inactivar a las bacterias, de manera industrial o a pequeña escala de producción, esta operación se realiza en intercambiadores de calor, donde de manera sencilla con ayuda del área de contacto y válvulas se puede mantener el agua durante el tiempo necesario para inactivar las bacterias ⁽¹⁶⁾.



1.5.1.2 Filtración.

La filtración es una operación unitaria cuyo fin desde un punto de vista muy general consiste en clarificar el agua, esto debido a que un agua clara y cristalina es prerequisite para tener un agua segura, sin embargo el fundamento teórico de la filtración es hacer pasar el fluido mediante un medio poroso con el fin de retirar la turbiedad y el color ⁽¹⁰⁾. La importancia de la filtración radica no solo en retirar la turbiedad, también tiene como propósito impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, esto debido a la resistencia de ciertos microorganismos a la desinfección pero que pueden ser removidos mediante la filtración ⁽¹⁰⁾. Se sabe que cerca del 90% de la turbiedad es removida por la coagulación y la sedimentación sin embargo para poder tener un agua clarificada se recomienda la filtración ⁽¹⁷⁾.

Cuando se oye la palabra filtración se piensa en un tamiz, una criba o un colador, que atrapa el material suspendido entre el medio filtrante, sin embargo esta idea no es muy importante en la operación de filtración, debido a que la mayoría de las partículas suspendidas pueden pasar a través de los espacios del medio filtrante ⁽¹⁰⁾. Para poder comprender la importancia del mecanismo mediante el cual un filtro retiene y remueve el material suspendido en el fluido se deben considerar varios factores, entre ellos variables de diseño y mecanismos de remoción ⁽¹⁰⁾.

Variable	Significado
Características del Medio Filtrante. <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño del grano. • Distribución granulométrica. • Forma, densidad y composición del grano. • Carga del Medio. 	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el intercambio en pérdida de carga
Porosidad del Lecho Filtrante.	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro.
Profundidad del Lecho Filtrante.	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera.
Tasa de Filtración.	Determina el área requerida y la pérdida de carga. Afecta la calidad del efluente.
Perdida de carga disponible.	Variable de Diseño
Características del afluente. <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de sólidos suspendidos. • Tamaño y distribución del floculo. • Resistencia del floculo. • Propiedades del fluido. 	Afecta las características de remoción del filtro.

Tabla 14. Muestra las variables principales en el diseño de filtros ⁽¹⁰⁾.



Mecanismo	Descripción
Cribado. <ul style="list-style-type: none"> • Mecánico • Oportunidad de contacto 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente. • Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto.
Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro.
Impacto inercial	Las partículas pesadas no siguen las líneas de corriente.
Intercepción	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante.
Adhesión	Las partículas floculentas se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua, algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. A medida que el lecho se tapona, la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional. Algún material se fugara a través del fondo del filtro haciendo aparecer turbiedad en el efluente.
Adsorción química. <ul style="list-style-type: none"> • Enlace • Interacción química 	Una vez que una partícula ha entrado en contacto con la superficie del medio filtrante o con otras partículas, la adsorción, física y/o química permite su retención sobre dichas superficies.
Adsorción física <ul style="list-style-type: none"> • Fuerzas electroestáticas • Fuerzas electrocinéticas • Fuerzas de Van der Waals 	
Floculación	Partículas más grandes capturan partículas más pequeñas y forman partículas aún más grandes
Crecimiento biológico	Reducen el volumen del poro y pueden promover la remoción de partículas

Tabla 15. Muestra los mecanismos de remoción de un filtro ⁽¹⁰⁾.

Existe un sinnúmero de categorías para clasificar los filtros, como son el medio filtrante, la profundidad, el flujo, la presión, la velocidad de filtración, etc. Sin embargo todos ellos siguen el mismo fundamento teórico, a su vez el mantenimiento de los filtros es semejante, una operación común es el lavado de los filtros, el cual consiste lavar los medios filtrantes para separar el material filtrado del medio filtrante, esta operación se puede realizar de dos formas, mediante la remoción y limpieza del medio filtrante o mediante la operación de retrolavado (backwash), la cual consiste en circular agua hacia arriba a una velocidad diez veces mayor a la velocidad de filtración, esto genera que el lecho se expanda y se genere una condición fluidizada en la que los desechos acumulados son desprendidos de los medios filtrantes.



1.5.1.3 Filtros de Arena.

Los filtros de arena son aquellos filtros cuyo medio filtrante es arena, el tamaño de partícula de la arena varía en función de la naturaleza del agua a purificar en conjunto con la calidad de agua que se requiere como producto, dentro de los tipos de filtros de arena existentes se encuentran los filtros por gravedad, filtros lentos, filtros rápidos entre otros, Sin embargo para la purificación de agua los filtros de arena que se utilizan son filtros rápidos de arena, los cuales mediante la presión ejercida en el fluido logran una limpieza del agua a tratar más rápida. El medio filtrante la arena, se utiliza por diferentes razones, una de ellas es por economía, ya que el arena es relativamente económica ⁽¹⁰⁾, el tamaño de la arena es de gran importancia en estos filtros, una arena gruesa permite mayor permeabilidad, sin embargo una arena fina con poros más pequeños causa menor permeabilidad ⁽¹⁰⁾. En este tipo de filtros es de suma importancia el tamaño de partícula y la porosidad de la arena, en conjunto con el volumen de vacíos el cual es el espacio neto vacío por donde circulara en agua. En los filtros de arena se puede colocar arena de diferentes tamices o de un solo tamiz, la decisión sobre que tamices usar se justifica con el tipo de partículas que contiene el agua, las cuales retirara el filtro.

Según los parámetros de la American Water Works Association (AWWA), la arena para estos filtros debe ser soluble en ácido clorhídrico al 40% en un tiempo de 24 horas, con una densidad relativa mayor de 2.5, los tamaños de partícula más utilizados en estos filtros van desde 0.35 mm hasta 0.50 mm ⁽¹⁰⁾.

1.5.1.4 Filtros de Carbón Activado.

Los filtros de carbón activado son aquellos cuyo medio filtrante es carbón activado, sin embargo estos filtros son de suma importancia en los procesos de purificación de agua. El fundamento teórico de estos filtros se basa en su mayoría en la adsorción, un fenómeno de transferencia de masa solido-líquido, llevado a cabo entre la superficie del carbón activado de naturaleza porosa y el agua a purificar. El carbón activado puede ser obtenido de varias formas la más conocida es la obtención mediante madera, carbón, nueces, ramas, sometidas a altas temperaturas con el fin de activarlo, esto genera una superficie porosa, conocida como área de contacto, esta área de contacto es donde se lleva acabo el fenómeno de adsorción.

El carbón activado utilizado en filtros para purificación de agua, es el carbón activado granular (GAC) ⁽¹⁸⁾, este es comercializado en gran cantidad de tamaños de partícula, la función del



carbón activado es la remoción de color, olor y sabor del agua, además se encarga de la remoción completa de cloro, siempre y cuando la concentración del cloro sea menor a 2.0 ppm, debido a que a mayor concentración de cloro el carbón activado se daña.

La vida del carbón activado se encuentra en función del agua a purificar, al igual que los filtros de arena el lavado del carbón activado es necesario para limpiar los poros de este, se puede realizar el lavado ya sea por lavado del carbón activado o mediante la operación de retrolavado.

1.5.1.5 Ósmosis Inversa.

Considerado uno de los procesos de purificación con mayor efectividad en la purificación del agua, debido a la alta pureza del agua purificada obtenida como producto, para comprender la ósmosis inversa se debe conocer en un principio la ósmosis, puede definirse la ósmosis como el paso de un solvente de una solución menos concentrada a otra más concentrada a través de una membrana semi-permeable, este fenómeno fue observado por primera vez por Abbé Nollet en 1748 ⁽¹⁹⁾. La presión osmótica se conoce como la presión mecánica que debe aplicarse sobre la solución para impedir la ósmosis del solvente hacia la solución a través de la membrana semi-permeable ⁽¹⁹⁾. Con los conceptos de ósmosis y presión osmótica se puede comprender de manera más segura la ósmosis inversa, puede definirse la ósmosis inversa como la operación de ejercer presión a una solución para que el solvente pase a través de una membrana semi-permeable, con el fin de separar al solvente del soluto. Aplicado a la purificación de agua se puede comprender que al ejercer una presión al agua a tratar, el agua sin contaminantes pasara a través de la membrana semi-permeable, dejando como producto final agua sin contaminantes y del otro lado de la membrana sus contaminantes.

El inconveniente de esta operación está en dos factores, la alta presión y las membranas semipermeables, esto reflejado en costo de equipo, líneas de proceso y servicios, sin embargo el inconveniente de las membranas es de mayor interés, debido al alto costo y su poca vida útil.

Una de las aplicaciones más importantes de la ósmosis inversa es la desalinización de agua, a pesar de sus altos costos la osmosis inversa se proyecta como una solución a futuro para la desalinización del agua.

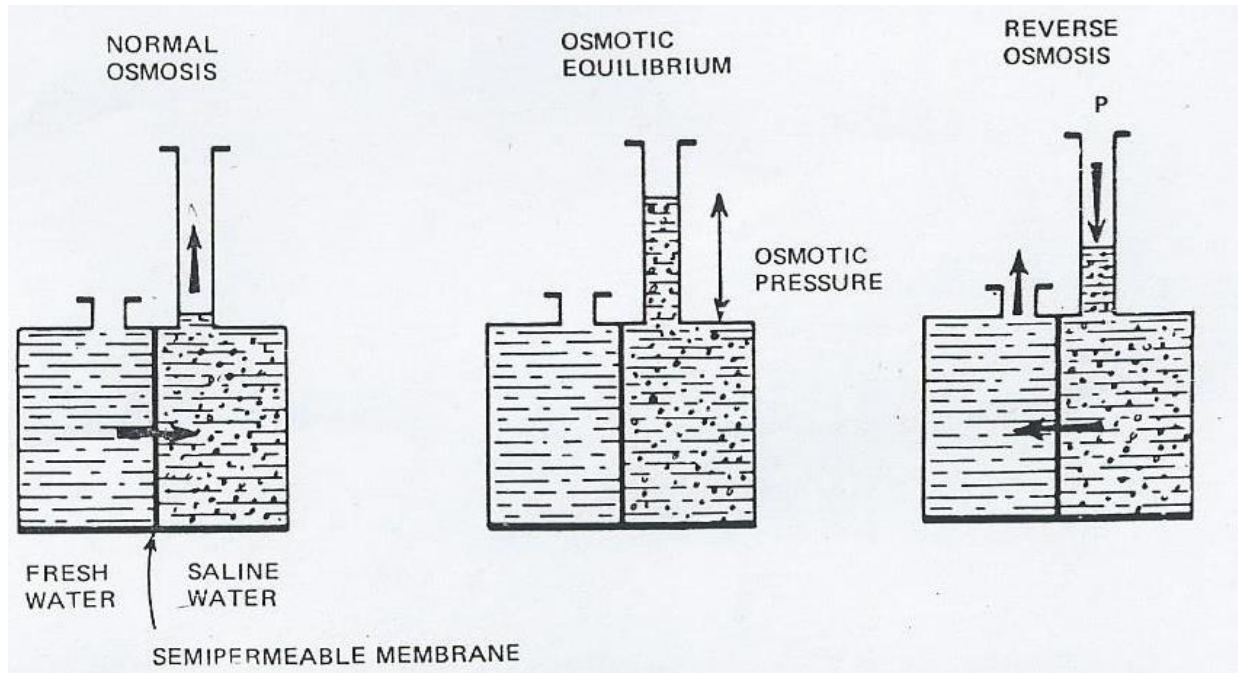


Figura 13. Muestra de forma esquemática la ósmosis, la presión osmótica y la ósmosis inversa ⁽¹⁸⁾.

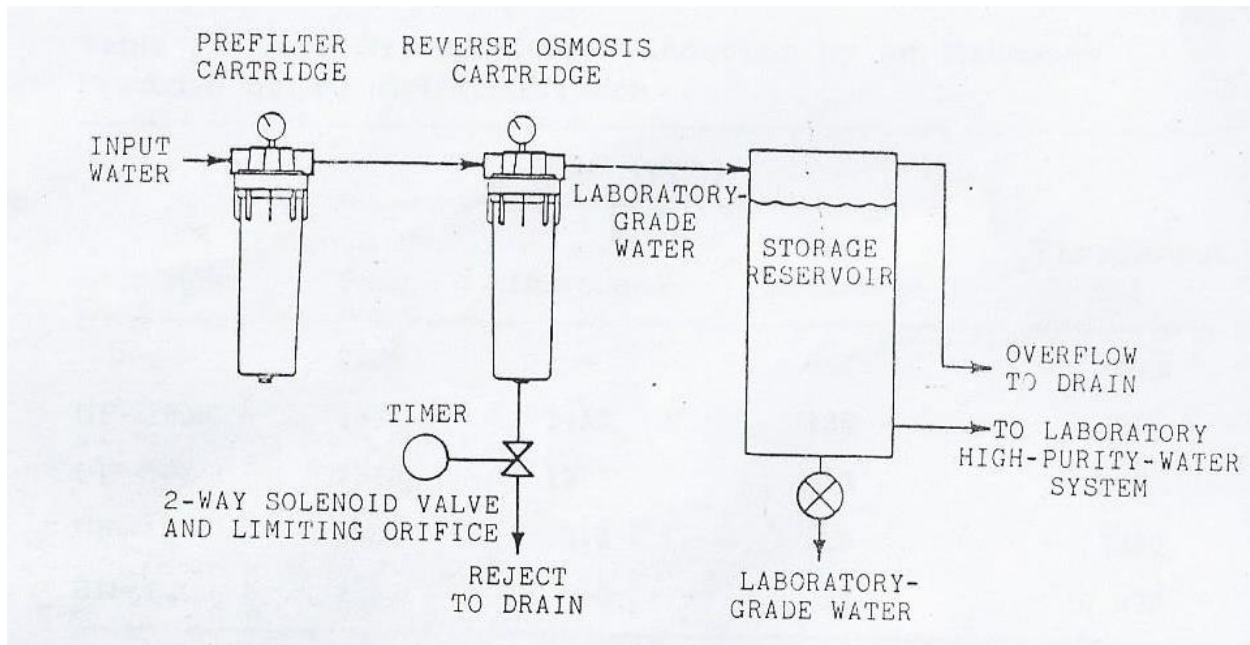


Figura 14. Muestra un equipo sencillo de laboratorio para ósmosis inversa ⁽¹⁸⁾.



1.5.1.6 Destilación.

La destilación del agua, consiste en evaporar agua con el fin de retirar sólidos, dentro de los usos posibles del agua obtenida por destilación se encuentran la alimentación a calderas o para consumo humano, sin embargo a pesar de conocerse esta técnica como destilación del agua, técnicamente es una evaporación ⁽²⁰⁾. La técnica de destilación del agua es aplicable a contaminantes sólidos, entre sus aplicaciones se encuentra la desalinización de agua salada o agua salobre, sin embargo la naturaleza del agua salada daña los equipos en conjunto con la alta cantidad de servicios requeridos para el proceso de desalinización por destilación.

1.5.1.7 Otros Filtros.

Existe un sinnúmero de filtros para purificar agua, la mayoría de ellos se pueden clasificar por el medio filtrante que contienen, pueden ser filtros que inicien el tratamiento, que tengan una fuerte carga de trabajo en el tratamiento, que sean pulidores, etc. Entre estos se encuentran los filtros de antracita, de arena con antracita, de grava, de zeolitas, de zeolita verde, de cartuchos, pulidores, de membranas, etc. Los filtros de membranas se encargan de operaciones de filtración especiales como son microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración.

1.5.2 Químicos.

1.5.2.1 Cloración.

La desinfección en procesos para purificación de agua es de suma importancia, la naturaleza de algunos de los microorganismos dañinos para el ser humano hace imposible la remoción total de estos mediante coagulación o filtración. La desinfección es necesaria en la purificación de agua sin embargo como todo proceso tiene inconvenientes, el de mayor interés es la formación de compuestos, productos de la reacción entre compuestos orgánicos y desinfectantes, es de suma importancia diferenciar la desinfección y la esterilización, la desinfección se enfoca en eliminar organismos potencialmente dañinos, en cambio la esterilización se enfoca en eliminar todos los organismos ⁽¹⁷⁾. La desinfección es regida por la Teoría de desinfección, la cual muestra mediante una ecuación diferencial la tasa de eliminación en función del tiempo ⁽¹⁷⁾.

Dentro de las sustancias conocidas para realizar la desinfección del agua a purificar se encuentra el cloro, el proceso de desinfectar agua con cloro se conoce como cloración. Para



poder llevar a cabo una correcta desinfección se deben considerar la temperatura y el pH del agua a purificar, esto es de suma importancia debido a que los compuestos formados como productos de reacción varían en función de estos factores. El cloro se utiliza para desinfección de agua debido a varios factores entre ellos, su precio, su disponibilidad, su fácil aplicación, la toxicidad para la mayoría de microorganismos debido a que detiene las actividades metabólicas de estos ⁽¹⁷⁾.

El cloro es un agente oxidante poderoso, esto causa que se combine rápidamente con agentes reductores y compuestos orgánicos, sin embargo la forma más común de aplicar cloro al agua es mediante compuestos que contengan cloro, antes se usaba cloro gaseoso, sin embargo este es peligroso y altamente corrosivo, debido a esto se hace uso de compuestos con contenido de cloro como el hipoclorito de sodio (NaOCl), hipoclorito de calcio ($[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$), ácido hipocloroso (HOCl), entre otros. Estos compuestos se agregan al agua a purificar, al tener contacto con el agua los iones de estos se separaran para poder iniciar la desinfección.

Dentro de los compuestos producto de la reacción de desinfección se encuentran las cloroaminas, para poder tener una eliminación constante se requiere cien veces el tiempo de contacto requerido por el residual libre ⁽¹⁷⁾. Para poder tener una desinfección satisfactoria el cloro residual debe actuar, para esto se debe definir el punto de ruptura o breakpoint, este punto es donde todos los compuestos han reaccionado y el cloro adicional se convierte en cloro residual libre, más allá del punto de ruptura el cloro residual libre es proporcional a la dosis ⁽¹⁷⁾.

Además de eliminar los microorganismos potencialmente dañinos el cloro en exceso destruye sabores y olores, este proceso se conoce con el nombre de superclorinación, después del tiempo de contacto requerido por la acción desinfectante el cloro en exceso es removido.

El cloro es un desinfectante efectivo sin embargo en aguas purificadas para beber no puede haber residuos de él, debido a que los compuestos organoclorados formados en la reacción de desinfección son cancerígenos para el ser humano ⁽¹⁷⁾, a su vez el cloro por naturaleza también es cancerígeno, esto muestra un punto de interés en la desinfección ya que se debe tener la precaución y el control de que el agua para consumo humano no debe tener trazas de cloro.

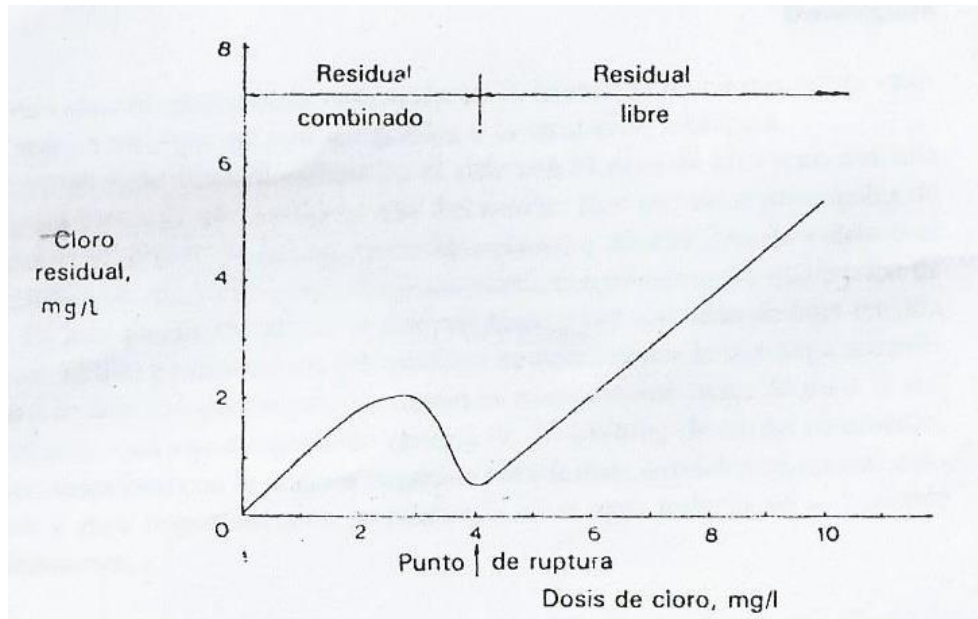


Figura 15. Muestra el cloro residual libre y el punto de ruptura (breakpoint) ⁽¹⁷⁾.

1.5.2.2 Yodo.

El Yodo fue descubierto después de la segunda guerra mundial como un método de purificación de agua alternativo a las pastillas de cloro, tiene un poder desinfectante mayor que el cloro en lotes pequeños de agua a purificar, es menos sensible al pH y al contenido orgánico del agua y eficaz en dosis inferiores ⁽¹⁶⁾. El yodo es consumido por el ser humano mediante la sal de mesa común, sin embargo un exceso o deficiencia en el consumo de yodo puede traer problemas a la salud como bocio, hipertiroidismo, entre otros, de manera más general el yodo llega a causar problemas en la glándula tiroides. Para estudiar la exposición a largo plazo de yodo para purificación de agua se realizó un estudio en tres prisiones del estado de Florida, a los prisioneros se les dio agua desinfectada con 0.5 a 1.0 ppm durante quince años ⁽¹⁶⁾. No hubo efectos en los prisioneros sanos, ni en prisioneros con problemas de tiroides, sin embargo de 101 infantes nacidos de prisioneros solo cuatro con problemas de hipertiroidismo se hicieron más sintomáticos, sin embargo a pesar de este estudio el yodo aún no se recomienda por consumos a largo plazo ⁽¹⁶⁾. En zonas donde se utiliza este proceso para purificación de agua, las autoridades sanitarias desalientan el consumo de sal yodatada,

En general el yodo se utiliza en dosis de 8.0 ppm durante un tiempo de contacto de diez minutos, la eficacia del yodo ha sido mostrada en numerosos estudios, en aguas turbias se



aumenta el tiempo de contacto, en aguas a bajas temperaturas la dosis o el tiempo pueden ser doblados, la dosis de yodo es calculada con el fin desinfectar el agua de microorganismos dañinos para el ser humano ⁽¹⁶⁾. El agua purificada con yodo tiene un sabor desagradable sin embargo puede ser retirado con vitamina C, la cual debe ser agregada después de que el tiempo de tratamiento con yodo ha terminado, también se puede usar tiosulfato de sodio para retirar el yodo libre ⁽¹⁶⁾.

1.5.2.3 Permanganato de Potasio.

El Permanganato de Potasio (KMnO_4) es utilizado para eliminar patógenos, no es muy recomendable ya que no es muy efectivo, es económicamente caro, deja un color marrón en el agua, sin embargo algunos países subdesarrollados lo utilizan como método de tratamiento de agua para empleo en casa ⁽¹⁶⁾.

1.5.2.4 Coagulación.

La coagulación es un proceso unitario, cuyo objetivo es la desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión en el agua, para favorecer la aglomeración de estas, como consecuencia se elimina la materia en suspensión estable, este proceso también elimina la turbiedad, la concentración de materia orgánica y microorganismos ⁽²¹⁾. El proceso de desestabilización química se produce al neutralizar las fuerzas que mantienen separadas las partículas coloidales, mediante un coagulante químico en conjunto con la aplicación de una energía de mezclado ⁽²¹⁾. El efecto de desestabilización química a las partículas coloidales permite la aglomeración de estas formando flóculos (Figura 16), este proceso tiene una gran desventaja en la cantidad de coagulante, ya que la cantidad de este debe ser exacta, debido a que una coagulación mal realizada puede causar degradación en la calidad del agua causando gastos injustificados en la operación, a su vez de hacer más difícil la clarificación del agua ⁽²¹⁾.

La desestabilización química se puede llevar a cabo por varios mecanismos entre ellos la adsorción y puente, adsorción y neutralización de cargas, atrapamiento de partículas en un precipitado, entre otros. Entre los coagulantes más utilizados para desestabilizar partículas y producir flóculos se encuentran el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, entre otros ⁽²¹⁾.

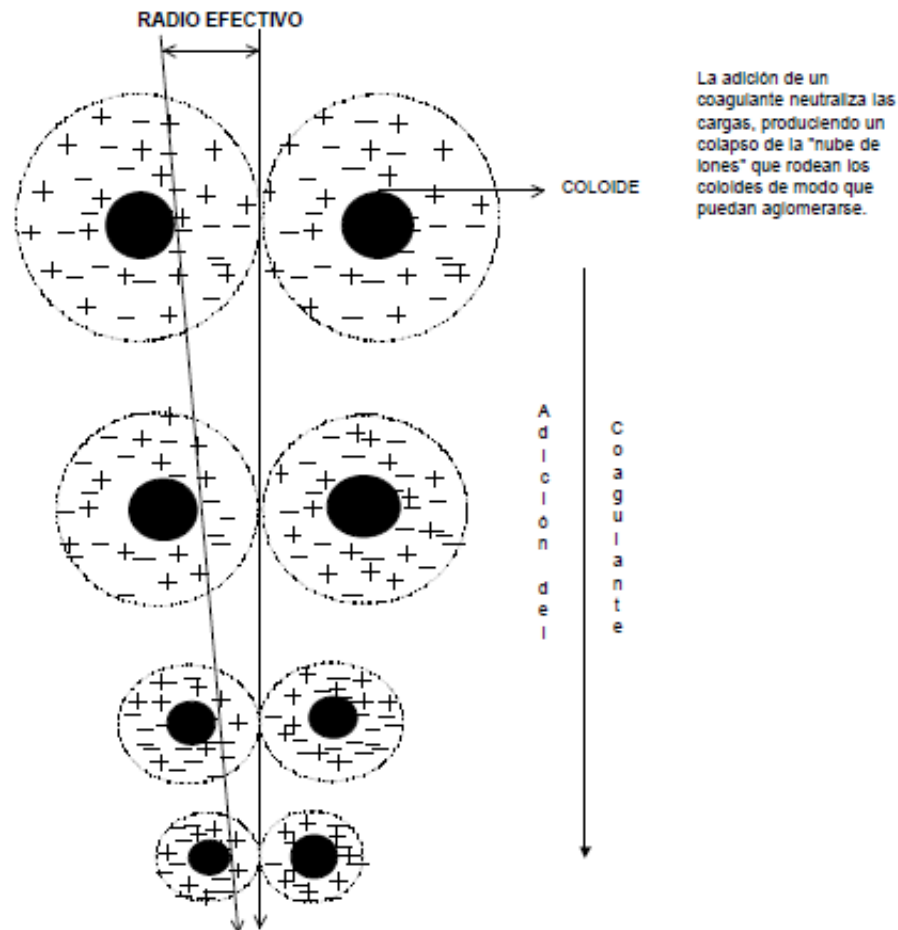


Figura 16. Muestra el efecto de desestabilización en los coloides al agregar el coagulante ⁽²¹⁾.

Dentro de las condiciones a considerar para este proceso se encuentra el pH, la influencia de sales disueltas, la temperatura, la dosis del coagulante y el mezclado. El pH es la variable más importante en la coagulación ya que para cada tipo de agua existe un rango de pH óptimo, dependiendo de la naturaleza del agua y del coagulante a utilizar ⁽²¹⁾. Las sales disueltas en el agua tienen efectos en la coagulación y la floculación como son, modificar el rango de pH óptimo, modificar el tiempo requerido, modificar la dosis de coagulante requerido al igual que la cantidad de coagulante residual en el efluente ⁽²¹⁾. La temperatura afecta la variación de la densidad del agua, afectando de manera directa la velocidad de coagulación, el aumento de la temperatura desfavorece la coagulación, a su vez un descenso en la temperatura causa un aumento en la viscosidad, causando una difícil formación de flóculos ⁽²¹⁾.



1.5.2.5 Floculación.

La floculación es el proceso subsecuente a la coagulación, consiste en la agitación de la masa acumulada, para permitir el crecimiento y aglomeración de esta para formar los flóculos, con el fin de aumentar su tamaño para poder separarlos por sedimentación de una manera sencilla ⁽²¹⁾.

Así como la coagulación, la floculación requiere de la intervención de agentes floculantes, los cuales ayudan a la formación de los flóculos, enlazando las partículas individuales en aglomerados, existen floculantes minerales como la sílice activada, floculantes orgánicos naturales los cuales son polímeros extraídos de sustancias animales o vegetales, floculantes orgánicos de síntesis, estos son los más utilizados son macromoléculas obtenidas por asociación de monómeros sintéticos, se clasifican en aniónicos, neutros y catiónicos ⁽²¹⁾.

Existen dos tipos de floculación, la floculación pericinética causada por el movimiento de las moléculas del agua debido a una energía térmica y la floculación ortocinética la cual se basa en las colisiones de las partículas causadas por el movimiento del agua inducido mediante una fuente externa ⁽²¹⁾.

1.5.2.6 Intercambio Iónico.

El intercambio iónico se puede definir como el proceso donde las partículas sólidas ionizadas ya sean cationes o aniones, se ponen en contacto con una solución electrolítica con el fin de cambiar la concentración de la solución ⁽²⁰⁾. Debido a que los iones pueden tener cargas positivas (cationes) y negativas (aniones), se puede llevar a cabo un intercambio de iones, mediante la interacción con una solución electrolítica, siempre y cuando el signo de las cargas de estos iones sea diferente. El intercambio iónico es usado en la industria y en diferentes áreas, como la recuperación de metales a partir de soluciones diluidas, separación de productos a partir de biorreactores, sin embargo las mayores aplicaciones son el ablandamiento y la desmineralización de agua ⁽²⁰⁾. La capacidad de intercambiar iones existe en materiales naturales como las zeolitas, sin embargo en la mayoría de los procesos se utilizan resinas sintéticas, estas resinas son preparadas a partir de polímeros orgánicos. Las resinas de ácidos fuertes como el ácido sulfónico ($-\text{SO}_3^-$), ácidos débiles con grupos de ácido carboxílico ($-\text{COO}^-$), entre otros ácidos se encuentran en intercambiadores catiónicos ⁽²⁰⁾. En intercambiadores aniónicos se pueden encontrar bases fuertes de grupos de amoniaco cuaternario y de bases débiles como el grupo amino, entre otros ⁽²⁰⁾.



Los intercambiadores iónicos por lo general son lechos fijos similares a los empleados en adsorción ⁽²⁰⁾, para el proceso de purificación de agua se requieren quitar iones que afectan la calidad del agua, los equipos de intercambio iónico para agua son lechos fijos, sobre los cuales se hace circular el agua a purificar, la resina contenida en los lechos fijos retira los iones, dejando un agua libre de iones y una resina cargada de estos, para poder seguir la operación la resina debe ser regenerada, para lo cual se agrega una salmuera cargada de iones que se hace circular por el intercambiador (retrolavado) ⁽²²⁾, una vez regenerada la resina se continua con la operación de intercambio de iones, esta es la función de un intercambiador iónico, sin embargo también existen intercambiadores donde la resina es líquida, o se encuentra en un lecho fluidizado. El intercambio iónico es un proceso muy útil para ciertos parámetros de calidad del agua como la dureza, la alcalinidad entre otros (Tabla 16) ⁽¹⁶⁾.

Parámetro	Designación química
Dureza	Sales de calcio y magnesio, CaCO ₂ , Ca, Mg.
Alcalinidad	Bicarbonatos (HCO ₃), carbonatos (CO ₃), hidróxidos (OH).
Acides mineral libre	H ₂ SO ₄ , HCl, otros ácidos.
Cloro	Cl ⁻
Sulfatos	(SO ₄) ²⁻
Hierro y Manganeseo	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mn ²⁺
Dióxido de carbono	CO ₂
Silica	SiO ₂

Tabla 16. Muestra los parámetros de calidad para el agua a tratar por intercambio iónico ⁽¹⁶⁾.

1.5.2.7 Otros.

Existen muchos procesos para purificación de agua, en esta sección describiré de manera rápida algunos procesos no muy conocidos, algunos de ellos no son recomendables en ciertas zonas, debido a la naturaleza del agua, sin embargo son métodos que pueden llegar a ser efectivos.

La plata coloidal fue usada por los romanos con el fin de preservar la calidad del agua en jarras de almacenaje, debido a que la plata en concentraciones de 0.05 ppm es tóxica para la mayoría de microorganismos, se utiliza en unidades portátiles pequeñas, se aplica mediante filtros de bujía con grava impregnada de plata, la cual puede quitar turbidez además de realizar una desinfección, no es utilizada en abastecimientos grandes debido a su alto costo ⁽¹⁷⁾.



El bromo al igual que el cloro es un halógeno, por ello sus propiedades de desinfección son similares, se llega a usar en albercas donde el residual de bromo es menos irritante que el residual de cloro ⁽¹⁷⁾. A su vez el fluor, también es usado de manera similar ⁽²²⁾.

1.5.3 Energías.

1.5.3.1 Luz UV.

La luz ultravioleta (UV) es una forma de radiación que se considera un agente desinfectante, esta se ha usado para el tratamiento en pequeños abastecimientos de agua. La acción desinfectante de la luz UV radica en la longitud de onda de esta (aproximadamente 254 μm), la luz UV afecta directamente a los microorganismos, para tener una eficiencia óptima de la luz UV no debe haber turbidez y la dosis debe incrementarse para permitir la absorción de la radiación UV. El funcionamiento de la luz UV consiste en hacer pasar el flujo de agua a desinfectar entre tubos de descarga de arco de mercurio y tubos reflectores de metal pulido ⁽¹⁷⁾, esto garantiza una desinfección eficiente en unos cuantos segundos. Entre las ventajas de la luz UV se encuentran la no formación de olores y sabores, su mantenimiento es mínimo, el control de esta es sencillo y no existe peligro de sobredosis ⁽¹⁷⁾, las desventajas de este proceso son su elevado costo, la claridad necesaria que debe tener el agua para ser eficiente y la vida útil ⁽¹⁷⁾.

1.5.3.2 Ozono.

El ozono (O_3) es una forma alotrópica del oxígeno, este se produce al pasar oxígeno seco o aire por una descarga eléctrica, es un gas de naturaleza inestable, color azul, tóxico, con un olor picante semejante al heno recién cortado, es un agente oxidante muy poderoso ⁽¹⁷⁾. La ozonificación es un proceso de desinfección, es más eficiente que el cloro debido al poder oxidante del ozono, se considera una oxidación avanzada, más eficiente que el cloro y que la luz UV, en algunos casos la ozonificación y el filtrado pueden dar un resultado similar que una planta formada por coagulación, sedimentación, filtrado y cloración ⁽¹⁷⁾. A diferencia del cloro los productos de la reacción de ozonificación se llaman ozónidos, aun en estos días no se comprende bien la importancia de su presencia en el agua ⁽¹⁷⁾.

1.5.4 Arreglos posibles de procesos de potabilización y purificación de agua.

Las plantas potabilizadoras y purificadoras de agua pueden tener un proceso armado a partir de las operaciones y procesos unitarios mencionados anteriormente, se debe tener como prioridad la naturaleza del agua y la calidad del agua deseada como producto, al igual que el uso de esta, a continuación se muestran algunos ejemplos de cómo se pueden armar los procesos de potabilización y purificación de agua.

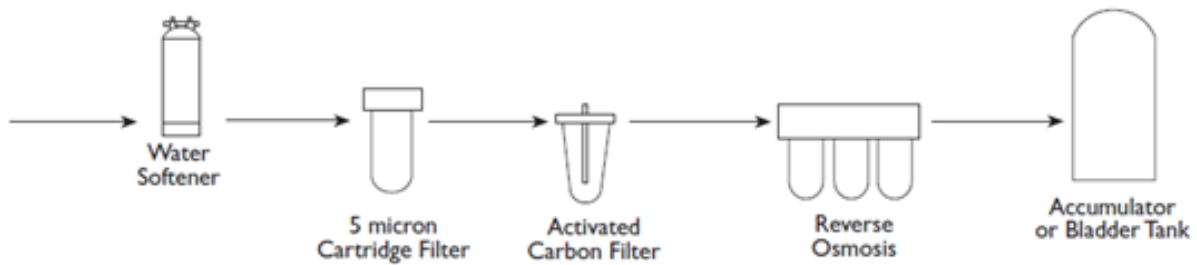


Figura 17. Muestra un Proceso para purificación mediante osmosis inversa a nivel del hogar ⁽²³⁾.

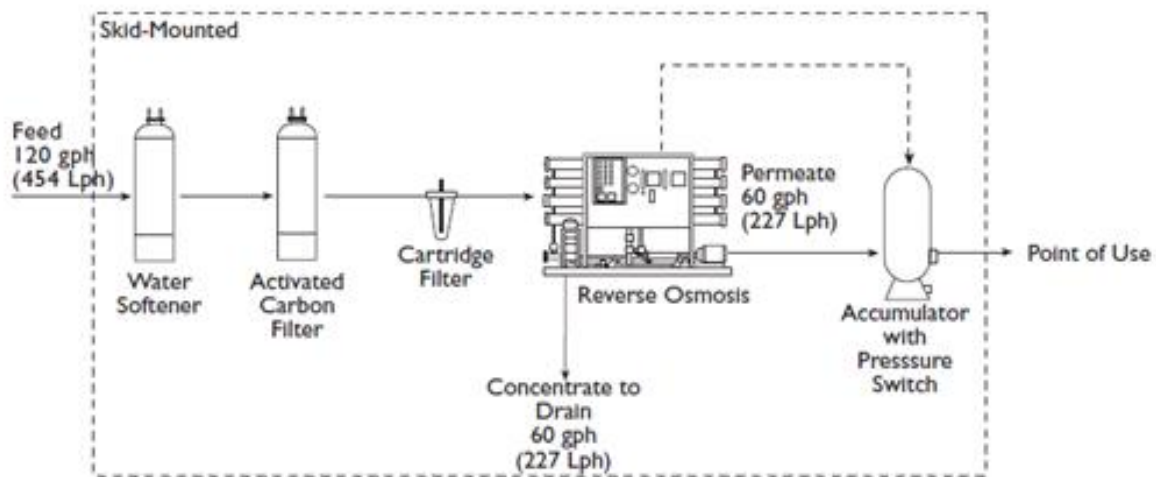


Figura 18. Muestra un proceso para purificación comercial con almacenaje presurizado ⁽²³⁾.

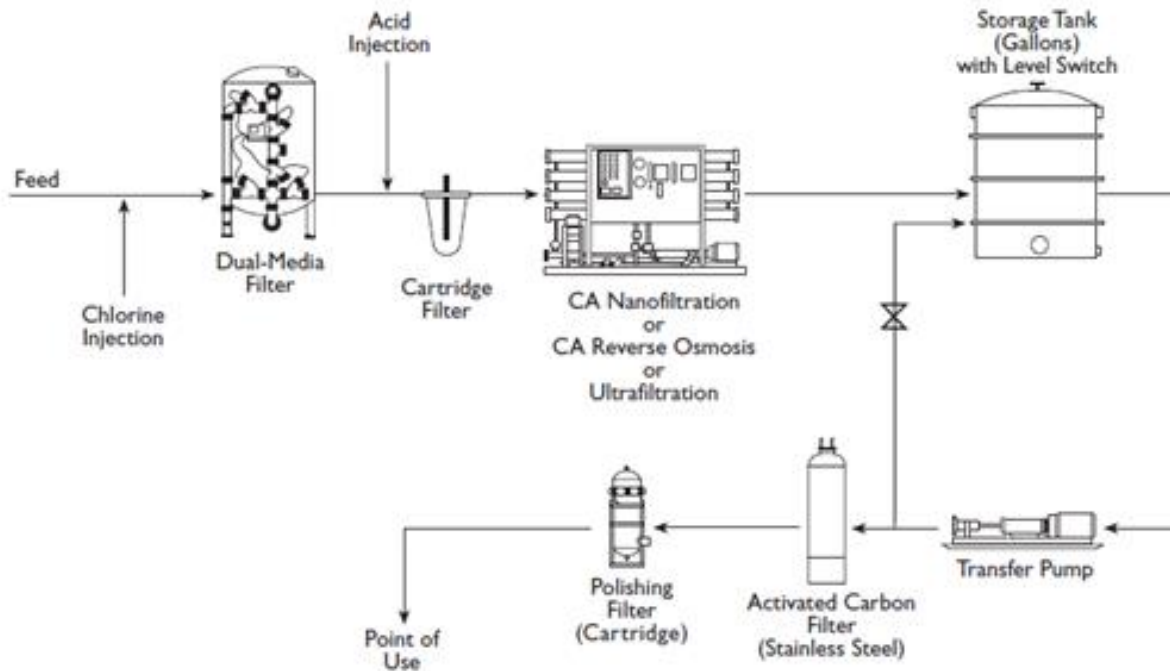


Figura 19. Muestra un proceso para purificación de agua para beber ⁽²³⁾.

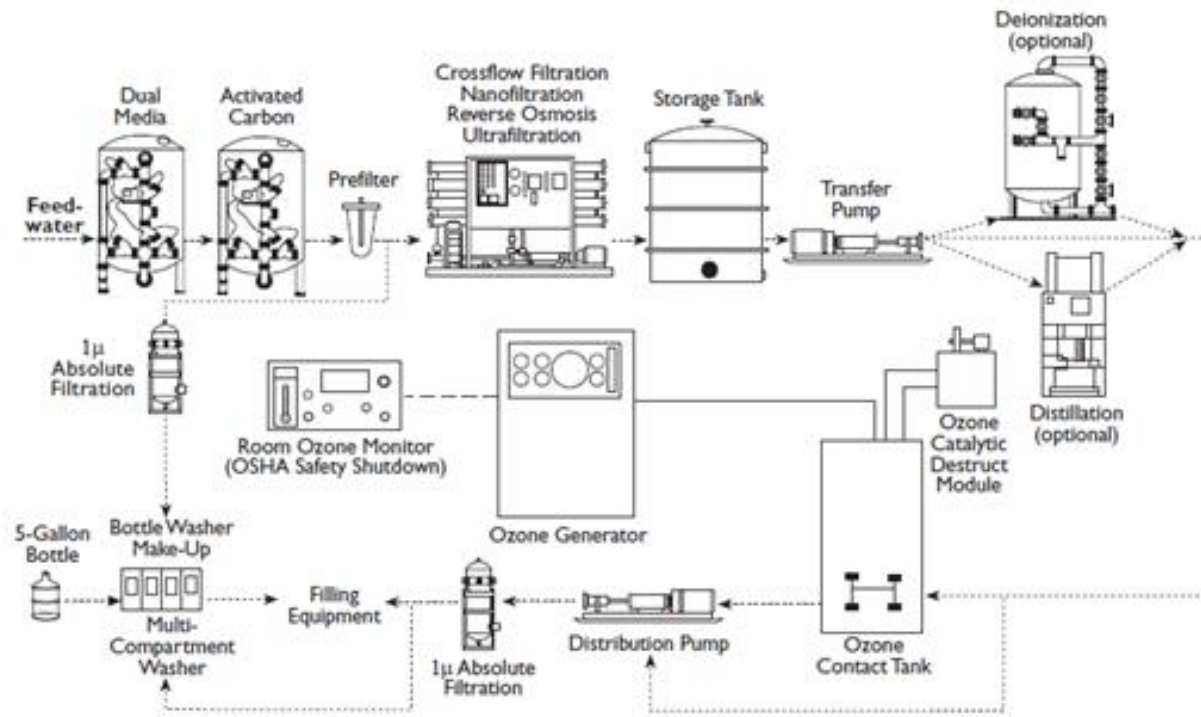


Figura 20. Muestra un proceso para purificación de agua embotellada ⁽²³⁾.



CAPÍTULO II.

OPERACIÓN ACTUAL DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.



2.1 LAS PLANTAS PURIFICADORAS

2.1.1 Generalidades.

La FESZ está conformada por dos Campus; Campus I donde se encuentran las carreras, Médico Cirujano, Cirujano Dentista, Enfermería y Psicología; Campus II con las carreras de Química Farmacéutico Biológica, Biología e Ingeniería Química. Durante los últimos años como estudiante de la FESZ he notado contenedores elaborados con botellas de PET, estos contenedores tienen la función de coleccionar las botellas de refresco, jugos, agua, etc. En conjunto de manera indirecta se puede ver la gran cantidad de botellas de PET, debidas al consumo de líquidos en al FESZ. Hoy en día en México se tiene un gran problema de salud causado por el sobrepeso y la obesidad. La FESZ en función a estos problemas hace dos años implementó mediante un Proyecto Académico de la Carrera de Ingeniería Química, plantas purificadoras de agua.

Dentro de cada Campus se encuentra una planta purificadora de agua, conectada cada una a una red de distribución de bebederos, en total se tienen dos plantas purificadoras y dieciocho bebederos, así al ofrecer a la comunidad universitaria agua purificada de calidad, se da una opción que además de ayudar a reducir los problemas de salud da un respiro económico a los estudiantes, reafirmando a la FESZ como “Facultad Promotora de Salud”.

Las plantas purificadoras están formadas por diferentes equipos, los cuales unidos conforman el proceso de purificación de agua.



Cantidad	Equipo	TAG	Función
Dos	Tanque de Polietileno de Alta Densidad	TQ-01	Almacenar el agua cruda durante el proceso.
		TQ-02	Almacenar el agua purificada lista para distribución a bebederos.
Dos	Sistema hidroneumático	GA-01	Mantiene la presión del agua durante el proceso y llenado de TQ-02.
		GA-02	Mantiene la presión en las líneas de distribución, además de mantener la presión en al recirculación hacia TQ-01.
Uno	Filtro de Lecho Profundo	FL-01	Remueve las partículas en suspensión, subproductos de la desinfección, entre otros.
Uno	Filtro de Carbón Activado	FC-01	Remueve color, olor, sabor, cloro residual, subproductos de la desinfección, ayuda a dar frescura al agua.
Tres	Filtro Pulidor	FP-01	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
		FP-02	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
		FP-03	Retiene partículas insolubles de hasta 5 micras.
Uno	Lámpara de luz UV	BA-01	Desinfección avanzada, elimina microorganismos restantes de la desinfección inicial.
Uno	Generador de Ozono	BA-02	Desinfección avanzada, elimina microorganismos restantes de la desinfección inicial, funciona como conservador.
Uno	Llenadora de Garrafrones	s/t	Llena garrafrones de agua purificada, muestreo en planta.
Uno	Tarja de Acero Inoxidable	s/t	Limpieza general y de garrafrones.

Tabla 17. Muestra los equipos que conforman las plantas purificadoras y su función.

2.1.2 Planta Purificadora Campus I.

En Campus I la planta purificadora se encuentra dentro de un cobertizo de lámina de 25m², ubicado entre los edificios A-1, A-4 y Edificio de Gobierno, pegada a la reja de la calle Batallón de Zacapoaxtla, la planta purificadora está conformada por los equipos mencionados en la Tabla 17.



Figura 22. Muestra la planta purificadora de agua de Campus I.

La planta purificadora está conectada a la red de distribución, conformada por nueve bebederos los cuales se encuentran distribuidos en todo el Campus.

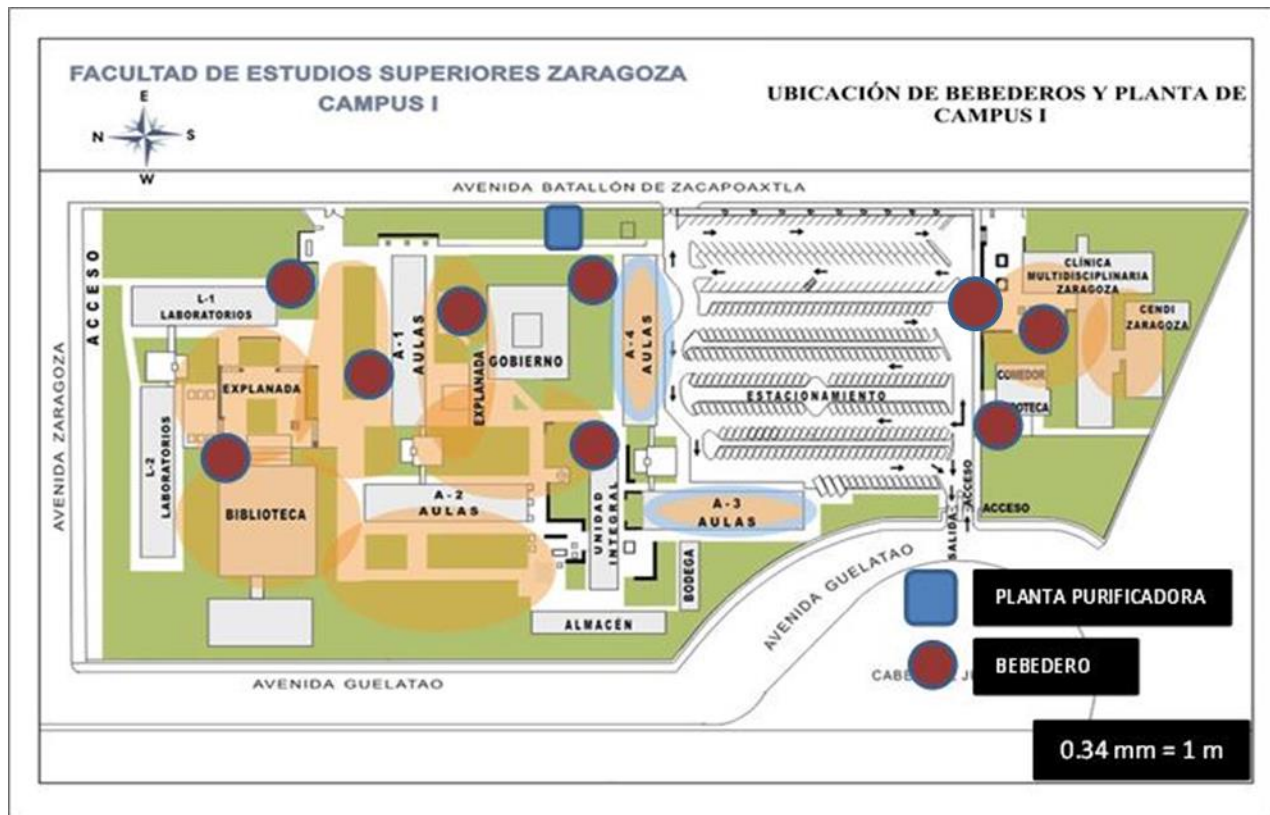


Figura 23. Muestra la ubicación de la planta purificadora y los nueve bebederos de Campus I.

2.1.3 Planta Purificadora Campus II.

La planta purificadora de Campus II, se encuentra ubicada dentro de la Planta Piloto de Ingeniería Química, dentro del Edificio de Tecnologías, en base al desnivel del terreno el Edificio de Tecnologías se encuentra en la parte elevada de Campus II, la planta purificadora está conformada por los mismos equipos de la planta de Campus I, mencionados anteriormente en la Tabla 17.



Figura 24. Muestra la planta purificadora de agua de Campus II.

La planta purificadora de Campus II, se encuentra conectada a la una red de distribución conformada por nueve bebederos, en Campus II el desnivel generado por el terreno ayuda a la distribución de agua, debido a que al tener el desnivel en algunos casos no es necesario tener el sistema hidroneumático prendido, en comparación con Campus I.



Figura 25. Muestra la ubicación de la planta purificadora y los nueve bebederos de Campus II.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN.

2.2.1 Generalidades.

El proceso de purificación de agua de las plantas de la FESZ consta de siete etapas, un pretratamiento con hipoclorito de sodio (desinfección), filtración por lecho profundo (arena), filtración por carbón activado, filtración pulidora, luz UV, ozono (ozonificación), como última etapa se agrega un bactericida grado alimenticio.

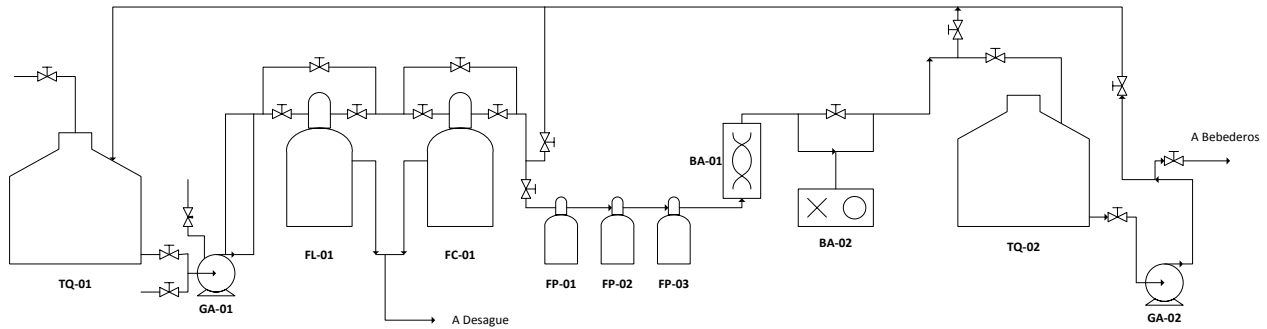


Figura 26. Muestra de manera general el proceso completo de purificación de agua.

A. Pretratamiento con hipoclorito de sodio (Desinfección).

La primera etapa del proceso es el pretratamiento, el cual es una desinfección con hipoclorito de sodio, se agrega al agua cruda contenida en TQ-01 una solución al 13% de hipoclorito de sodio, para saber la cantidad de hipoclorito de sodio a agregar, se consideran dos factores, el volumen de agua a preparar y la concentración del hipoclorito de sodio.

$$V_{NaClO} = \frac{2.5 \text{ p.p.m.}}{C * 10000} * V_{H_2O}$$

Dónde:
 V_{NaClO} : Volumen de NaClO en mililitros a la concentración C necesario para el volumen de agua a preparar.
 C: Concentración de NaClO.
 V_{H_2O} : Volumen de agua cruda en mililitros a desinfectar

Para lograr homogenizar el hipocloririo de sodio en toda el agua se pone a recircular el agua a través del filtro de lecho profundo, a su vez este filtro separa algunos compuestos generados por la reacción de desinfección.

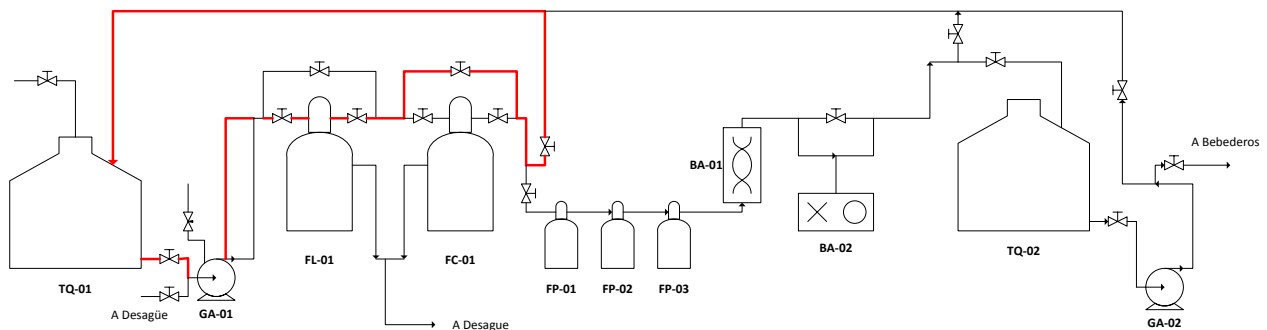


Figura 27. Muestra el Pretratamiento con hipoclorito de sodio (Desinfección).

El fin del pretratamiento está indicado cuando el nivel de cloro homogenizado en todo el volumen de agua es de 1.5 ppm.

B. Filtración por Lecho Profundo

La filtración por lecho profundo se realiza mediante un filtro de arena (FL-01) de diferentes tamices, esto permite una mayor eficiencia en la operación unitaria de filtrado, en las plantas purificadoras de la FESZ esta operación se realiza durante el pretratamiento y durante el tratamiento completo.

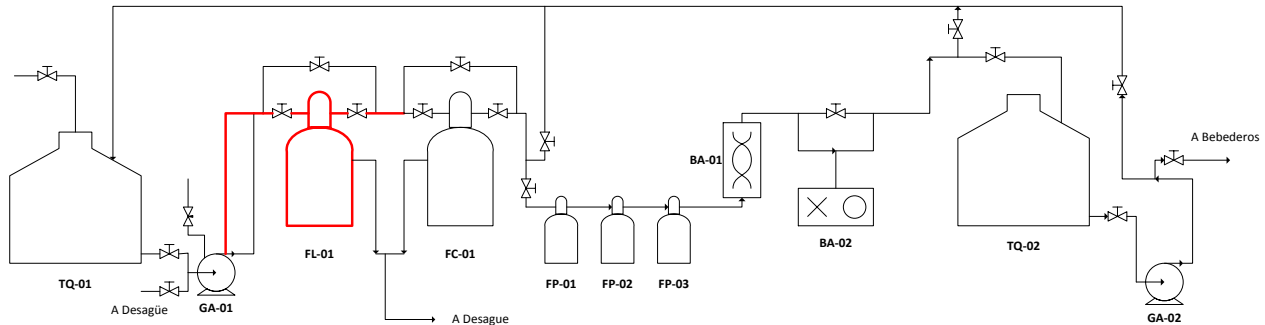


Figura 28. Muestra la operación unitaria de filtrado por lecho profundo.

C. Filtración por Carbón Activado.

La filtración por carbón activado se realiza con un filtro de carbón activado (FC-01), esta operación se lleva a cabo durante el tratamiento completo, sin embargo el carbón activado se daña con el cloro arriba de 2.0 ppm, por ello esta operación se realiza solo cuando el pretratamiento termino y el cloro se encuentra en 1.5 ppm, su función es quitar color, olor, sabor, subproductos de la desinfección y cloro residual hasta 0 ppm.

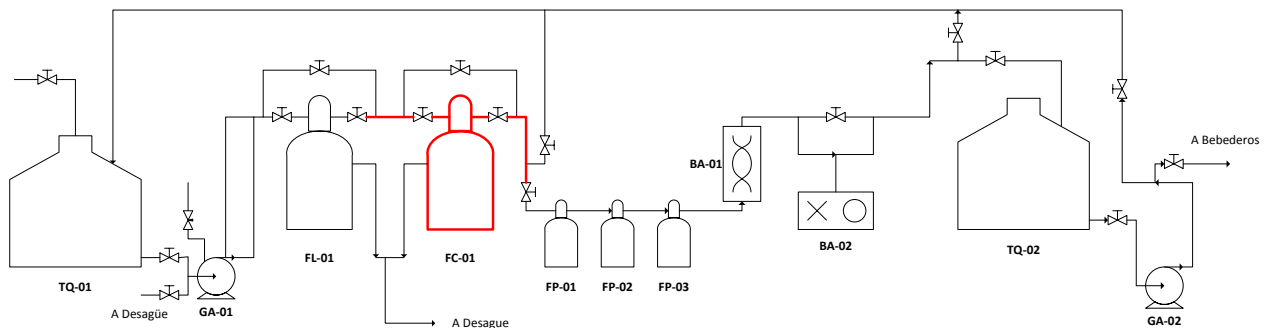


Figura 29. Muestra la operación unitaria de filtrado por carbón activado.

D. Filtración pulidora.

Realizada mediante tres filtros pulidores (FP-01, FP-02, FP-03), su fin es retener partículas de tamaño mayor a cinco micras, los filtros pulidores constan de una carcasa y un cartucho, este

actúa como medio filtrante, al hacer pasar el agua por el filtro la presión para mover el flujo causa que las partículas se queden retenidas en el medio filtrante, dejando así un agua de mayor calidad, se tiene un tren de tres filtros pulidores debido a la carga del primer filtro, al tener tres se garantiza la remoción de las partículas, esta operación unitaria se realiza durante el tratamiento completo, sin embargo puede realizarse en cualquier momento debido a la naturaleza de los medio filtrantes.

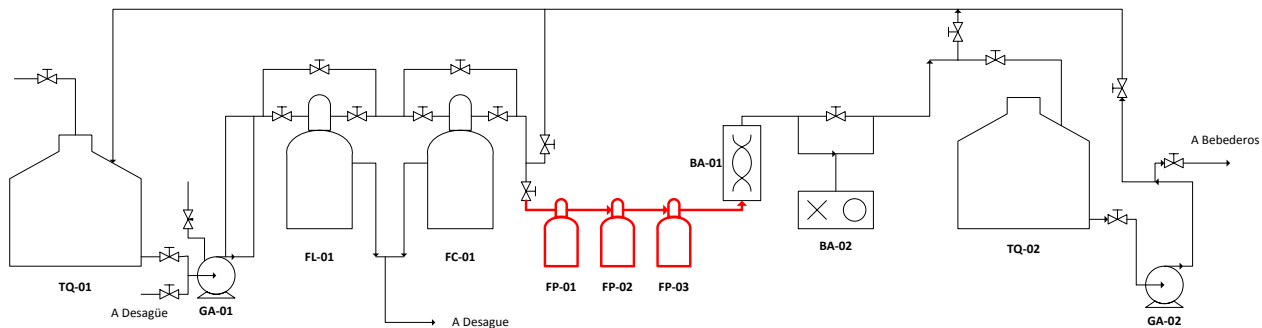


Figura 30. Muestra la operación unitaria de filtración pulidora.

E. Desinfección por Luz UV.

La desinfección por luz UV (BA-01), es de mayor eficiencia que la desinfección por cloro, sin embargo en las plantas de la FESZ se tiene como una desinfección secundaria, la materia orgánica que no fue eliminada por la desinfección con cloro será eliminada por la desinfección por luz UV, debido a que existe materia orgánica capaz de encapsularse y ser inerte a la desinfección con cloro, de esta forma al colocar la desinfección con UV después de la desinfección con cloro y después de retirar el cloro residual por medio de carbón activado, la materia orgánica restante es eliminada.

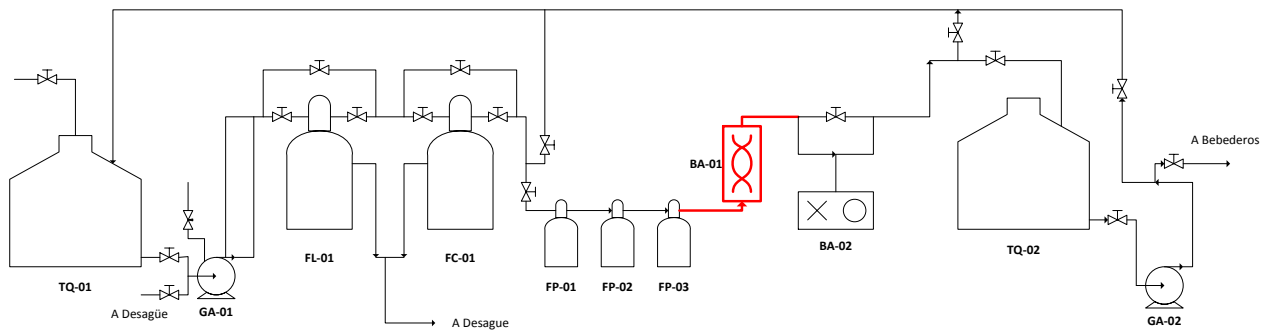


Figura 31. Muestra la desinfección por luz UV.

F. Ozonificación

La ozonificación es una oxidación avanzada, el ozono es generado mediante un generador de ozono, este se conecta a la corriente eléctrica para generar un alto voltaje por el cual se hace pasar oxígeno obtenido de aire, una vez generado el ozono se mezcla con el aire después es inyectado por un tubo venturi, la válvula colocada en la línea de proceso se encuentra estrangulada para garantizar el área de contacto óptima entre el ozono y el agua.

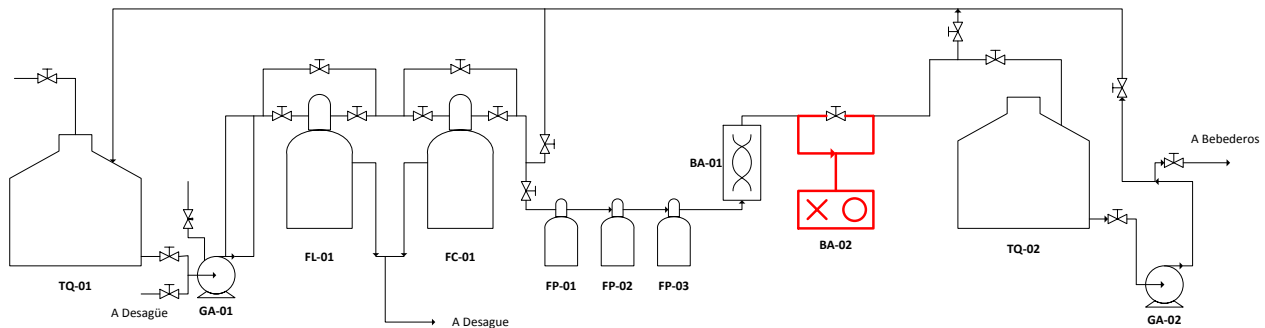


Figura 32. Muestra la desinfección por ozono (ozonificación).

G. Bactericida grado alimenticio.

Una vez que el agua ha pasado por todo el tratamiento y se encuentra en parámetros se le conoce como agua purificada, como último paso al pasar el agua purificada al tanque de alimentación (TQ-02), se agrega un bactericida grado alimenticio, con el fin de mantener el agua libre de bacterias durante su almacenamiento y distribución.

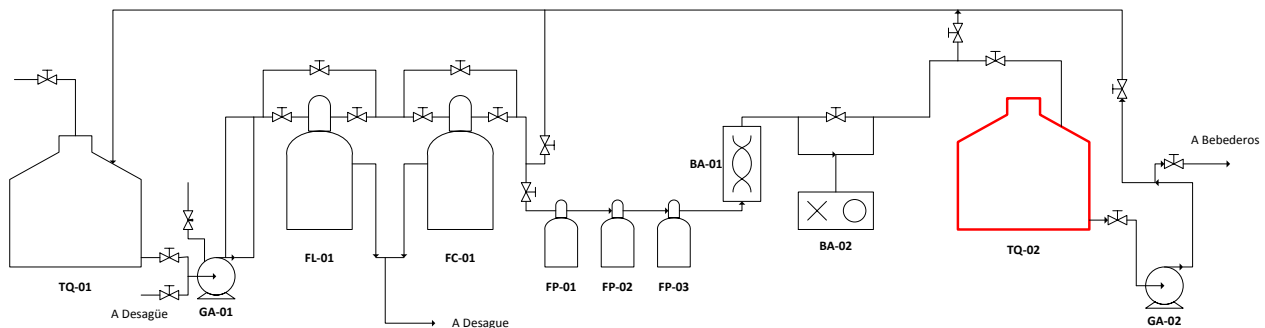


Figura 33. Muestra la última etapa del proceso de purificación (bactericida).

Ahora que se conocen las siete etapas del proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ, se puede explicar más a fondo el proceso. Este consta de dos fases, la primer fase es el pretratamiento con hipoclorito de sodio, el agua se hace recircular al tanque

de alimentación (TQ-01), una vez que se ha homogenizado el agua y se encuentra a 1.5 ppm de cloro residual, termina el pretratamiento. La siguiente fase es el tratamiento completo, el cual consiste en hacer circular el agua desde TQ-01 hasta TQ-01, por el tratamiento completo, hasta tener un cloro residual de 0 ppm, esto indica que el agua está lista para ser trasladada a TQ-02 para su distribución.

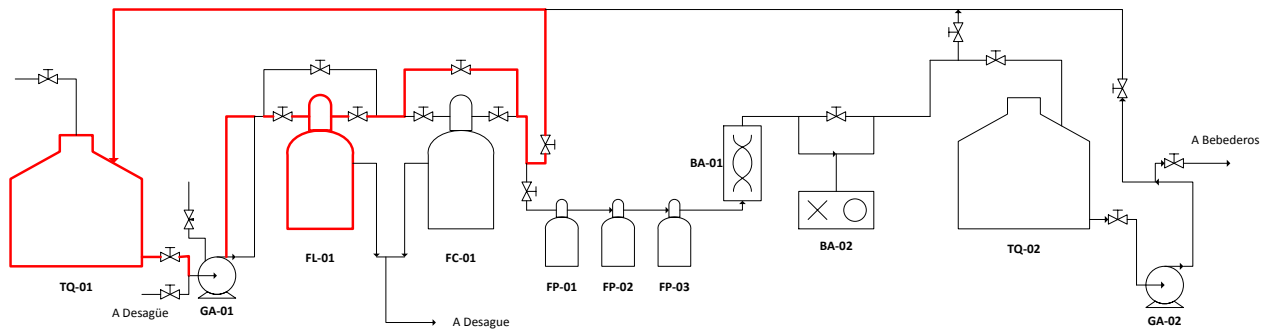


Figura 34. Muestra la fase de pretratamiento.

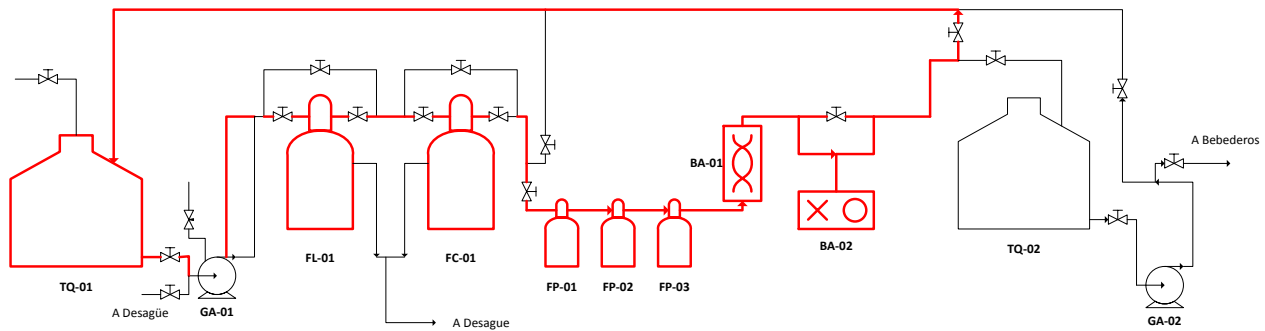


Figura 35. Muestra fase de tratamiento completo.

2.2.2 Proceso de la Planta Purificadora de Campus I.

Una vez que se conoce el proceso de purificación de las plantas de FESZ, se pueden mencionar las variantes en el proceso de cada Campus. En el caso de Campus I el proceso es más sencillo, se inicia con el pretratamiento de hipoclorito de sodio, a su vez se realiza la filtración por lecho profundo, la cantidad de hipoclorito de sodio se calcula como se mencionó anteriormente, el tiempo de homogenización varía en función del volumen de agua, cuando por heurística se sabe que ya se homogenizó, se realiza una prueba de cloro con ortotolidina, si la prueba indica que se encuentra la concentración de cloro en 1.5 ppm se procede a colocar la planta en tratamiento completo.



El tratamiento completo consiste en recircular el agua de TQ-01 a TQ-01 por el filtro de lecho profundo, filtro de carbón activado, filtros pulidores, luz UV y Ozono. Al igual que en el pretratamiento el tiempo de homogenizado varia, cuando la prueba de ortotolidina da 0 ppm de cloro se procede a detener la recirculación a TQ-01, para que el agua ya purificada pase al tanque de alimentación TQ-02.

Otro aspecto a considerar son las pruebas organolépticas al agua cruda y purificada, en caso de que el agua cruda llegue con un color café se procede a pasar el agua por el tratamiento completo sin realizar la cloración, esto con el fin de que el color generado por materia orgánica e inorgánica sea reducido o retirado completamente. En caso del agua purificada ya terminada aunque el indicador de ortotolidina diga que se encuentra en 0 ppm, el agua no debe tener color, olor, sabor ni partículas suspendidas.

Por ultimo al tener el agua purificada en TQ-02 y detener completamente el flujo hacia este se procede a agregar el bactericida grado alimenticio, es de suma importancia que el flujo de agua este detenido, ya que el bactericida está conformado por tensoactivos, los cuales generan la formación de espuma. Esto no afecta a las líneas de alimentación ya que mientras el agua este sin movimiento el bactericida se difunde por toda el agua en TQ-02. El tiempo de difusión del bactericida está dado por la cantidad de agua purificada, sin embargo por heurística se conoce que el tensoactivo pierde su efecto de generar espuma a las cuatro horas, pasado este tiempo se puede volver a agregar agua purificada a TQ-02 o recircular el contenido de TQ-02 aTQ-01.

Al día siguiente el agua purificada restante en TQ-02 es recirculada a TQ-01 para volver a pasar por todo el tratamiento, con la excepción de que ahora la cloración se realizara a 1.5 ppm e inmediatamente se procederá a pasar por el tratamiento completo, debido a que el agua ya se encuentra purificada, la cloración a 1.5 ppm simplemente es para tener el cloro residual, debido a esto se puede mandar por el proceso completo, el tiempo de recirculación está dado por los parámetros antes mencionado. Sin embargo si el agua sobrante es poca, se procede a pasar el sobrante de TQ-02 a TQ-01 y combinar con agua cruda para la preparación de otro lote.



2.2.3 Proceso de la Planta Purificadora de Campus II.

En Campus II, el proceso de purificación de agua es más complejo debido a la naturaleza del agua. El agua cruda llega a la planta purificadora a través de la red de distribución de Campus II, esta a su vez es alimentada por agua potable por la delegación Iztapalapa, sin embargo el problema de la naturaleza del agua de Campus II radica en la cisterna ubicada debajo del Antiguo Edificio de Gobierno. El agua de Campus II tiene un color más oscuro que la de Campus I, por ello su tratamiento es más complejo.

Durante el llenado de TQ-01 para lograr una homogenización más efectiva se agrega el hipoclorito de sodio, mediante el movimiento del flujo causado por la operación de pretratamiento, en conjunto con el movimiento causado mientras cae el agua cruda se genera una mejor homogenización, la cantidad de hipoclorito de sodio agregada es la necesaria para la cantidad a preparar, el flujo de agua cruda se detiene cuando se ha llegado a la cantidad a preparar.

El tiempo de pretratamiento es mayor al de Campus uno, al igual para indicar el término de este se realiza prueba con ortotolidina, cuando se encuentre la concentración de cloro en 1.5 ppm se procede a colocar la planta en tratamiento completo.

La operación de tratamiento completo se realiza igual que en Campus uno, recirculación mediante el filtro de lecho profundo, filtro de carbón activado filtros pulidores, luz UV, Ozono, el fin del tratamiento se indica cuando el cloro residual sea 0 ppm y las propiedades organolépticas del agua purificada se encuentren en parámetros.

Un punto de interés en Campus II son las propiedades organolépticas, ya que debido a la naturaleza del agua, esta puede no presentar color ni olor, sin embargo el sabor se verá afectado, para poder considerar el lote de agua purificada completo no debe haber sabor en él, para ello el lote se debe dejar más tiempo en la fase de tratamiento completo. Una forma sencilla de mostrar esto se muestra en los tiempos de cada fase entre Campus I y II.

Tomando como base de cálculo 2600 L de agua cruda el tiempo de pretratamiento en Campus I es de aproximadamente una hora, por el contrario en Campus II es de aproximadamente cuatro horas. En la fase de tratamiento completo en Campus I el tiempo aproximado es de 3-4 horas, sin embargo en Campus II es de 8 horas. Teniendo para un total por lote de 2600 L un tiempo aproximado de 5 horas para Campus I, en contraparte en Campus II se tiene un tiempo



aproximado de 12 horas. El tiempo de producción de un lote de agua purificada en Campus II muestra la importancia de la naturaleza del agua y las propiedades organolépticas.

Una vez terminado el lote se pasa el agua purificada a TQ-02, al detener el paso de agua se agrega el bactericida grado alimenticio. Al día siguiente igual que en Campus I el sobrante se recircula a TQ-01 y se decide en función de la cantidad si se reajusta con cloro residual y se pasa por todo el proceso o se combina con agua cruda para iniciar la preparación de otro lote.

2.3 CAMBIOS REALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS.

2.3.1 Generalidades.

Durante el tiempo de operación de las plantas purificadoras se han presentado diferentes situaciones con la calidad del agua, estas situaciones son un claro ejemplo de porque se deben realizar cambios, no se puede tener un proceso fijo, un proceso que no cambie. Para poder obtener un producto de óptima calidad, sin tener deterioro de los equipos, deben existir diferentes alternativas en la operación de las plantas.

Dentro de las plantas purificadoras de la FESZ se realizaron cambio en la operación, la mayoría de ellas fueron en base a heurística durante la operación, como se mencionó antes cada Campus es diferente, por ello existen cambios aplicables en ambos Campus y cambios específicos, sin embargo sin importar esto cada cambio está justificado.

2.3.2 Cambios en la operación de la Planta Purificadora de Campus I.

En Campus I los cambios que se realizaron en la operación de la planta purificadora fueron en el orden de los tratamientos, cuando el agua cruda llegaba de una buena calidad se procedía al pretratamiento con hipoclorito de sodio, al tener el cloro en 1.5 ppm se cambia la orden a tratamiento completo, al tener el cloro en 0 ppm el agua se encontraba lista, en este momento se realizaban además pruebas de color, olor y sabor, si los tres parámetros se encontraban bien se procedía a pasar al tanque de alimentación TQ-02, por último paso se colocaba el bactericida grado alimenticio. Al día siguiente el agua restante era recirculada a TQ-01, donde se combinaba con el agua purificada que quedó en TQ-01, ya con toda el agua purificada contenida en TQ-01, se procedía a pasar el agua por el tratamiento completo agregando un residual de cloro de 1.5 ppm, debido a que a esta concentración de cloro el carbón activado no se daña y el agua ya se encuentra purificada de un día antes, una vez que el cloro se



encontraba en 0 ppm y las propiedades organolépticas se procedía a pasar a TQ-01. Un punto de interés en este cambio es que una vez que el agua se encontraba en TQ-02 no se le agregaba el bactericida grado alimenticio, ya que esta agua ya lo contenía del lote anterior, solo se ajustaba el faltante. Esta operación se realizaba con el fin de no mantener el agua estancada, a su vez en cuanto a propiedades organolépticas se le da una frescura agradable al agua.

El cambio realizado en los tiempos de cada fase (pretratamiento y tratamiento) se realizó con el fin de garantizar un buen mezclado del volumen de agua, la tasa de flujo en la recirculación era la única agitación disponible, por ello entre mayor tiempo de recirculación se lograba un mejor mezclado de cloro. Así la lectura a la hora de muestrear era homogénea, con esto se podía muestrear a la salida de la recirculación y no solo en el agua contenida en el tanque, en la fase de tratamiento completo también se podía muestrear en la llenadora de garrafrones.

Campus I muestra una gran diferencia en cuanto a Campus II por la naturaleza del agua, esto se puede ver en muchos factores, uno de ellos es el tiempo de retrolavado de los filtros expresado mediante el volumen necesario de agua para lograr la limpieza del filtro, cuando la calidad del agua de Campus I era buena el volumen de agua gastado en retrolavado del filtro de lecho profundo (FL-01) era de aproximadamente el 6 % del volumen de agua a preparar, el volumen necesario para el retrolavado del filtro de carbón activado (FC-01) era de aproximadamente el 2% del volumen preparado, de forma resumida se puede decir que cuando la calidad de agua de Campus I era buena el volumen gastado en la operación de retrolavado de los filtros era de 8%, en contraparte cuando la calidad no era buena pero aún tratable el gasto para FL-01 era de 8% y para FC-01 2%. El parámetro para decidir la calidad del agua se basaba en propiedades organolépticas, cuando la calidad del agua era muy mal se desechaba y se volvía a llenar TQ-01.

En algunos casos la preparación del lote se iniciaba tarde, si el tiempo lo permitía se ponía a recircular el agua por FL-01, sin embargo si no se tenía el tiempo necesario el cloro se agregaba y se dejaba difundir, al otro día se revisaba la concentración de cloro y se procedía a agregar un ajuste e iniciar el pretratamiento, después se continuaba con el procedimiento normal.



2.3.3 Cambios en la operación de la Planta Purificadora de Campus II.

En Campus II la naturaleza del agua hizo obligatorio el cambio en el proceso de purificación, al igual que en Campus I, en cuanto a la homogenización para garantizar un buen mezclado del cloro en este Campus en particular se requirió más tiempo en comparación con Campus uno, al igual los ajustes de cloración.

Campus II dentro de su estructura cuenta con canchas deportivas, al igual que otros servicios derivados de actividades deportivas, por esto el consumo de agua purificada es mayor al de Campus I, esto se muestra reflejado en el tamaño de cada lote de agua purificada en Campus II, por ello aunado a la calidad del agua cruda recibida a la planta purificadora el cambio en el orden de los tratamientos, en conjunto con la duración de cada fase del proceso es mayor.

Para iniciar con la preparación de un lote se debe llenar TQ-01 de agua cruda, como paso inicial se deja llenar un poco TQ-01 para observar la calidad del agua, si esta es buena se procede a continuar, mientras se llena TQ-01 se agrega el hipoclorito de sodio y se pone a circular el agua por el filtro de lecho profundo FL-01, al llegar el volumen en TQ-01 al tamaño del lote se cierra el flujo de agua cruda. Este cambio es uno de los más importantes en la planta de Campus II, la cantidad de cloro es la necesaria para el tamaño del lote, lo único que se hace es agilizar el mezclado poniendo la filtración al mismo tiempo que el llenado. El otro cambio importante en Campus II dentro de la fase de pretratamiento es el tiempo de este, para poder terminar el pretratamiento además de considerar la concentración de cloro de 1.5 ppm, se debe considerar la clarificación de esta, para poder proceder a la fase de tratamiento completo en Campus II es agua debe ser clara y transparente, debido a la calidad inicial del agua.

Sin embargo la calidad inicial también se debe considerar en otros cambios, algunas veces el agua llegaba con mucho color, para retirar este color antes de iniciar el pretratamiento se realizaba el pre-pretratamiento, el cual consistía en recircular el agua por todo el tratamiento sin haber sido clorada, de esta forma el carbón activado no se dañaba, esta operación servía para retirar un poco el color del agua ya que la materia orgánica era eliminada por la luz UV y el ozono, al igual que la materia inorgánica por el filtro de lecho profundo, los filtros pulidores, el filtro de carbón activado retira el color y ajusta algunas de las propiedades del agua. Otro cambio aplicable a la calidad inicial del agua era agregar un poco del bactericida grado alimenticio al terminar el llenado de TQ-01, sin embargo este cambio solo se podía realizar



cuando el agua cruda no se iba a poner a circular en la fase de pretratamiento, debido a la espuma generada por este.

En el caso del retrolavado de los filtros de lecho profundo y carbón activado, en Campus II era mayor el volumen requerido para su limpieza, a su vez después de cierto tiempo para no perder eficiencia en el tiempo de filtración se realizaba más de un retrolavado por filtro, sin embargo el volumen de agua utilizado en los retrolavados de ambos filtros no era mayor al 15 % del tamaño del lote.

2.4 OBSERVACIONES DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

En los puntos 2.1, 2.2, 2.3 se habló de todo lo relacionado con la infraestructura de las plantas purificadoras, se habló del proceso de purificación y de los cambios en la operación realizados durante el último año, en cuestión de la operación de las plantas purificadoras ya se mencionó casi todo, sin embargo aún faltan detalles los cuales se mencionarán en este apartado.

2.4.1 Planta Purificadora de Campus I.

En cuanto a la operación de la planta purificadora de Campus I ya se conoce el proceso y los cambios a este, realizados mediante la operación de la planta, para mostrar de manera más práctica la operación se tienen las siguientes figuras.



Figura 36. Muestra la Planta Purificadora de Campus I en la fase de Tratamiento Completo.



Figura 37. Muestra la Planta Purificadora de Campus I en la fase de Pretratamiento.



Figura 38. Muestra el paso de agua por la lámpara de luz UV de la Planta Purificadora de Campus I.



Figura 39. Tubo Venturi para contacto con el ozono en la Planta Purificadora de Campus I.

2.4.2 Planta Purificadora de Campus II.

En este punto ya se conocen las variaciones en el proceso, localización de la planta y cambios realizados en la operación de la planta purificadora de Campus II, para poder tener una visión más práctica se muestran las siguientes figuras.



Figura 40. Muestra la Planta Purificadora de Campus II en la fase de Tratamiento Completo.



Figura 41. Muestra la Planta Purificadora de Campus II en la fase de Tratamiento Completo.

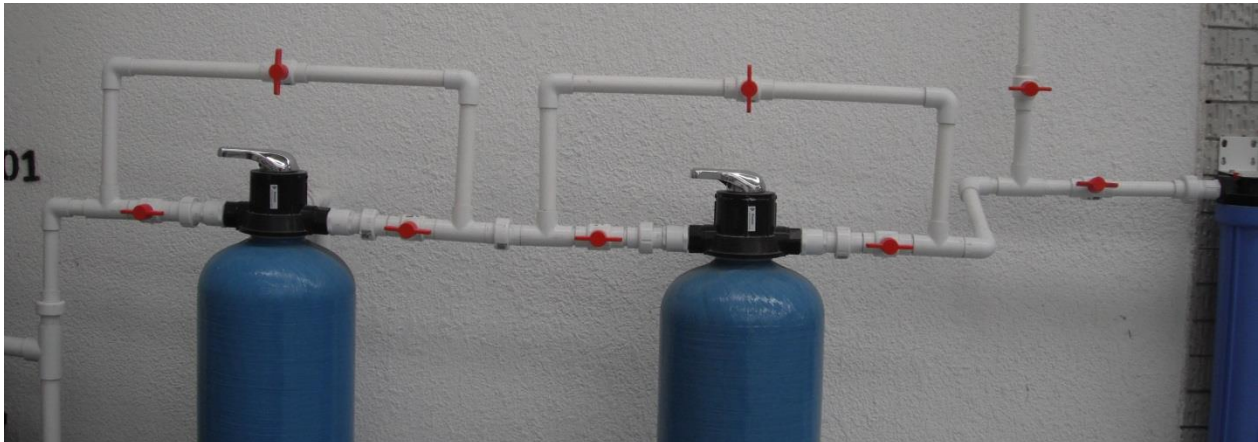


Figura 42. Muestra el arreglo de los filtros FL-01 y FC-01 en la fase de Tratamiento Completo.



Figura 43. Muestra las operaciones Filtrado, Retrolavado y Reacomodo de los filtros

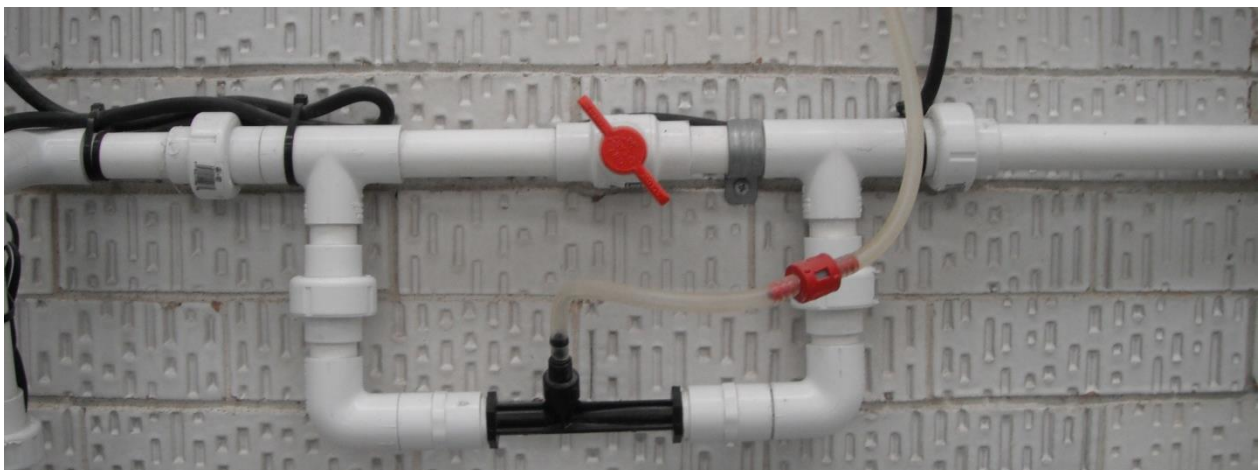


Figura 44. Tubo Venturi para contacto con el ozono en la Planta Purificadora de Campus II.



2.4.3 Mantenimiento Correctivo y Preventivo en las Plantas.

Para poder tener agua purificada de calidad no es suficiente una operación correcta en planta, se necesita en conjunto mantenimiento correctivo y preventivo en las plantas y las líneas de distribución. De manera general el mantenimiento de las plantas purificadoras consiste en varios factores.

2.4.3.1 Limpieza General en Planta.

Debido a que las plantas purificadoras son un espacio confinado para la producción de agua purificada, la limpieza implica un factor importante, por ello diario se realiza limpieza de suelos, limpieza superficial de tanques, equipos y tuberías.

2.4.3.2 Limpieza Interna de Equipos.

Los equipos que conforman las plantas purificadoras necesitan limpieza interna cada cierto tiempo, la limpieza de los filtros se realiza en la preparación de cada lote mediante la operación de retrolavado, la luz UV y el ozono están unidos a la tubería por ello su limpieza se realiza en conjunto con la limpieza de tuberías.

Los filtros pulidores se limpian cada quince días debido a que la materia retenida en la filtración afecta su eficiencia, para ello se desmonta la carcasa y se retira el cartucho, la carcasa se limpia con agua purificada, después se monta la carcasa en la línea sin el cartucho, esto con el fin de tener un flujo agua constante en la línea, se limpia el cartucho con agua a presión hasta retirar toda la materia filtrada, lo cual se observa en el color causado por esta, después de limpiar los tres cartuchos se desmontan las carcasas y se colocan los cartuchos. Esto se realiza con los tres filtros pulidores, a pesar de ser filtros reutilizables después de cierto tiempo se necesitan cambiar debido al gasto, causado por la naturaleza del agua.

Los tanques de pretratamiento y de alimentación son limpiados por dentro, para esto se desmontan de las líneas de la planta, estos son lavados con jabón, cloro y enjuagados con agua purificada, esto se realiza cada cierto tiempo, el lapso de tiempo es diferente en cada Campus y está dado por la naturaleza del agua cruda alimentada.



2.4.3.3 Limpieza de Tuberías.

La limpieza de tuberías es la tercer parte de la limpieza general que se requiere en planta, consiste en dos partes, un tratamiento correctivo y un tratamiento preventivo, en el primer caso se hace correr agua con cloro en exceso por toda la tubería durante un cierto tiempo, el tratamiento preventivo consiste en hacer correr agua con el bactericida grado alimenticio por las tuberías durante un cierto tiempo.

2.4.4 Mantenimiento Correctivo y Preventivo en los Bebederos.

En el área de bebederos se deben considerar dos factores diferentes pero muy importantes, el primero son las líneas que alimentan a los bebederos y el segundo los bebederos.

2.4.4.1 Líneas de Alimentación.

Las líneas de alimentación a bebederos son las tuberías distribuidas alrededor de los Campus, cuyo inicio son las plantas purificadoras, estas líneas son de un polímero, debido a la naturaleza geológica del terreno donde se encuentra edificada la FESZ, gracias a ser de polímero los desniveles generados por el hundimiento del terreno no afectan las tuberías, el mantenimiento preventivo y correctivo de las líneas consiste en la limpieza de estas, la limpieza se realiza de manera similar a la limpieza de tuberías.

Se prepara en el tanque de alimentación agua con cloro en exceso esta se hace circular por las líneas de alimentación, en cada bebedero se abren las dos válvulas que lo conforman, se deja fluir una cantidad grande de agua de cada bebedero, de esta forma los ramales que forman las líneas de distribución entran en contacto con el agua clorada, logrando la desinfección de las líneas. La segunda parte de esta limpieza es igual que la anterior sin embargo el agua alimentada es agua con el bactericida grado alimenticio, se realiza lo mismo que la etapa anterior. Después de haber realizado esto se hace circular agua purificada por la línea de distribución y se purga cada bebedero hasta que el agua ya no tenga sabor a cloro, garantizando así que el agua contenida de nuevo en la línea de distribución es agua purificada para consumo humano.



2.4.4.2 Bebederos.

El agua purificada es suministrada a los bebederos, a esos se les realiza limpieza general dos o tres veces por semana de manera rigurosa, sin embargo diario se da una limpieza no tan rigurosa, a su vez cada semana se desinfectan las desembocaduras de agua de ambas válvulas que conforman el bebedero, para la desinfección se usa el bactericida grado alimenticio utilizado en todo el proceso. En caso de haber fuga en un bebedero se retira la tapa de este y se cierra la válvula de paso para cortar el suministro en ese bebedero sin afectar los demás de la red.

Los trabajos mencionados en las secciones 2.4.4.1 y 2.4.4.2 se realizan con el fin de garantizar la calidad del producto, en este caso el agua purificada suministrada a los bebederos, el mantenimiento de los bebederos como son el lavado completo, el cambio de válvulas, reparación de fugas, entre otros, lo realiza el área de obras de cada Campus.



CAPÍTULO III.

OPTIMIZACIÓN AL PROCESO DE PURIFICACIÓN DE AGUA.

3.1 OBSERVACIONES DEL PROCESO ANTERIOR.

En base al capítulo anterior y recordando la importancia de la optimización del proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ se pueden hacer notar algunas observaciones a considerar en la optimización.

3.1.1 Vida útil de los tanques de pretratamiento y alimentación (TQ-01 y TQ-02).

Los tanques TQ-01 y TQ-02 de cada una de las plantas purificadoras son iguales, están fabricados en polietileno de alta densidad, son de color blanco, están aprobados por la FDA para el contacto con alimentos, sus dimensiones son de 187 cm de diámetro por 215 cm de altura, con capacidad de 5000 L ^(1A). La vida útil de estos tanques es variada ya que el proveedor da una garantía sin embargo esta puede variar en función de muchos factores. Se puede considerar que de los cuatro tanques que conforman las plantas purificadoras de la FESZ los tanques de pretratamiento (TQ-01) de ambas plantas presentan más deterioro debido al contacto con agua cruda, en contraparte los tanques de alimentación a bebederos (TQ-02) presentan un deterioro muy pequeño, debido al contacto con el producto terminado. Considerando estos factores se cambiaron los tanques de pretratamiento (TQ-01) por los tanques de alimentación (TQ-02) ya que el daño de TQ-02 por el contacto con el agua purificada es mínimo, a su vez se colocaron tanques de alimentación nuevos. De esta forma los tanques de pretratamiento (TQ-01) tienen más tiempo de vida útil y los tanques de alimentación a bebederos (TQ-02) los cuales se encuentran en contacto con el producto terminado en este caso el agua purificada son completamente nuevos.



Figura 45. Muestra los tanques de pretratamiento TQ-01 de las plantas purificadoras.

3.1.2 Vida útil del medio filtrante (arena) del filtro de lecho profundo (FL-01).

Los filtros de lecho profundo (FL-01), están formados por cuatro componentes. El primero es el contenedor fabricado en fibra de vidrio, color azul, con una garantía de diez años, sus dimensiones son 25.4 cm de diámetro por 137.16 cm de altura (10´x 54´) y un volumen de 59130 cm^3 (2.19 ft^3) ^(1B). El segundo es el medio filtrante, la arena, su vida útil es grande debido a su función y naturaleza, la filtración por arena es conocida como filtración por lecho profundo o filtración profunda, este término se le da debido a la dimensión del lecho. Los últimos dos componentes de los filtros de lecho profundo son un tubo de pvc hidráulico con dispersor y una válvula manual de tres vías con dispersor, estos dos componentes son los encargados de realizar la distribución de agua y el cambio de operación del filtro.

Los filtros FL-01 cuentan con tres operaciones filtrado, retrolavado y enjuague rápido, la operación filtrado consiste en pasar el agua por el medio filtrante, el retrolavado consiste en hacer circular agua en sentido contrario al filtrado a una mayor velocidad con el fin de generar un lecho fluidizado y retirar la materia adherida en el medio filtrante, la última operación enjuague rápido consiste en hacer pasar agua en sentido de la operación de filtración con el fin de reacomodar el lecho, el agua gastada en las operaciones de retrolavado y enjuague rápido es desechada.

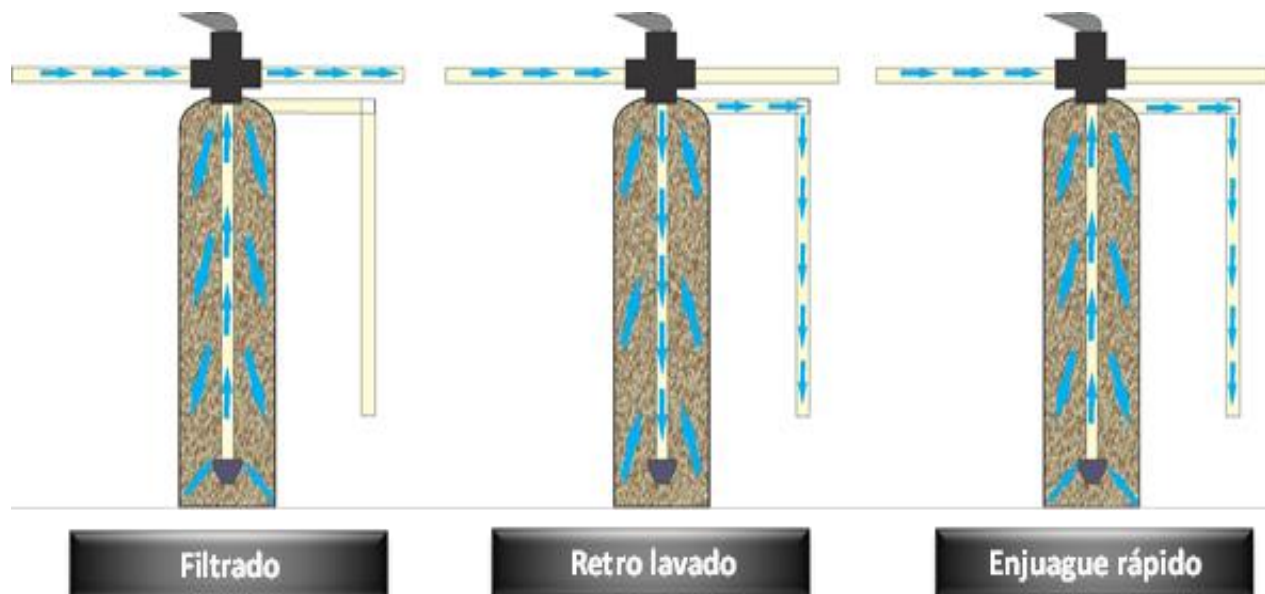


Figura 46. Muestra la operación filtrado, retrolavado y enjuague rápido del filtro FL-01.



3.1.3 Vida útil del Carbón Activado del filtro (FC-01).

Los filtros de carbón activado FC-01, se encuentran formados por cuatro componentes, de los cuales tres son los mismos que los filtros de lecho profundo, el contenedor de fibra de vidrio, color azul, la válvula de tres vías y el tubo de pvc hidráulico con dispersor. La diferencia radica en el medio filtrante contenido, en este caso es carbón activado granular (GAC), cuya función es quitar color, olor, sabor y cloro residual, además de dar frescura al agua ^(1C). El funcionamiento de este consiste en el área de contacto formada por la activación del carbón, dicha área de contacto es donde se lleva a cabo el fenómeno de adsorción, para determinar si es necesario remplazar o reactivar el carbón activado de los filtros se deben considerar varios factores. La naturaleza del carbón activado es un factor ya que soporta la abrasión dinámica causada por los movimientos de las tres operaciones del filtro ^(1C), otro factor a considerar es la calidad del agua producida, si esta presenta color, olor o sabor es momento de cambiarlo ^(1C). No existe un criterio o momento exacto para determinar cuando el carbón activado ya no es eficiente, ya que su vida útil depende de la naturaleza del agua a purificar. Sin embargo la solución es cambiar el carbón activado o reactivar el carbón contenido en el filtro.



Figura 47. Muestra la operación filtrado, retrolavado y enjuague rápido del filtro FC-01.



3.1.4 Vida útil de los filtros pulidores (FP-01, FP-02, FP-03).

Los filtros pulidores FP-01, FP-02 y FP-03 de ambas plantas purificadoras, están formados por una carcasa y un cartucho, el cartucho se encuentra dentro de la carcasa, su función es retener partículas de tamaño menor a 5 micras. Las dimensiones del cartucho son de 6.35 cm de ancho por 50.8 cm de altura (2.5''x20''), son filtros de tipo plisados construidos en poliéster sujetos a un núcleo central de polipropileno ^(1D). El cambio de los filtros pulidores no es necesario en este momento, la carcasa tiene una gran vida útil, generalmente lo que se reemplaza son los cartuchos, sin embargo en diciembre de 2013 fueron cambiados los seis cartuchos de los filtros pulidores.



Figura 48. Muestra la carcasa, los cartuchos usados y nuevos de los filtros pulidores.

3.1.5 Vida útil de la lámpara de luz UV (BA-01).

La lámpara de luz UV BA-01, se encuentra conectada a la línea de proceso mediante dos conexiones, la luz UV consiste en una lámpara de luz UV con estructura de metal, conexiones de PVC y envolvente en acero inoxidable tipo 304 ^(1E). El agua fluye dentro de la estructura de metal para estar en contacto con el efecto germicida emitido por la luz UV, el equipo está diseñado para un flujo de 30 LPM, soporta caídas de presión de 0.2 Kg/cm², sus dimensiones son 95 cm de largo, 13 cm de ancho y 18 cm de altura, las conexiones de PVC son de 1.9 cm (3/4´´) ^(1E).

La vida útil de la lámpara de luz UV es afectada por varios parámetros, los fabricantes recomiendan cambiarla a los 18 meses o 10,000 horas de operación, a su vez cuando el tono morado claro de la lámpara cambie o se encuentren quemados los extremos, es momento de cambiarla, este parámetro no es específico ya que la lámpara puede ya no emitir la radiación causante del efecto germicida y encontrarse prendida. Realizando un cálculo estimado de las horas de servicio de las lámparas de luz UV, se llega a la conclusión que no es necesario cambiar las lámparas de luz UV.



Figura 49. Muestra las lámparas de Luz UV de las plantas purificadoras.

3.1.6 Vida útil del generador de Ozono (BA-02).

El generador de Ozono BA-02, de las plantas purificadoras, está formado por un generador de ozono de acero inoxidable, cuenta con una válvula ventury de 3/4 ´´, una tarjeta electrónica, produce 1.2 g/h de ozono, está diseñado para un flujo de 38 LPM, este se inyecta mediante el vacío generado por el tubo ventury en el eyector, esto permite inyectar el ozono en el agua a presión ^(1F). La vida útil de estos equipos está determinada por el tiempo que se puede generar ozono, el mantenimiento al generador de ozono debe realizarse cada año, para saber si aún está generando ozono se puede observar el sabor y olor de ozono en el agua purificada, a su vez se debe verificar el fusible que genera el voltaje, ya que muchas veces solo se debe cambiar el fusible y no todo el generador de ozono. Se puede concluir en base a estos parámetros que no es necesario cambiar el generador de ozono.



Figura 50. Muestra los generadores de ozono BA-01 de ambas plantas purificadoras.

3.1.7 Vida útil de los sistemas hidroneumáticos (GA-01, GA-02).

Cada planta purificadora cuenta con dos sistemas hidroneumáticos, uno para mover el flujo de agua durante la operación de planta (GA-01) y uno de alimentación a bebederos (GA-02).

Los sistemas hidroneumáticos GA-01 están formados por tres componentes, un tanque precargado de diafragma, una bomba de superficie tipo JET y un controlador de presión. El tanque precargado se conecta al tanque TQ-01, en la parte superior se conecta la bomba JET,



en la parte superior de esta se encuentra el controlador de presión el cual enciende y apaga la bomba cuando cae la presión, las dimensiones del tanque precargado son 39.06 cm de diámetro por 80.34 cm de altura (15.38''x31.63''), con capacidad para 227 L (60 Gal), recubierto con acero de alta resistencia, el tanque de almacenamiento es de polipropileno, el cual conserva el agua sin olor ni sabor ^(1G), el rango de presiones de operación varía en función de la etapa del proceso que se esté manejando, por ello también variara la tasa de flujo, la bomba JET tiene potencia de 1 HP, la succión y la descarga tiene un diámetro de 1'' y un peso de 10.3 Kg ^(1H).

Los sistemas hidroneumáticos GA-02, están formados por tres componentes, el tanque precargado de diafragma, la bomba de superficie JET y el controlador de presión, sin embargo lo único diferente al hidroneumático GA-01 es el tanque precargado. Para GA-02 el tanque precargado tiene 60.96 cm de diámetro por 82.55 cm de altura (24''x 32.5'') con capacidad para 454 L (120 Gal), su cubierta exterior es de acero al carbón de alto calibre, la membrana está fabricada en vinilo sin costuras ^(1G).

La vida útil de los tanques y las bombas JET se puede observar en varios factores, como son la capacidad de precargado del tanque, la tasa de flujo, caídas y falta de presión en planta y líneas de distribución, entre otros. Considerando estos factores se puede concluir que no es necesario cambiar los tanques o las bombas JET que conforman los sistemas hidroneumáticos.



Figura 51. Muestra los sistemas hidroneumáticos GA-01 y GA-02 de las plantas purificadoras.

3.1.8 Naturaleza del agua cruda alimentada a cada Campus.

El agua cruda alimentada a cada planta purificadora es un factor importante a considerar en la optimización del proceso de purificación de agua, la calidad de la materia prima en este caso el agua potable suministrada por la delegación Iztapalapa está dentro de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994, en Campus I el agua llega directamente de la línea pública por ello el suministro y la calidad son constantes, Campus II muestra una situación diferente, el agua es suministrada y almacenada en la cisterna ubicada debajo del Antiguo Edificio de Gobierno, debido a este almacenamiento de paso la calidad del agua de Campus II es menor a la de Campus I. Los fabricantes de plantas purificadoras recomiendan alimentar agua potable dentro de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994 ^(1F). Sin embargo a pesar de que la delegación Iztapalapa suministre agua potable bajo los parámetros de dicha norma en Campus II el almacenamiento de paso en la cisterna hace bajar la calidad del agua. Dentro de la optimización se consideró la calidad del agua, haciendo un enfoque diferente en Campus II debido a lo antes mencionado.



Muestreo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	Cl- (ppm)	Color	Olor	Sabor
Campus I	0.0548	7.6	300	200	0	Azul verdoso	Sin olor	Sin sabor
Campus II	0.0548	7.6	300	200	0	Café verdoso	Sin olor	Sin sabor

Tabla 18. Muestra los parámetros físicos y químicos del agua cruda alimentada a cada Planta

3.2 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS EXISTENTES.

En la sección anterior se describieron con detalle los equipos que conforman las plantas purificadoras, a su vez se evaluaron diversos factores para determinar cuáles equipos necesitan mantenimiento o ser reemplazados. Para poder comprender de manera directa cada equipo se evaluaron de manera individual y en conjunto, por ejemplo los filtros FL-01 Y FC-01 se evaluaron por separado considerando la vida útil del medio filtrante, su eficiencia actual, y en conjunto como parte del proceso ya que FC-01 trabaja en función de FL-01, por ejemplo durante el pretratamiento (cloración), se coloca una cantidad de cloro por encima del breakpoint haciéndose circular por FL-01, cuando el agua se encuentra en el breakpoint de cloro (1.5 ppm) entra en operación FC-01. Este ejemplo muestra de forma clara como se evaluaron los equipos y el proceso. Con ayuda de esta evaluación se determinó dar mantenimiento o reemplazar ciertos equipos.

3.2.1 Tanques de pretratamiento y alimentación TQ-01 y TQ-02.

Como se describió anteriormente los tanques de pretratamiento (TQ-01) de ambas plantas purificadoras presentan mayor deterioro por el contacto con el agua cruda, este deterioro se expresa como una coloración en el tanque, es cierto que esta coloración puede quitarse con el lavado periódico, sin embargo con el paso del tiempo a pesar de realizar lavados periódicos la coloración se ha impregnado en el tanque.

Los tanques de alimentación a bebederos (TQ-02), no presentan un daño por coloración, debido a que estos entran en contacto con el producto terminado, el agua purificada tiene una calidad superior al agua cruda, por ello el deterioro por color no está presente en ellos.

Otro punto a evaluar es la presencia de fugas, ya que estas pueden reducir la calidad de la materia prima y del producto.

Con estos factores de determino retirar de servicio los tanques de pretratamiento TQ-01, los cuales son reemplazados por los actuales tanques de alimentación, a su vez en el área de alimentación a bebederos se colocaron tanques nuevos, los cuales son iguales a los tanques actuales que se encuentran en las plantas purificadoras descritos en la sección 3.1.1, así de los cuatro tanques que conforman las plantas purificadoras, dos fueron retirados de servicio (TQ-01), dos fueron colocados en otra área (TQ-02 a TQ-01) y dos fueron sustituidos por tanques nuevos (TQ-02).



Figura 52. Muestra los Tanques TQ-01 y TQ-02 de la planta purificadora de Campus I.



Figura 53. Muestra los Tanques TQ-01 y TQ-02 de la planta purificadora de Campus II.

3.2.2 Filtros de Lecho Profundo (FL-01).

Los filtros de lecho profundo de las plantas purificadoras están conformados por varias partes, en la sección 3.1.2, se habló de estas partes, para conocer y poder evaluar cada pieza se retiró el filtro la línea de proceso, se desmonto la válvula, se retiró toda el agua y el medio filtrante

contenido en este, por último se retiraron el tubo de PVC contenido dentro del filtro al igual que los dispersores. Esta operación se muestra a continuación.

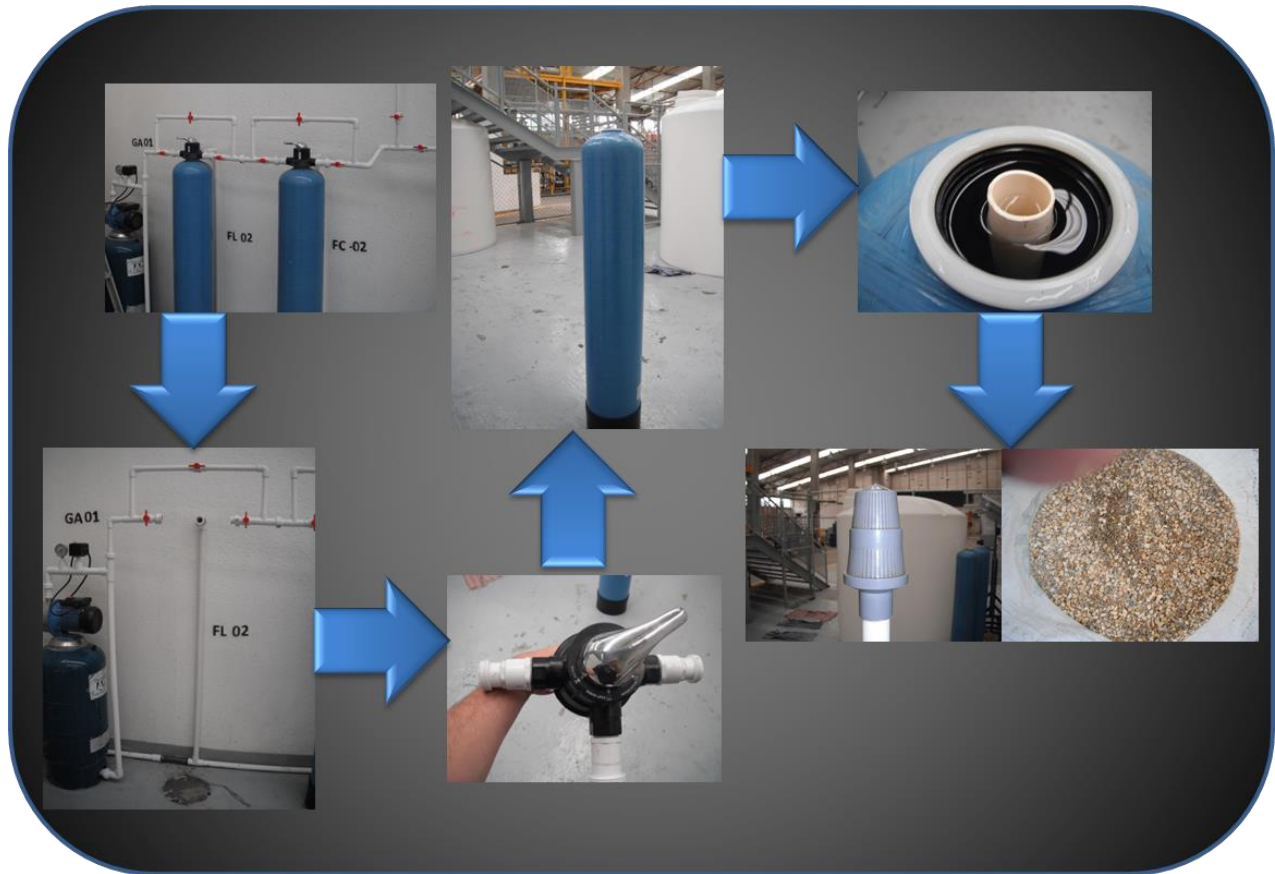


Figura 54. Muestra los pasos para desmontar el filtro de lecho profundo FL-01.

Evaluando las partes que conforman el filtro de lecho profundo FL-01, se observó que los dispersores, el tubo de PVC, la válvula de tres vías y el contenedor de fibra de vidrio, aún se encuentra en óptimas condiciones, la válvula de tres vías encargada de cambiar las diferentes operaciones del filtro no presenta fallas, los dispersores del tubo no presentan fracturas o agujeros por los cuales se pudiera escapar el medio filtrante, el contenedor de fibra de vidrio no presenta fugas o fracturas en su estructura. Estas partes se pueden reutilizar ya que se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo en la filtración por lecho profundo lo más importante es el medio filtrante, en este caso FL-01 tenía en su contenido arena silica y gravas silicas de diferentes tamices, este medio filtrante por su naturaleza tiene un gran vida útil además de ser muy económico, en el caso del contenido de FL-01 se puede reutilizar después de ser lavado y desinfectado ⁽¹⁾.

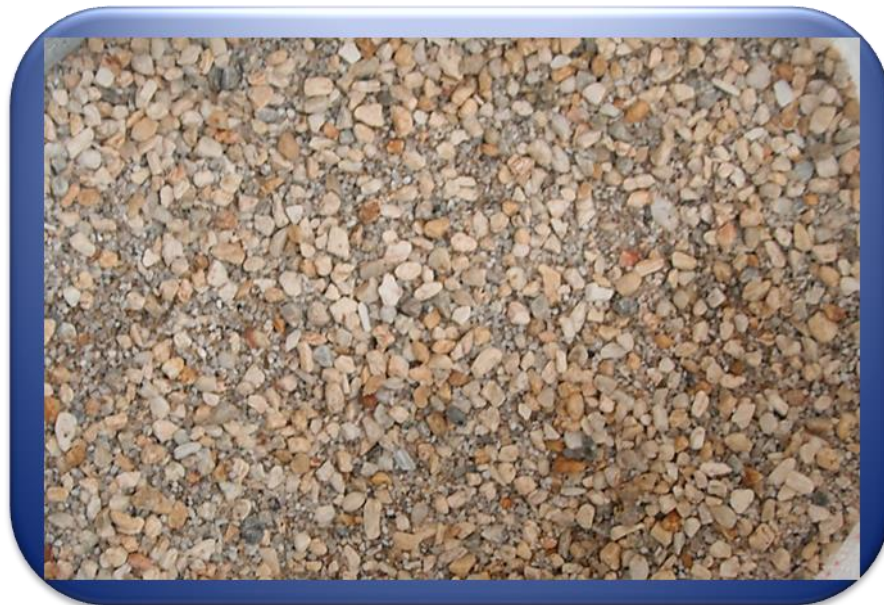


Figura 55. Muestra los diferentes medios filtrantes conformaban el filtro de lecho profundo FL-01.

Para optimizar el proceso es necesario cambiar el medio filtrante del filtro de lecho profundo, sin embargo al cambiar la arena silica y las gravas silicas no se lograría ningún cambio significativo en el proceso, la operación y el producto terminado. Debido a esto se consideró colocar en el filtro de lecho profundo (FL-01) un medio multicama formado por diferentes medios filtrantes, sin embargo la elección de estos no fue nada fácil, para poder considerarse un filtro de lecho profundo la cama debe tener una profundidad, esta debe contener arena silica, a su vez para poder soportar la cama de arena se necesita una cama de grava silica, para poder ser un filtro multicama se consideró agregar a esto otro medio filtrante además de la arena y grava silica.

Desde el inicio de este trabajo se ha mencionado la premisa de que el agua es semejante más no igual en diferentes lugares, como ejemplo de esto se tienen las diferentes aguas alimentadas a cada campus, en función a esto se revisó la literatura en conjunto con información de fabricantes de equipos y plantas purificadoras sobre los diferentes medios filtrantes existentes.

El medio filtrante seleccionado para completar el filtro multicama de lecho profundo fue zeolita verde, este medio filtrante es conocido como zeolita verde, arena verde, sin embargo el nombre común es el de la marca que lo comercializa GREENSAND PLUS (GSP), existen muchas compañías que lo distribuyen cada una tiene un nombre particular, sin embargo el más conocido es el de la marca que se utilizó GREENSAND PLUS (GSP). Este medio filtrante es una zeolita perteneciente al grupo de los aluminosilicatos, formada por diferentes compuestos



como la arena silica, dióxido de manganeso entre otros ⁽¹⁾. Es un medio filtrante utilizado para la remoción de fierro y manganeso en solución ⁽²⁾, además de retirar sulfuro de hidrogeno y arsénico del agua ⁽¹⁾. Debido a su composición puede ser utilizada en aguas con bajo contenido de sílice, turbidez debida a solidos (TDS) y dureza, soporta una alta presión con lo cual permite largos plazos entre retrolavados ⁽¹⁾. GSP funciona mediante un mecanismo de adsorción, sin embargo se clasifica como un medio filtrante y no como uno de intercambio iónico, esto debido a su naturaleza, fácil manejo, efectividad y regeneración. La función principal de GSP es eliminar fierro y manganeso disueltos, los cuales dan color al agua, además de eliminar sulfuro de hidrogeno o ácido sulfhídrico, causante del famoso olor a huevo podrido en las aguas potables, en conjunto GSP ayuda a reducir el pH del agua a tratar, además de ser regenerada mediante permanganato de potasio o cloro.

GSP es el medio filtrante seleccionado para completar el filtro multicama de lecho profundo debido a la calidad del agua suministrada por la delegación Iztapalapa a los Campus que conforman la FESZ, ya que el color café presentado en el agua es en su mayoría causado por fierro y manganeso, el pH del agua se encuentra entre 7.4 y 7.6, además de su fácil regeneración con cloro la cual facilita la operación durante la cloración, con esto se puede justificar el uso de GSP como medio filtrante.

El filtro multicama de lecho profundo se conformó por tres medios filtrantes, en la parte superior arena silica, en la cama intermedia GSP y en el fondo grava silica de tres tamices diferentes, GSP pide para retrolavados una expansión del 40% de la cama esto con el fin de que el retrolavado sea eficiente ^(1J).

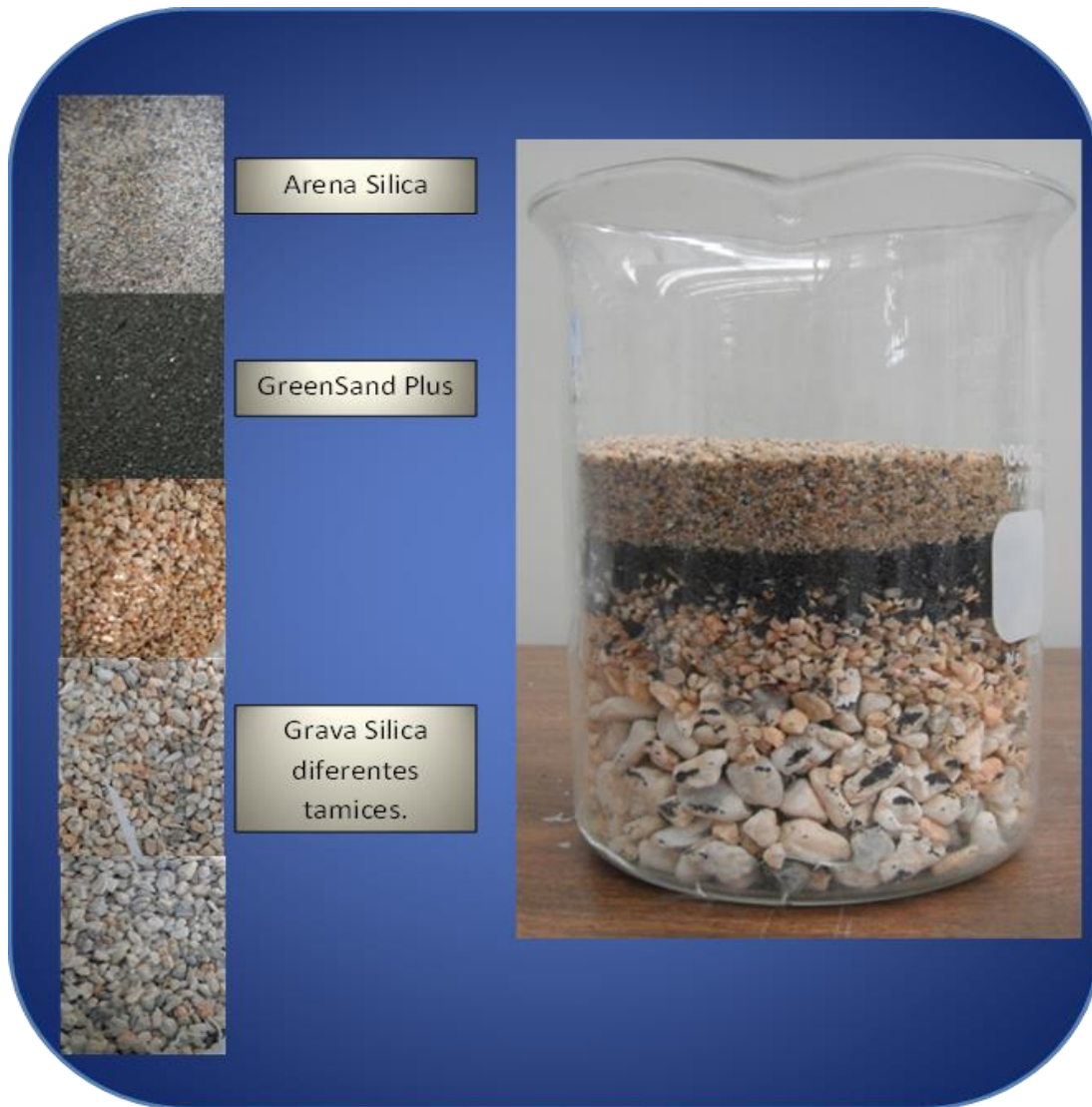


Figura 56. Muestra los diferentes medios filtrantes que conforman el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01.

Para poder colocar el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01, se tomo una decisión importante, la cual tambien tiene que ver de manera directa con la optimización del proceso, los anteriores contenedores de fibra de vidrio de los filtros FL-01 de cada campus tenian una dimensión de 10´x 54´´ y un volúmen de 2.19 ft³, de este 1.5 ft³ eran para el medio filtrante ^(1K), considerando esto dentro de la optimización para el nuevo filtro multicama de lecho profundo de ambas plantas se consideró un contenedor de fibra de vidrio de 13´x 54´´ y un volúmen de 3.68 ft³, del cual 2.5 ft³ son para el medio filtrante ^(1K).



Con un contenedor mayor y una mayor cantidad de medio filtrante la calidad del producto terminado será mayor que con uno de menor tamaño y con menor medio filtrante, a su vez no se necesita adecuar la tubería ya que el contenedor tiene la misma altura y las mismas conexiones que el anterior. El volumen de medio filtrante de 2.5 ft^3 permite colocar con perfecto espacio libre los medios que conforman el filtro multicapa de lecho profundo, cabe recordar que este filtro contiene GSP, por ello se debe dejar el espacio necesario para lograr la expansión del lecho durante los retrolavado.

El nuevo filtro multicapa de lecho profundo FL-01 de ambas plantas purificadoras contiene 0.5 ft^3 de arena silica, 0.5 ft^3 de GSP y como soporte 1.5 ft^3 de gravas silicas de tres diferentes tamices, en el caso de las gravas el volumen del tamiz varia ya que estas solo dan soporte a los medio filtrantes de la parte superior.

Con este nuevo filtro multicapa de lecho profundo se logro reducir los tiempos de operación al igual que aumentar la calidad del agua, dentro de las funciones de este nuevo filtro multicapa de lecho profundo se encuentra la reducción de pH desde 7.4 o 7.6 con el que llega la materia prima hasta un pH de 7.0 con el cual sale el producto terminado, otra función en cuanto a la calidad del producto es la remoción de color y olor ya que el agua despues del paso por dicho filtro reduce un poco su color, se sabe que el agua no tiene color sin embargo en grandes cantidad debido a sus propiedades debe mostrar un cierto tono azulado, por ultimo una ventaja más de este nuevo filtro multicapa de lecho profundo es la reducción en el tiempo de preparación del lote logrando producir en Campus II un lote de agua purificada de 1300 L en tres horas y media en comparación con las seis a ocho horas que tardaria en producirse el mismo lote con el anterior filtro de lecho profundo.



Figura 57. Muestra el nuevo filtro multicapa de lecho profundo FL-01 en Campus I.



Figura 58. Muestra el nuevo filtro multicapa de lecho profundo FL-01 en Campus II.



3.2.3 FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO (FC-01).

Otro equipo al cual se le dio mantenimiento fue el filtro de carbón activado FC-01, al igual que el filtro de lecho profundo se desmonto de la línea y se revisó cada parte, en este caso el carbón activado no se puede reutilizar debido a que presenta calcificaciones debidas al uso ⁽³⁾.

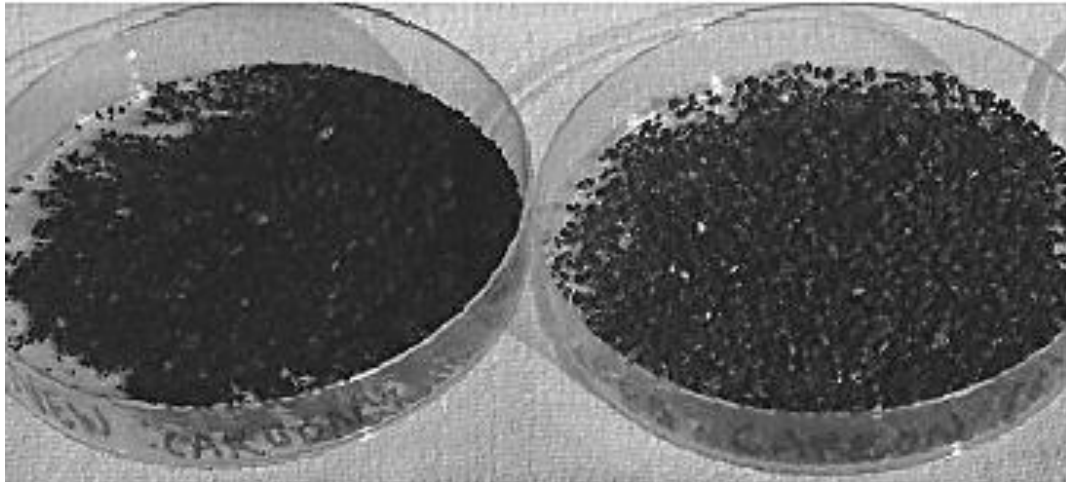


Figura 59. Carbón activado nuevo y carbón activado usado, donde se muestra la presencia de calcificaciones ⁽³⁾.

Las demás partes del filtro, el dispersor, el tubo de PVC y la valvula de tres vías se encuentran en optimas condiciones, sin embargo se decidio usar partes nuevas a excepción de la valvula de tres vías la cual se lavo y desinfecto. Los fabricantes de plantas purificadoras recomiendan cambiar el carbón activado cada año, sin embargo la efectividad de este se encuentra en función de la naturaleza del agua a tratar y del tiempo en operación, cuando el carbon activado se puede reutilizar no presenta demasiadas calcificaciones, estas se producen por el contacto del carbón con algunos contaminantes del agua, en su mayoría estas son carbonato de calcio, sin embargo la unica forma de observar de manera directa el carbón activado es retirandolo de servicio y abrirlo, en caso de que el carbón activado se pueda reutilizar solo es necesario desinfectarlo con vapor ⁽¹⁾.

En el caso de las plantas purificadoras de la FESZ el carbon activado de ambas presenta calcificaciones, por ello se concluyo retirarlo de servicio y colocar un filtro nuevo, para ello se coloco el carbón activado en un contenedor de fibra de vidrio nuevo de 10´´x 54´´, con dispersor y tubo de PVC, lo unico que se reutilizó fue la valvula de tres vías ya que esta funciona perfectamente y no muestra deterioro.

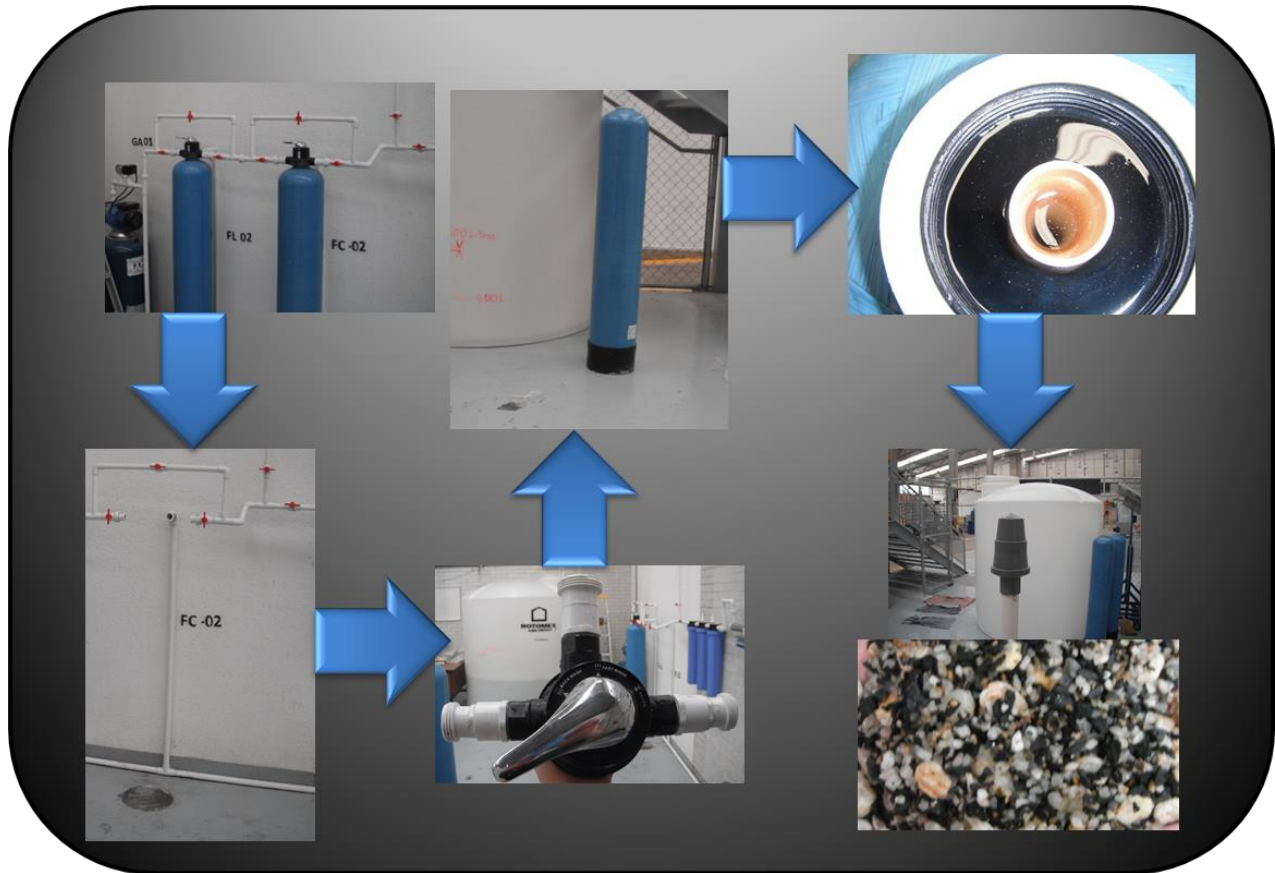


Figura 60. Muestra los pasos para desmontar el filtro de carbón activado FC-01

El objetivo de cambiar el carbón activado dentro de la optimización del proceso además de su vida útil fue lograr una reducción en la recirculación y paso por carbón activado, el punto a lograr era pasar el agua una sola vez por el filtro de carbón sin embargo a pesar de que el cloro residual (breakpoint a 1.5 ppm) se reducía a 0 ppm, el agua aun no contaba con la textura y la frescura la cual también da el carbón activado, por ello la recirculación por carbón activado aún se realiza, sin embargo se realiza con el fin de dar textura y sabor al agua, ya que el cloro residual se elimina completamente solo con circular una vez.



Figura 61. Muestra el carbón activado nuevo que se colocó en los filtros FC-01.



Figura 62. Muestra los filtros de carbón activado FC-01 de ambas plantas purificadoras.



3.3 EQUIPOS QUE SE AGREGARON AL PROCESO.

El proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ cuenta con diferentes etapas, sin embargo dentro de la optimización del proceso se consideraron los siguientes factores.

- Reducción en los tiempos de producción.
- Mejor manejo de materia prima y producto terminado.
- Aumento en la calidad del producto terminado.
- Reducir el gasto de servicios auxiliares.

Para poder abarcar dos puntos de los antes mencionados era necesario cuantificar el producto terminado, desde que inicio el proyecto de las plantas purificadoras de agua de la FESZ se produce cierta cantidad de agua la cual es cuantificada mediante un balance de masa realizado por los operadores encargados de estas, el cual solo consiste en restar la cantidad de producto terminado de la cantidad de materia prima inicial. En el caso del proceso de purificación de agua el cual es de naturaleza batch y sujeto al consumo de la comunidad universitaria, el método para calcular la cantidad de producto terminado es aceptable, sin embargo dentro de una optimización no.

Por ello se decidió colocar un medidor/cuantificador de flujo, el cual ayudara a los operadores a realizar el balance de masa de cada lote de una forma más sencilla, a su vez conocer la tasa de flujo del proceso de purificación. De esta forma se puede argumentar que los factores mejor manejo de materia prima y producto terminado y reducción en el gasto de servicios auxiliares considerados en este trabajo se cumplen.

Para esto se seleccionó el medidor de flujo de turbina, el cual consiste en una sección cilíndrica en la cual se alberga una turbina (rotor con alabes) que es libre de rotar, está formado por alabes estacionarios a la entrada los cuales enderezan el flujo, a su vez un sensor genera un pulso cada vez que pasa un punto marcado en la turbina, de esta forma se determina una razón de rotación ⁽⁴⁾. La rapidez rotacional de la turbina es aproximadamente proporcional a la razón de flujo, a su vez la perdida de carga generada por la turbina es muy pequeña, dentro de la gama de medidores de flujo existentes en el mercado los medidores de flujo de turbina presenta una gran precisión aproximadamente 0.25% ⁽⁴⁾, en conjunto a su simplicidad, bajo costo y precisión ⁽⁴⁾.



El medidor de flujo de turbina que se colocó en las plantas purificadoras cuenta con las siguientes características:

Rango de Flujo		Conexiones	Exactitud	Caída de Presión	Precio
Lineal	Máximo				
4.5-45.4 LPM	56.8 LPM	0.5" NPT(H)	+/-2%	10 psi	\$ 987.00 USD

Tabla 19. Muestra las características del medidor de flujo de turbina utilizado ^(1L).

Un medidor de flujo de turbina se colocó en cada planta purificadora, debido al arreglo de tuberías de las plantas purificadoras y que el medidor necesita colocarse de manera horizontal, la ubicación en cada planta no fue solo para cuantificar el producto terminado, ya que el flujo de la tarja de limpieza también se cuantifica, sin embargo la función de este medidor es cuantificar exactamente la cantidad de producto terminado. Por ello cuando se inicie el llenado del tanque de alimentación a bebederos TQ-02 se iniciara a cuantificar el flujo, de esta forma se podrá conocer el volumen exacto que entro al tanque de alimentación TQ-02. Este volumen se restara del volumen inicial, de esta forma se conocerá el tamaño del lote, la cantidad exacta gastada en servicios para ese lote y la cantidad exacta de producto terminado, incorporando precisión al balance del lote.



Figura 63. Muestra el medidor/cuantificador de flujo de Campus I.



Figura 64. Muestra el medidor/cuantificador de flujo de Campus II.

3.4 PROCESO DE PURIFICACIÓN OPTIMIZADO.

3.4.1 Arranque.

Una vez que se terminó de colocar y dar mantenimiento a los equipos de las plantas purificadoras de agua de la FESZ se procedió a la etapa de arranque, debido a que los cambios se realizaron en diferentes fechas y de manera separada los tiempos de mantenimiento y arranque entre la planta de Campus I y Campus II varían, sin embargo durante la etapa se realizaron ciertas actividades, estas fueron exactamente las mismas en cada campus, debido a que el fundamento teórico de estas actividades está dado por la literatura y por fabricantes y proveedores de plantas purificadoras de agua.

La planta purificadora de Campus II fue la primera en optimizar, debido a la disponibilidad de material, ya que la carrera de ingeniería química se encuentra en Campus II por ello todo el material necesario se encontraba en el almacén de la carrera. Después se optimizó la planta de Campus I, el tiempo aproximado fuera de servicio de cada planta por separado fue de tres semanas, durante la primera semana se realizó el mantenimiento de los filtros FL-01 y FC-01, limpieza y cambio de tanques TQ-01 y TQ-02, colocación de medidor de flujo. Las dos siguientes semanas se dedicaron a operar y encontrar un punto óptimo de operación del proceso de purificación de agua, estas tres etapas se describen a continuación.



La primera semana se dio mantenimiento a los filtros, limpieza de tanques y colocación del medidor de flujo. El primer día se colocó el medidor de flujo, para ello se cortó un tramo tubería de PVC de la planta purificadora, en este espacio se colocó el medidor de flujo, debido a que la tubería se encuentra pegada a la pared y el medidor de flujo tiene un volumen que impide colocarse pegado a la pared, se realizó un arreglo con cuatro codos, a su vez se colocaron dos reducciones hembra de 0.75'' a 0.5'' debido a que el medidor está diseñado para tubería de 0.5''. A pesar de colocarse una reducción en el diámetro de tubería no existe ningún problema por caídas de presión, ya que la caída de presión generada por la reducción es de 2 psi y el medidor de flujo soporta caídas de presión de hasta 10 psi ^(1L). El segundo día se colocó el filtro de carbón activado, para ello se desmontó el filtro viejo, por otra parte en un contenedor de fibra de vidrio nuevo el cual se limpió y desinfectó, se colocó el carbón activado nuevo, a este nuevo filtro se le colocó la válvula de tres vías del filtro anterior y se volvió a colocar en la línea de proceso. El tercer día se colocó el nuevo filtro multicapa de lecho profundo, para ello se desmontó el filtro anterior, mientras en un contenedor de fibra de vidrio nuevo se colocaron los diferentes medios filtrantes, después se le colocó la válvula de tres vías del filtro anterior y se puso en la línea de proceso.

El cuarto día ya con los equipos montados se procedió a iniciar la etapa de arranque, para ello era necesario como actividad inicial llenar los filtros de agua ^(1I), por ello se colocó agua cruda en el tanque de pretratamiento TQ-01, con dicha agua se llenaron ambos filtros (FL-01 y FC-01), esta agua se dejó en los filtros durante 12 horas con el fin de retirar todo el aire del filtro ^(1I).

Al quinto día después de las 12 horas de llenados los filtros se realizaron retrolavados en ambos filtros con el fin de sacar todos los finos contenidos en los filtros ^(1I), se realizaron aproximadamente tres retrolavados de 5 minutos por filtro. Una vez que el filtro de carbón activado no presentaba los finos en el filtrado se procedió a trabajar con el filtro multicapa de lecho profundo. Se realizaron los mismos tres retrolavados de cinco minutos sin embargo aún se presentaba el problema de finos, debido a esto y a que era día viernes se procedió a la siguiente etapa desinfectar el filtro. Para la desinfección del filtro se utilizó hipoclorito de sodio ^(1I), sin embargo el nuevo filtro multicapa de lecho profundo cuenta con Greensand Plus como uno de los medios filtrantes que lo conforman, el fabricante de GSP empaca el producto sin activarlo por ello se debe activar con cloro ^(1J), debido a que en la plantas purificadoras de agua se trabaja con hipoclorito de sodio se procedió a realizar estas dos actividades al mismo tiempo desinfectar los medios filtrantes (arena y gravas silicas) y activar GSP, para ello se llenó el filtro



con agua a una alta concentración de cloro (aproximadamente 12 ppm), esta agua clorada se dejó durante el fin de semana para el lunes continuar con el arranque.

La segunda semana durante el primer día se continuo con el arranque, debido al problema de finos de FL-01 se decidió retrolavar el filtro varias veces, después de dos retrolavados cada uno acompañado de la operación acomodo rápido se observó que ya no se tenía el problema de finos. Con esto se terminó la etapa de arranque de la planta purificadora y se procedió a iniciar la producción del primer lote de agua purificada con el proceso optimizado

El primer lote de agua purificada fue producido en la planta purificadora de Campus II, se inició con 1600 L de agua cruda, debido a que GSP ya estaba activada y funciona mediante un sistema de regeneración continua con cloro ^(1J) no es necesario reactivarla y se puede proceder con la cloración sin ninguna limitante.

La materia prima en este caso agua potable cuenta con un pH de 7.6, el cloro se encuentra en 0.2 ppm, en cuanto a sus propiedades organolépticas no tiene olor ni sabor sin embargo tiene un color café transparente, el primer paso fue la cloración a 2.5 ppm y la circulación por el nuevo filtro multicapa de lecho profundo, después de 1.5 horas el agua se encontraba en 1.5 ppm de cloro, debido a que este es nuestro breakpoint, se tenían dos caminos, dejar más tiempo el agua con un ajuste de cloro o pasar el agua por el filtro de carbón activado, estas dos alternativas se evaluaron ya que el color del lote se encontraba en un café verdoso claro, sin embargo aún no estaba clarificada para pasar por el tratamiento completo. Se decidió recircular el agua a 1.5 ppm de cloro por el filtro de lecho profundo y por el filtro de carbón activado debido a que una de las funciones del carbón activado es quitar color, después de 0.5 horas en recirculación por FL-01 y FC-01 se observó un cambio radical en el color del café verdoso mencionado anteriormente a un azul transparente, en este punto se realizaron pruebas de pH, cloro y organolépticas. Los resultados fueron pH en 7.0, cloro en 0 ppm, aunado a esto en cuanto a las propiedades organolépticas no se tenía color ni olor ni sabor, sin embargo al agua le faltaba frescura y textura, al tener estos resultados se cambió a la operación de tratamiento completo (FL-01, FC-01, filtros pulidores, luz UV, ozono) y se dejó recircular el agua en la operación de tratamiento completo.

El agua se dejó recirculando por el tratamiento completo por alrededor de una hora, realizando pruebas organolépticas cada quince minutos, las últimas dos pruebas organolépticas mostraban ya la frescura característica del agua y un ligero sabor a ozono, por ello se procedió a realizar



pruebas de sabor con varias personas, las cuales no mostraron ningún comentario negativo referente al sabor, frescura, textura del agua purificada.

En este primer lote se observaron varios factores a favor del nuevo proceso, el tiempo de preparación se redujo drásticamente, la calidad del producto terminado era mayor a la obtenida con el proceso anterior. Ya que este primer lote se consideraba un lote de prueba se utilizó durante toda la semana para experimentar varios escenarios, recirculaciones, retrolavados, sobrecloraciones, diferentes arreglos posibles, etc, con el fin de encontrar el punto óptimo de operación.

Una observación muy interesante de este lote fue en los retrolavados, ya que el filtro de carbón activado FC-01 no presento ningún cambio en los retrolavados en comparación con el proceso anterior, lo único que se observo fue una mayor efectividad debido a que el carbón activado es nuevo. En contraparte el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01 equipado con GSP, mostro un cambio radical, debido a que el contenedor de fibra de vidrio es más grande (13'x54' con un volumen de 3.68 ft³) a su vez contiene más medio filtrante y necesita mayor cantidad de agua para retrolavados en comparación con el filtro anterior el cual era más pequeño. El gasto en retrolavado y acomodo rápido de este nuevo filtro fue de 400 L, más del doble de volumen gastado en el filtro anterior, por ello se siguió la recomendación de muchos fabricantes de reducir el retrolavado de este filtro a una vez por semana o hasta que haya una caída de presión o se reduzca la efectividad ⁽¹⁾.

Durante la tercer semana se preparó el segundo lote el cual se inició con 1300 L de agua cruda, se realizaron las mismas experimentaciones que con el lote anterior, con el fin de observar comportamientos diferentes o fallas existentes, sin embargo no existió ningún cambio radical en este lote o en la operación, el tiempo de producción de este fue de 3.5 horas, obteniéndose una buena calidad en él.

Con lo aprendido durante la producción de estos dos lotes y el arranque de planta se puede escribir un nuevo proceso de purificación de agua. Se sabe que ambas plantas son iguales y que las calidades de la materia prima son diferentes sin embargo la experimentación descrita anteriormente se realizó en ambos Campus de la FESZ, con el fin de tener un proceso general pero con variantes en la operación, siguiendo la premisa inicial de que “El agua el igual pero no semejante”.

3.4.2 Descripción del Proceso de Purificación de Agua Optimizado.

El proceso de purificación optimizado cuenta igual que antes con siete etapas un pretratamiento con hipoclorito de sodio (desinfección), filtración por el nuevo filtro multicama de lecho profundo (arena, GSP), filtración por carbón activado, filtración pulidora, luz UV, ozono (ozonificación), como última etapa se agrega un bactericida grado alimenticio.

Sin embargo la diferencia y mayor efectividad de este nuevo proceso radica en su mayoría en la aplicación de la filtración multicama de lecho profundo, en conjunto con una operación más informada en cuanto a los límites y capacidades de cada equipo.

A. Pretratamiento (Cloración con hipoclorito de sodio y filtración con FL-01).

El inicio del proceso de purificación de agua sigue siendo la cloración. Una desinfección con hipoclorito de sodio, utilizando como se hacía anteriormente la cloración por breakpoint, se añade hipoclorito de sodio al 13%, calculado la cantidad necesaria de hipoclorito para el volumen a preparar, con el fin de que la concentración de cloro sea de 2.5 ppm. Para agilizar el homogenizado se añade el hipoclorito de sodio mientras se está llenando TQ-01, haciéndose circular el agua por el nuevo filtro multicama de lecho profundo (FL-01). El fin del pretratamiento al igual que antes esta dado cuando la concentración de cloro se encuentre en 1.5 ppm. En el nuevo filtro de lecho profundo se encuentra GSP como medio filtrante, la cual se activa con cloro, debido a que se activó al iniciar la operación de planta, la reactivación de esta se da mediante una regeneración continua durante el pretratamiento. El único efecto de este modo de regeneración es que el agua puede bajar muy rápido su concentración de cloro, por ello es necesario reajustar el cloro a 2.5 ppm para así asegurar la efectividad de la cloración por breakpoint.

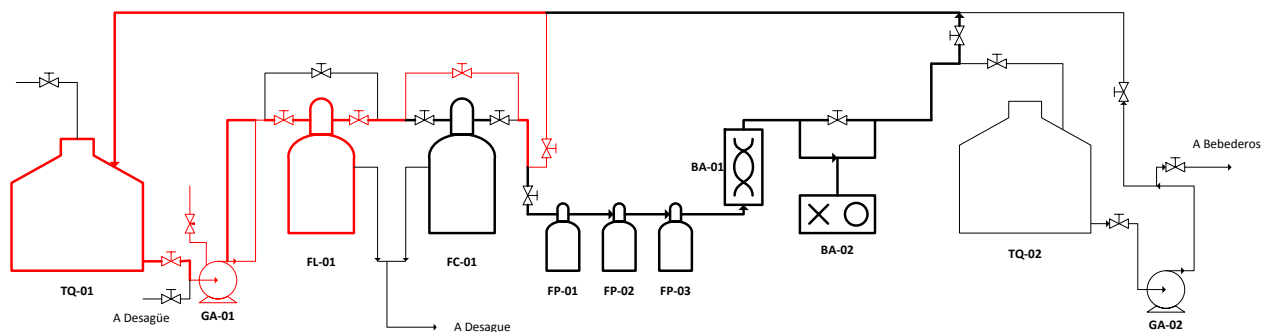


Figura 65. Muestra la etapa de pretratamiento del proceso de purificación optimizado.



B. Tratamiento Parcial (FL-01 y FC-01)

La segunda etapa del proceso se conocerá como tratamiento parcial, en esta etapa el agua se encuentra ya en 1.5 ppm de cloro el pH puede variar entre 7.0-7.6, en cuanto a propiedades organolépticas como el agua aún contiene cloro tiene sabor y olor a este, en cuanto a color puede presentarse tres tipos, café transparente, verde azulado o azul transparente, sin embargo el color aun no es un indicador relevante.

En esta etapa se usan el nuevo filtro multicama de lecho profundo y el filtro de carbón activado, el carbón activado retira todo el contenido de cloro dejándolo en 0 ppm, otra función de este es retener actividad microbiana que no elimino la cloración, en conjunto con dar frescura y textura al agua. En las pruebas de operación se observó que el carbón activado retiraba todo el contenido de cloro con circular una sola vez por el filtro, sin embargo el circular una sola vez no era suficiente para darle frescura y textura al agua,

Con esta observación se decidió recircular el agua por FL-01 y FC-01 donde el nuevo filtro multicama de lecho profundo que contiene GSP como medio filtrante en conjunto con el filtro de carbón activado realizan diferentes funciones, reduce el cloro a 0 ppm, da frescura y textura al agua, reduce drásticamente el color teniendo el agua después de un tiempo promedio de recirculación un color azul transparente, además de reducir el pH hasta 7.0.

Podría decirse que el mayor logro de la optimización del proceso en cuanto a calidad del producto se logra en esta etapa, desde el punto de vista químico la reducción de pH desde 7.6 del agua cruda hasta el 7.0 muestra una mejora significativa, desde el punto de vista organoléptico el color azul transparente en conjunto con la frescura y textura que adquiere el agua causa una mayor confianza en la calidad del producto terminado.

Esta etapa del proceso termina cuando el agua se encuentra en 0 ppm de cloro y el pH en 7.0, en cuanto a las propiedades organolépticas el agua muestra un color azul transparente dentro del tanque TQ-01, el sabor de esta no debe ser desagradable, al igual debe textura y frescura.

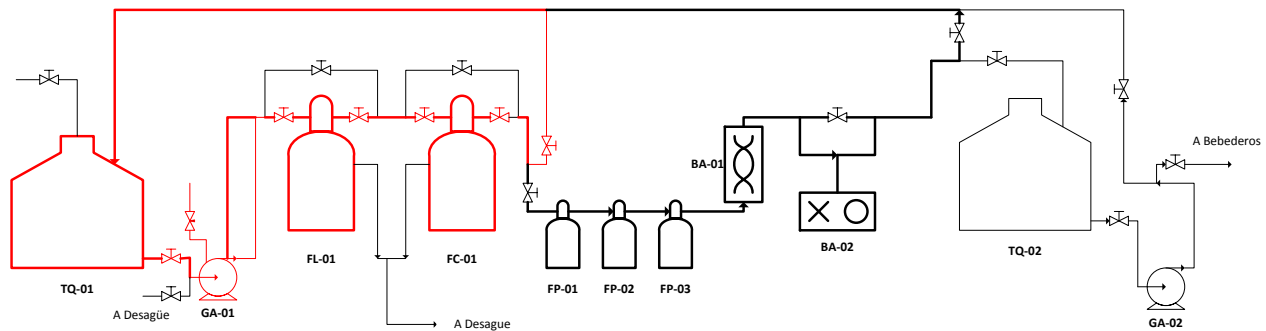


Figura 66. Muestra la etapa de tratamiento parcial del proceso de purificación optimizado.

C. Tratamiento Completo.

Esta etapa del proceso de purificación consiste en hacer recircular el agua por el tratamiento completo (lecho profundo, carbón activado, filtros pulidores, luz UV y ozono), al inicio de esta etapa el agua ya tiene un pH de 7.0, no tiene cloro residual, tiene frescura y textura además de encontrarse clarificada.

Los filtros pulidores detienen partículas del tamaño mayor a 5 micras, al hacer pasar el agua en esta etapa ya clarificada con poco contenido de sólidos, se logra una gran efectividad de estos, al igual que alargar su vida útil. La Luz UV es una desinfección avanzada se encuentra colocada en la línea de proceso después de los filtros pulidores por dos razones, debido a que existe materia orgánica la cual es inerte al cloro, al ser retirado completamente por FC-01 esta es eliminada, a su vez después de mucho tiempo debido a la naturaleza del carbón activado y que este no se puede desinfectar con cloro se generan algunas bacterias las cuales son eliminadas por la luz UV. El ozono funciona también como una desinfección avanzada, sin embargo su mayor uso es como conservador del agua purificada.

La luz UV y el ozono tienen una efectividad mayor cuando el agua esta clarificada, esto se expresa como una mayor efectividad y una mayor vida útil del equipo.

El tiempo en esta etapa está dado por las propiedades organolépticas, la luz UV tiene capacidad germicida para 30 LPM, el flujo de recirculación es de 27.3 LPM, por ello con un solo paso por luz UV es suficiente, sin embargo el ozono además de ser conservador le añade sabor al agua, por ello el fin de esta etapa esta dado cuando se perciba un ligero sabor a ozono en el agua.

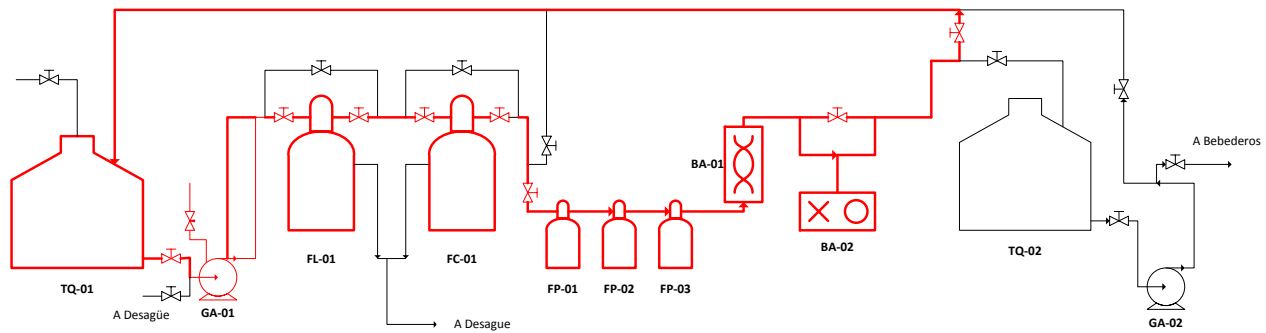


Figura 67. Muestra la etapa de tratamiento completo del proceso de purificación optimizado.

D. Llenado de Tanque de Alimentación a bebederos TQ-02.

Por ultimo esta etapa solo consiste en el llenado del tanque de alimentación a bebederos TQ-02, al terminar el llenado como última fase se agregara en TQ-02 el bactericida grado alimenticio que se agregaba anteriormente.

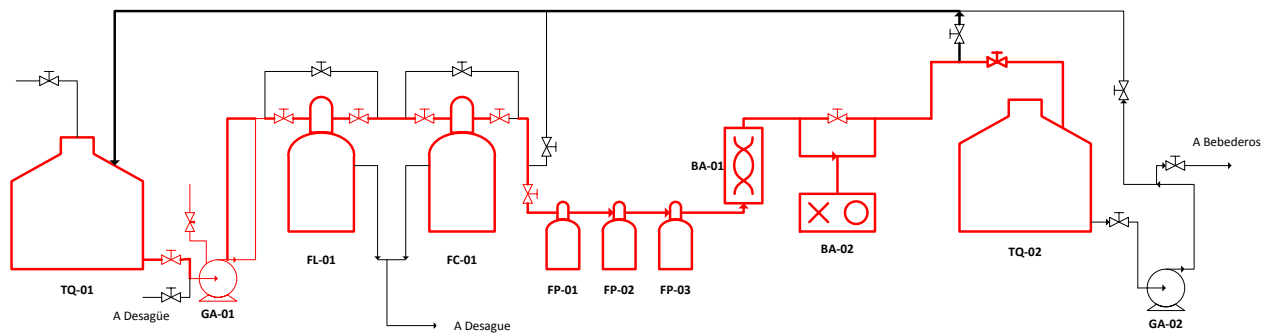


Figura 68. Muestra la etapa de llenado de TQ-02 del proceso de purificación optimizado.

3.5 OBSERVACIONES DEL PROCESO OPTIMIZADO.

En cuanto al nuevo proceso de purificación de agua se pueden observar muchos cambios, a su vez existen consideraciones las cuales se discutirán en el apartado de operación.

Este nuevo proceso muestra muchos beneficios, no solo el aumento en la calidad del producto terminado y la reducción en los tiempos de preparación del lote, a su vez muestra una mayor estandarización en la operación de las plantas purificadoras de agua, ya que en su operación los cambios al proceso debido a la naturaleza de la materia prima de cada Campus son menos en comparación con el proceso anterior,

Con esta optimización al proceso se podrá producir durante un año agua de calidad sin muchos cambios en su operación, dentro de las observaciones a considerar son la vida de los medios



filtrantes (GSP y carbón activado) ya que estos deberán cambiarse después de un año de operación.

Los balances de masa de cada lote deberán llevarse con más detalle, ya que el medidor/cuantificador de flujo colocado ayudara a esto, así se conocerá de manera más precisa los gastos en servicios (retrolavados, acomodo, limpieza, etc), para poder calcular la vida útil de los equipos que conforman la planta y planificar su mantenimiento o reemplazo.



CAPÍTULO IV.

OPERACIÓN DEL NUEVO PROCESO DE PURIFICACIÓN.



4.1 INTRODUCCIÓN.

La operación de una planta de proceso sigue fundamentos técnicos muy generales, los cuales se delimitan por el rubro al que esta se dedique, en el caso de una planta de agua existen reglas y heurísticas las cuales deben seguirse por el simple hecho de ser una planta de agua, sin embargo ya sea que se trate de una Planta Tratadora de Agua Residuales (PTAR), una Planta Tratadora de Agua Potable (PTAP) o de una Planta Productora de Agua Purificada (PPAP), los fundamentos teóricos para una buena operación son muy semejantes a una planta de proceso.

Las plantas purificadoras de agua están diseñadas para producir un volumen de agua purificada en un tiempo determinado, el cual debe seguir las normas establecidas para agua purificada, este volumen es un volumen idealizado, ya que existen un sinfín de situaciones reales las cuales se presentan a lo largo de la producción y afectan de manera directa la cantidad y calidad del producto terminado, puede ser que la materia prima no sea para la cual se diseñó, puede ser que la operación se realice de manera incorrecta, etc. Por ello para poder producir un volumen de agua purificada que siga las especificaciones de la normatividad vigente y que se aproxime al volumen de diseño de la planta se debe hacer uso de una operación adecuada.

Existen cuatro factores principales a considerar, los cuales son necesarios para tener las condiciones de operación y mantenimiento óptimas ⁽²⁾.

- Confiabilidad.
- Flexibilidad.
- Mano de Obra.
- Automatización y Control.

La confiabilidad podría considerarse el factor con mayor importancia, ya que en las plantas purificadoras se produce agua purificada para consumo humano, por ello el producto terminado debe satisfacer los requerimientos de calidad establecidos por la normatividad vigente, para lograr esto los equipos deben ser capaces de trabajar correctamente bajo condiciones de diseño y condiciones extremas ⁽²⁾. Por ello los operadores de planta deben estar capacitados para responder a diferentes escenarios posibles como son la calidad del agua cruda, falta de algún reactivo, fallo en un equipo de proceso, etc ⁽²⁾.



La flexibilidad trata sobre asegurar la producción normal de la planta bajo diferentes escenarios, esta debe ser capaz de operar aunque haya fallas en equipos ⁽²⁾, falta de algunos reactivos, etc, para esto los operadores deben asegurarse que exista el inventario suficiente para el periodo de trabajo, al igual de realizar planificación para el mantenimiento de equipos.

La mano de obra es un factor que se refiere a la capacidad de los diferentes operadores de planta, para esto todos los operadores que se encuentren laborando deben tener los conocimientos técnicos necesarios, por ejemplo para dosificar los reactivos, realizar muestreos, seleccionar el grado de tratamiento ⁽²⁾.

La automatización y control se refiere al grado de automatización de la planta para que provea máxima confiabilidad y seguridad al proceso, sin embargo si los equipos y controles son de difícil operación pueden causar más problemas que beneficios ⁽²⁾.

Una operación adecuada se puede lograr con una correcta administración de los cuatro factores antes mencionados, sin embargo los equipos a lo largo de la operación presentan desgaste y pueden causar fallas, por ello es necesario tener un plan de mantenimiento programado, este es otro factor esencial en la óptima operación de una planta purificadora ⁽²⁾,

Para una planta de purificación de agua existen dos tipos de mantenimiento.

- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento preventivo como su nombre lo dice tiene como objetivo prevenir situaciones que puedan poner en riesgo la producción, equipos u operarios. Es un conjunto de actividades, recursos y herramientas programados para identificar o prevenir defectos, reemplazar rutinariamente elementos desgastados, registrar e informar daños mayores en los equipos y planta, con el fin de conservarla al menos durante su vida económicamente útil ⁽²⁾.

El mantenimiento correctivo se puede definir como el conjunto de actividades, recursos y herramientas destinados a reparar defectos y daños mayores, con el fin de reestablecer la producción normal de la planta de purificación ⁽²⁾.



Además de estos dos tipos de mantenimiento, existen factores que se deben considerar para que el mantenimiento realizado cumpla con su objetivo, estos factores se explican a continuación ⁽²⁾:

- La responsabilidad del mantenimiento debe estar claramente definida y asignada a personal competente.
- Los recursos financieros deben estar claramente definidos y asignados, en conjunto a una disponibilidad oportuna.
- La cantidad de refacciones, herramienta y otros consumibles necesarios debe encontrarse disponible para poder proveer el mantenimiento.
- Las actividades de mantenimiento deben ser planeadas y programadas.
- Debe existir un sistema de control y registro apropiado de las labores de mantenimiento, en conjunto a las bitácoras de operación.

La operación de una planta purificadora de agua está fundamentada en el mantenimiento de la máxima calidad del producto terminado, para esto se hace uso de herramientas, principalmente estas herramientas son análisis físicos, químicos y bacteriológicos, en conjunto con técnicas de muestreo, la frecuencia e intensidad de estos son función de las particularidades de calidad del agua de cada planta ⁽²⁾.

4.2 OBJETIVOS.

En la operación de una planta purificadora de agua se debe hablar de la calidad del agua cruda, por ello el objetivo de mayor interés no es en realidad el agua, sino los materiales presentes en ella ⁽²⁾, debido a que estos materiales determinan el nivel de calidad que tiene el agua y el nivel de tratamiento requerido ⁽²⁾, bajo esta consideración los objetivos de una planta de purificación de agua son los siguientes ⁽²⁾:

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

Estos tres objetivos de operación abarcan de manera general el punto de interés para la correcta operación de una planta purificadora, proveer un agua segura carente de organismos patógenos y libre de sustancias tóxicas que puedan constituir un riesgo para los consumidores



finales ⁽²⁾, suministrar un agua estéticamente deseable con un bajo contenido de color, turbiedad, sólidos suspendidos, libre de olores y sabores, acompañado con una temperatura tan fría como las condiciones ambientales lo permitan ⁽²⁾.

4.3 FACTORES A CONSIDERAR.

En la operación de una planta purificadora deben considerarse muchos factores, en las secciones anteriores se mencionaron factores teóricos y técnicos muy generales para plantas purificadoras, en esta sección se mencionaran factores que se deben considerar sin embargo su enfoque será dirigido hacia la plantas purificadoras de la FESZ, el equipo y los diferentes tratamientos que las conforman.

4.3.1 Desinfección.

En la etapa de desinfección se deben considerar varios factores técnicos en cuanto al proceso de purificación de agua, debido a que la desinfección se realiza en conjunto a la filtración por lecho profundo y este contiene GSP la cual se reactiva con cloro, algunas consideraciones involucran este nuevo filtro:

- Balances realizados de manera correcta ⁽²⁾.
- Definir el contenido de cloro residual al inicio de la operación.
- Realizar de manera correcta la cloración inicial, considerando la regeneración continua de GSP ^(1A).
- Reajustar las veces que sea necesario el agua al breakpoint para lograr una desinfección efectiva ^(1B).
- Registrar los tiempos de desinfección ⁽²⁾.

De manera particular en el caso de la desinfección se debe tener en cuenta dos factores y el punto de interés de estos, el primer factor es el volumen de cloro administrado, este se encuentra en función del volumen del lote, el segundo es el tiempo de difusión del cloro, por último el punto de interés entre estos dos factores es el breakpoint, ya que la cloración se realiza mediante el sistema de breakpoint (punto de ruptura).

El objetivo de esta etapa es realizar una correcta desinfección, esta se logra con los factores y las precauciones antes mencionados, la cantidad de cloro debe ser la necesaria para el lote, el tiempo de difusión del cloro debe ser supervisado ya que este debe afectar a todo el volumen



de agua, en conjunto al tiempo esta la regeneración continua de GSP, por ello los registros de tiempo son importantes, sin embargo el punto para poder comprender y determinar el camino a seguir es el breakpoint.

4.3.2 Filtración por lecho profundo (FL-01)

Esta parte del proceso se realiza durante las tres etapas de operación (pretratamiento, tratamiento parcial y tratamiento completo), a su vez es de gran importancia en el proceso optimizado, por la gran variación de cambios en la operación y en el producto terminado, recordando este nuevo filtro multicama de lecho profundo está conformado por arena sílica, GSP y gravas sílicas, GSP es reactivada con cloro mediante una regeneración continua. A su vez este filtro cuenta con tres operaciones diferentes, **filtrado, retrolavado y enjuague rápido**, siendo retrolavado y enjuague rápido las operaciones de mantenimiento del filtro. Debido a esto las consideraciones para el filtro multicama de lecho profundo son las siguientes:

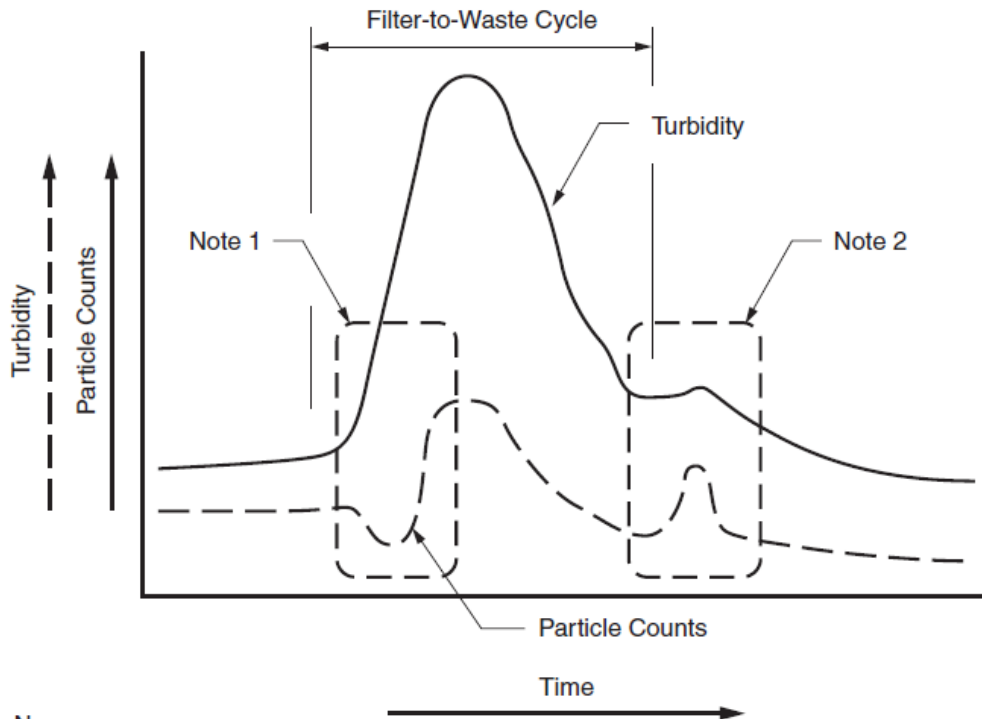
- La necesidad de los retrolavados está dada por cuatro factores (perdida de carga máxima disponible, fuga de turbiedad a través del filtro, aumento en el tiempo de filtración, carrera de filtración mayor a una semana) ^(1B) ⁽²⁾.
- Gasto máximo en retrolavado del filtro debe ser del 6% del volumen total trabajado ⁽²⁾.
- Como mínimo se debe realizar un retrolavado cada vez por semana ⁽²⁾.
- Realizar los retrolavados cuando ya no se esté trabajando con el producto terminado debido a que puede caer algo de turbiedad debida por el cambio de operación ⁽³⁾.
- Registrar el volumen gastado en las etapas de retrolavado y enjuague rápido, con el fin de llevar un registro general para programar el mantenimiento del filtro ⁽²⁾.
- Reajustar el cloro residual al breakpoint en función al tiempo, ya que GSP se reactiva con cloro ^(1A).

Los factores más importantes a considerar en la operación de este filtro multicama son los retrolavados y la vida de los medios filtrantes (GSP en especial), en cuanto a GSP se recomienda cambiarla cada año y su regeneración es de forma continua, por ello se debe reajustar el cloro en función del tiempo, así en conjunto a reactivar GSP se garantiza la efectividad de la desinfección.

En cuanto a los retrolavados se debe considerar un factor muy importante, la función de los retrolavados es limpiar los medios filtrantes mediante la acción de un lecho fluidizado, a su vez



cada retrolavado va acompañado de la operación enjuague rápido o acomodo rápido, esta consiste en hacer pasar agua en sentido de la filtración pero descargándola en el desagüe con el fin de reacomodar los medios filtrantes. Un problema muy frecuente en filtros multicapa es la presencia de un poco de turbidez cuando se realiza el cambio de enjuague rápido a filtrado ⁽³⁾. Por ello la operación de retrolavado se realizará cuando se haya terminado de pasar el lote terminado al tanque de alimentación, así esta turbidez generada por el cambio de operación será removida en el siguiente lote. A su vez para cumplir con el gasto de 6% del volumen trabajado se realizara el retrolavado de FL-01 una vez por semana, debido a que el contenedor es más grande y contiene más medio filtrante se necesita mayor cantidad de agua, sin embargo si es necesario retrolavar antes está permitido.



NOTES:

1. Starting up in filter to waste when the filter was idle.
2. Flow surge when beginning filter cycle.

Figura 69. Muestra la etapa de retrolavado de un filtro multicapa en función de la turbiedad y el tiempo ⁽³⁾.



4.3.3 Filtración por carbón activado (FC-01).

Como se mencionó anteriormente la filtración por carbón activado en el nuevo proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ se lleva a cabo durante dos fases (tratamiento parcial y tratamiento completo), en este punto es innecesario repetir las funciones del carbón activado, por ello solo se realizara el enfoque en los factores a considerar para tener una correcta operación del filtro de carbón activado, los cuales se mencionan a continuación:

- Verificar que el cloro residual se encuentre debajo de 2 ppm.
- Realizar un retrolavado en la preparación de cada lote.
- Registrar la duración de cada etapa donde se usó el filtro de carbón activado.
- Registrar el volumen gastado en las etapas de retrolavado y enjuague rápido, con el fin de llevar un registro general para programar el mantenimiento del filtro ⁽²⁾.
- Gasto máximo en retrolavado del filtro debe ser del 6% del volumen total trabajado ⁽²⁾.
- Cambio del carbón activado después de un año de servicio.

Debido a la importancia del carbón activado en el nuevo proceso de purificación es importante alargar su vida útil mediante una operación correcta, este filtro trabaja en conjunto con FL-01, la función principal del carbón es retirar el cloro residual libre y todos los compuestos generados por la reacción de desinfección, a su vez retira color, olor y sabor al agua, aunado a añadir textura y frescura a esta. Por ello es de suma importancia hacer un correcto uso del carbón activado, debido a su naturaleza en este filtro si se puede realizar un retrolavado por lote, sin embargo la precaución más importante es en cuanto al cloro residual, al enviar cloro por encima de 2 ppm el carbón activado se desactiva y su poder de retirar cloro pierde efectividad con el tiempo.

4.3.4 Filtración pulidora, luz UV, Ozono y bactericida.

La filtración pulidora tiene como únicas precauciones el lavado periódico de los cartuchos y las carcasas que los componen, a su vez al retirar y colocar el filtro se debe tener la precaución de colocarlo correctamente, ya que los cartuchos se pueden desviar y provocar fugas en la operación.

La luz UV es de suma importancia en el proceso de purificación por ello se mencionan las siguientes precauciones:



- Encender el equipo solo cuando se vaya a utilizar y apagarlo al momento de terminar.
- El agua debe pasar por el equipo ya clarificada y con 0 ppm de cloro.
- Desconectar el equipo al terminar la jornada.
- Llevar registro de las horas en servicio.
- Revisar diario el color e intensidad de la luz UV, ya que si cambia a un morado más claro o aun tono rojizo es momento de cambiarla, a su vez revisar que los extremos no estén quemados.

En el caso del generador de ozono se deben tomar las siguientes precauciones:

- Encender el equipo solo cuando se vaya a utilizar y apagarlo al momento de terminar.
- El agua debe pasar por el equipo ya clarificada y con 0 ppm de cloro.
- Desconectar el equipo al terminar la jornada.
- Llevar registro de las horas en servicio.
- **No mover la válvula de la línea de proceso donde entra en contacto el agua con el ozono (este punto es de suma importancia ya que cualquier cambio causa que esta se descalibre y es necesario recalibrarla).**
- En caso de descalibrar la válvula, acomodarla lo más posible a una apertura de 50 %, después con ayuda del olfato y el oído, ajustarla hasta que no se escuche la fuga de ozono, a su vez no se debe percibir el olor picante de este, esto debe hacerse en calma y con el mayor silencio posible.
- El generador produce una cantidad de ozono suficiente para un flujo de 30 LPM, sin embargo la inyección a presión de este está dada por la tasa de flujo al momento del paso por la línea, por ello no se debe tener la preocupación si falta o sobra ozono.
- Debido a la naturaleza del generador de ozono este puede no encender después de un tiempo, por ello antes de cambiar el generador se debe reemplazar el fusible que está en él, ya que muchas veces el fusible no sirve pero si el generador, en caso que al cambiar el fusible este no encienda entonces es momento de cambiar todo el equipo.

El bactericida grado alimenticio se agrega al final del llenado del tanque de alimentación TQ-02, para ello se deben tener las siguientes precauciones:

- El cálculo de la cantidad de bactericida se realiza en función a que el volumen final debe tener una concentración de 40 ppm de bactericida.



- Después de agregado el bactericida no se puede agregar más agua al tanque hasta no haber pasado un mínimo de tres horas.
- En caso de que el llenado se realice con agua con cierta concentración de bactericida se debe tener la precaución de reajustar a 40 ppm.

4.3.5 Bitácoras de operación, surtimiento de consumibles y programación de mantenimiento.

En este apartado se explicara y mostrara la importancia de las bitácoras de operación, ya que estas no solo ayudan a una correcta operación, también muestran de manera más dinámica algunos factores de interés, los cuales se listan a continuación:

- Ayuda a los operadores para resolver problemas de operación ⁽²⁾.
- Permite evaluar cambios en la calidad del agua cruda y del producto terminado ⁽²⁾.
- Proporciona soporte a quejas y reclamos ⁽²⁾.
- Ayuda a establecer programas de mantenimiento preventivo y correctivo ⁽²⁾.
- Permite evaluar la vida útil de los equipos ⁽²⁾.
- Permite tener un control del suministro de consumibles ⁽²⁾.
- Provee parámetros de diseño para futuras plantas de purificación ⁽²⁾.
- Permite evaluar la eficiencia de los diferentes equipos, en solitario y en conjunto ⁽²⁾.
- Permite formular y establecer programas y requerimientos de optimización de la operación ⁽²⁾.
- Ayuda en el diseño de planes de contingencia ⁽²⁾.



4.4 OPERACIÓN DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS.

En cuanto a la operación de las plantas purificadoras de agua, uno de los logros en la optimización fue hacer un proceso más homogéneo, esto ayudo a poder escribir un proceso general con pocas variantes en la operación de cada planta purificadora. Se sabe que el agua cruda de cada campus no es igual, los consumos tampoco sin embargo a pesar de estos y otros factores se pudo escribir un proceso de purificación con una operación más homogénea, los cambios en la operación de las plantas purificadoras de la FESZ se explican a continuación.

4.4.1 Operación de la Planta Purificadora de Campus I.

El proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ es más homogéneo, en el caso de Campus I existen situaciones las cuales facilitan la operación de esta, estas situaciones se muestran a continuación.

- Materia prima con bajo contenido de turbiedad.
- Menor consumo de producto terminado.
- Producción de lotes más pequeños.

Debido a estas situaciones la operación de la planta purificadora de Campus I es más sencilla que la planta purificadora de Campus II.

Se inicia con el llenado del tanque TQ-01 con agua de la línea publica, mientras se realiza esta operación se agrega el hipoclorito de sodio y se pone al agua a recircular por el filtro multicama de lecho profundo. Una vez que el volumen de agua a preparar se haya completado se procede a cerrar al válvula de llenado, pasado 0.5 horas se realiza una prueba de cloro, si esta se encuentra en 1.5 ppm o menos de cloro se procede a reajustar el cloro a 2.5 ppm, después de 15 minutos se realiza otra prueba de cloro, si este se encuentra en 1.5 ppm se puede proceder a la siguiente etapa, sin embargo si el cloro se encuentra debajo de 1.5 ppm se debe reajustar a 1.5 ppm y proceder a la siguiente etapa, esto debido al sistema de regeneración continua con el que funciona GSP.

En la etapa de tratamiento parcial el agua tiene 1.5 ppm de cloro, el color del agua después de 15 minutos durante esta etapa será azul transparente, debido a la naturaleza del agua de Campus I el tiempo en esta etapa es menor, para poder proceder a la siguiente etapa el agua debe tener el color azul transparente y encontrarse en 0 ppm de cloro y en un pH de 7.0 a 7.6, en conjunto el agua no debe tener olor ni sabor y contar con textura y frescura.



4.4.2 Operación de la Planta Purificadora de Campus II.

El proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ es más homogéneo, en el caso de Campus II existen situaciones las cuales hacen necesario un cambio en la operación del proceso, estas situaciones se muestran a continuación.

- Materia prima con alto contenido de turbiedad.
- Mayor consumo de producto terminado.
- Producción de lotes más grandes.

Debido a estas situaciones los cambios en la operación de la planta purificadora de Campus II se muestran a continuación.

Para iniciar la preparación del lote se considera un lote de 3200 L de los cuales se 400 L serán para el gasto en retrolavados, dejando un volumen aproximado de 2800 L de agua purificada, sin embargo este será el primer lote de la semana ya que para los demás lotes solo se gastaran 100 L cuando mucho en el retrolavado de FC-01, esta consideración es debido a que el filtro multicama de lecho profundo FL-01 es más grande y gasta mayor volumen de agua, por esto se realizara solo un retrolavado de este por semana. Aproximadamente se realizan tres lotes por semana por ello la cantidad aproximada de materia prima necesaria es de 9600 L, descontando el gasto por retrolavados y servicios que es aproximadamente 600 L, se tiene un volumen de producción aproximado de 9000 L de agua purificada. Estas cantidades son aproximadas ya que la producción se encuentra en función del consumo por la comunidad universitaria y este está en función de muchos factores.

Para iniciar la producción de un lote al momento de llenar el tanque de pretratamiento TQ-01, se debe agregar al hipoclorito de sodio, con el fin de lograr la difusión completa de cloro y con esto una reacción de cloración efectiva, durante esto el agua estará recirculándose hacia TQ-01 pasando por el nuevo filtro multicama de lecho profundo FL-01, después de un tiempo de 0.5 horas se realiza una prueba de cloro, si esta sale en 1.5 ppm o menos se procede a reajustar el cloro a 2.5 ppm, esto debido a que GSP contenida en FL-01 necesitaba reactivarse, con este reajuste se garantiza la reacción de desinfección y la reactivación de GSP.

El tiempo de recirculación de la primer etapa puede variar de 2-3 horas, dependiendo la calidad del agua, sin embargo se debe revisar cada 30 minutos la cantidad de cloro contenida, el primer



reajuste de cloro es a 2.5 ppm, en caso de que el cloro siga bajando con el tiempo se reajustara solo a 1.5 ppm de cloro, el cual es el breakpoint.

Para proceder a la segunda etapa del proceso conocida como tratamiento parcial el indicador es la concentración de cloro, esta debe estar en el breakpoint (1.5 ppm), puede existir o no cambio en la coloración del agua, debido a que en esta etapa el color no es un factor determinante, para esta etapa el agua se recirculara por FL-01 y FC-01, se podrá observar a los 5 minutos de operación que el cloro contenido en el agua se está reduciendo drásticamente, esto debido a la adsorción con el carbón activado, a pesar de que el fenómeno de adsorción de cloro es casi instantáneo el carbón da textura y frescura al agua, por ello esta etapa dura aproximadamente una hora.

En este Campus se presenta el problema de que el agua cruda tiene una coloración café transparente, por ello esta etapa es de gran importancia, a su vez es posible que el tiempo de esta etapa varíe, para poder realizar un análisis completo de esta etapa se realizan pruebas de cloro y pH cada 20 minutos debido a que en esta etapa se lleva a cabo la reducción de pH.

El fin de esta etapa está dado por factores químicos y organolépticos, cuando el cloro este en 0 ppm, el pH en 7.0, el agua en el tanque de pretratado presente una coloración azul, la muestra no presente color, olor ni sabor y tenga textura y frescura, se puede decir que esta etapa a término y se procede a la siguiente Tratamiento completo.

Al inicio de esta etapa el agua ya está en 0 ppm de cloro, el pH se encuentra en 7.0 y está clarificada, tiene textura y frescura, por ello se procede recircular aproximadamente una hora por la etapa de tratamiento completo (lecho profundo, carbón activado, pulidores, luz UV y ozono), durante esta etapa es necesario un muestreo cada 10 minutos, sin embargo no se realizaran pruebas de cloro y pH, el punto de interés son las propiedades organolépticas del agua, la luz UV eliminara las bacterias restantes además de sanitizar el agua, el ozono también eliminara bacterias sin embargo su mayor función es dar cierto tiempo de caducidad al agua purificada, por ello el fin de esta etapa esta dado cuando se presente un ligero sabor y olor a ozono en el agua. En este momento se puede proceder a llenar el tanque de alimentación a bebederos TQ-02 con el agua purificada, al terminar el llenado se agrega el bactericida grado alimenticio con la precaución de que la concentración de este debe ser de 40 ppm en el volumen final.



Como se mencionó anteriormente la producción de cada lote está dada por el consumo de la comunidad universitaria, al día siguiente se pueden presentar dos escenarios en el volumen de TQ-02, si el volumen es menor a 1000 L se procede a recircular el agua a TQ-01 y combinar con agua cruda para iniciar la preparación de un nuevo lote, sin embargo si el volumen de TQ-02 es mayor a 1000 L, se procede a pasar el agua a TQ-01 y solamente ajustar el cloro a 1.5 ppm y recircular por todo el tratamiento completo, hasta obtener los parámetros de agua purificada (cloro en 0 ppm, pH en 7.0, textura, fresca, un ligero sabor y olor a ozono).

4.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.

El mantenimiento correctivo y preventivo sigue igual que con el proceso anterior como lo muestran los apartados **2.4.3** y **2.4.4** con la condición de que con ayuda de las bitácoras se programe mas fácilmente, sin embargo la única consideración además de las mencionadas en estos apartados es la regeneración continua de GSP, en caso de que GSP se desactive completamente debe activarse como se realizó al inicio, sin embargo este escenario es poco probable ya que GSP funciona mediante un sistema de regeneración continua con cloro.

4.6 CONSIDERACIONES A FUTURO.

Dentro de este trabajo se consideró como punto de inicio la operación de las plantas purificadoras de agua de la FESZ, en base al trabajo en las plantas purificadoras durante mi servicio social me di cuenta que el proceso de purificación podía ser optimizado, en un inicio como lo menciono en el capítulo dos el primer cambio fue experimentar con la operación de la planta, al darme cuenta de muchos factores que intervenían lleve a cabo cambios, los cuales fueron de cierta forma aceptados, ya que la calidad del producto mejoraba y se reducía un poco el tiempo de producción. Sin embargo para poder tener una buena optimización del proceso se necesitaban hacer cambios, con el fin de que el proyecto de las plantas purificadoras de la FESZ siguiera produciendo a futuro agua de calidad. En base a lo antes mencionado se debe considerar a este proceso de naturaleza cambiante, se encuentra abierto a la aportación y modificación a futuro de otros operadores de las plantas purificadoras.

Se debe considerar la vida de los medios filtrantes y cambiarlos cada año, al igual de hacer hincapié en los operadores de planta, resaltando la importancia del agua purificada para la comunidad universitaria, así se generara una cultura del buen trabajo y un buen servicio a la comunidad universitaria.



A su vez la comunidad universitaria necesita una campaña de concientización sobre el agua purificada, ya que en lo personal es muy molesto trabajar y que al agua purificada se le dé un uso indebido.

Creo que además de una concientización, de la importancia del proyecto, en conjunto con la importancia de lo que es el agua para el ser humano, se puede lograr una vida prolongada del proyecto de purificación de agua.



En la última etapa la cual es el tratamiento completo se puede considerar que el agua ya se encuentra casi purificada, la luz UV sanitizará el agua, los filtros pulidores retendrán cualquier partícula de menos de 5 micras que no se haya retirado en las etapas pasadas, por último el ozono además de ser una desinfección avanzada agregará el sabor característico el cual da un tiempo de caducidad al agua, el fin de esta etapa está dado cuando se perciba el sabor a ozono en el agua, el tiempo aproximado de duración de esta etapa es de 15 minutos.

Por último ya con el agua purificada se procede a llenar el tanque de alimentación a bebederos TQ-02 y al terminar agregar el bactericida grado alimenticio, considerando que la concentración de este en el agua debe ser de 40 ppm.

Al igual que en el proceso anterior al día siguiente se pueden presentar dos escenarios en el volumen de TQ-02, si el volumen es menor a 1000 L se procede a recircular el agua a TQ-01 y combinar con agua cruda para iniciar la preparación de un nuevo lote, sin embargo si el volumen de TQ-02 es mayor a 1000 L, se procede a pasar el agua a TQ-01 y solamente ajustar el cloro a 1.5 ppm y recircular por todo el tratamiento completo, hasta obtener los parámetros de agua purificada (cloro en 0 ppm, pH en 7.0, textura, fresca, un ligero sabor y olor a ozono).

La operación de la planta purificadora de Campus I es más sencilla debido a la naturaleza de la materia prima, sin embargo se puede decir que el proceso es homogéneo ya que la operación de ambos Campus es casi la misma, considerando algunas modificaciones las cuales se expresan en los tiempos de preparación de cada lote.



RESULTADOS.

Los resultados experimentales de este trabajo se muestran en este apartado, para hacer más dinámica su comprensión se realizó en forma de tablas, describiendo de forma comparativa el proceso anterior y el nuevo proceso, así se pueden ver los efectos de la optimización.

En función de la calidad de la materia prima, en este caso el agua potable suministrada por la delegación Iztapalapa a los Campus de la FESZ.

Muestreo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	Cl- (ppm)	Color	Olor	Sabor
Campus I	0.0548	7.6	300	200	0	Azul verdoso	Sin olor	Sin sabor
Campus II	0.0548	7.6	300	200	0	Café verdoso	Sin olor	Sin sabor

Tabla 18. Muestra los parámetros físicos y químicos del agua cruda alimentada a cada Planta.

En función de la calidad del producto terminado, en este caso el agua purificada alimentada a los bebederos de cada Campus de la FESZ.

Muestreo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	Cl- (ppm)	Color	Olor	Sabor
Campus I	0.0548	7.6	300	200	0	Azul	Sin olor	Sin sabor
Campus II	0.0548	7.6	300	200	0	Azul Verdoso	Sin olor	Sin sabor

Tabla 20. Muestra los parámetros físicos y químicos del agua purificada alimentada a los bebederos con el proceso anterior.

Muestreo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	pH	Alcalinidad (ppm)	Dureza (ppm)	Cl- (ppm)	Color	Olor	Sabor
Campus I	0.0504	7.0	280	180	0	Azul	Sin olor	Sin sabor
Campus II	0.0504	7.0	280	180	0	Azul	Sin olor	Sin sabor

Tabla 21. Muestra los parámetros físicos y químicos del agua purificada alimentada a los bebederos con el nuevo proceso de purificación.



En función del tiempo de producción de un lote, producción semanal aproximada y servicios requeridos.

Proceso	TQ-01	FL-01	FC-01	FP-01-03	BA-01	BA-02	TQ-02	Observaciones	
Proceso Anterior	PRETRATAMIENTO							Tamaño del lote: 2600 L Producción semanal: 7200 L Gasto semanal en Servicios: 600 L	
	Tiempo aproximado 1 hora								
	TRATAMIENTO COMPLETO								
	Tiempo aproximado 3-4 horas								
LLENADO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN									
Tiempo aproximado 0.75-1.0 hora									
TIEMPO APROXIMADO DE PRODUCCIÓN POR LOTE									
5-6 horas									
Proceso	TQ-01	FL-01	FC-01	FP-01-03	BA-01	BA-02	TQ-02	Observaciones	
Nuevo Proceso	PRETRATAMIENTO							Tamaño del lote: 2600 L Producción semanal: 7200 L Gasto semanal en Servicios: 600 L	
	Tiempo aproximado 0.5 horas								
	TRATAMIENTO PARCIAL								
	Tiempo aproximado 15 minutos								
	TRATAMIENTO COMPLETO								
Tiempo aproximado 15 minutos									
LLENADO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN									
Tiempo aproximado 0.75-1.0 hora									
TIEMPO APROXIMADO DE PRODUCCIÓN POR LOTE									
1.75-2.0 horas									

Tabla 22. Muestra de manera dinámica las diferencias entre el anterior y nuevo proceso de purificación de agua de la planta de Campus I.



Proceso	TQ-01	FL-01	FC-01	FP-01-03	BA-01	BA-02	TQ-02	Observaciones	
Proceso Anterior	PRETRATAMIENTO Tiempo aproximado 4 horas							Tamaño del lote: 2600 L Producción semanal: 7200 L Gasto semanal en Servicios: 600 L	
	TRATAMIENTO COMPLETO Tiempo aproximado 8 horas								
	LLENADO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN Tiempo aproximado 0.75-1.0 hora								
	TIEMPO APROXIMADO DE PRODUCCIÓN POR LOTE 13 horas								
Proceso	TQ-01	FL-01	FC-01	FP-01-03	BA-01	BA-02	TQ-02	Observaciones	
Nuevo Proceso	PRETRATAMIENTO Tiempo aproximado 2-3 horas							Tamaño del lote: 3200 L Producción semanal: 9000 L Gasto semanal en Servicios: 600 L	
	TRATAMIENTO PARCIAL Tiempo aproximado 1 hora								
	TRATAMIENTO COMPLETO Tiempo aproximado 1 hora								
	LLENADO DEL TANQUE DE ALIMENTACIÓN Tiempo aproximado 0.75-1.0 hora								
	TIEMPO APROXIMADO DE PRODUCCIÓN POR LOTE 5-6 horas								

Tabla 23. Muestra de manera dinámica las diferencias entre el anterior y nuevo proceso de purificación de agua de la planta de Campus II.



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

Dentro de la naturaleza de este trabajo experimental se pueden hacer notar grandes cambios en la purificación de agua, debido a que este trabajo se enfoca en la optimización del proceso la manera más general de poder justificarlo es un enfoque hacia los cambios en el proceso, inicialmente se tenía un proceso de purificación básico, por ello la operación era diferente en cada Campus de la FESZ, debido en su mayoría a la calidad de la materia prima.

Un cambio considerado dentro de la optimización fue hacer un proceso más general con pocos cambios en la operación, por ello al optimizar el proceso de purificación se consideraron factores como la calidad de la materia prima, la calidad del producto terminado, la vida útil de cada equipo, su función en solitario y en conjunto, así de manera concreta se pudo lograr la optimización al proceso de purificación de agua de las plantas purificadoras de la FESZ.

La optimización del proceso de purificación de agua no fue sencilla, debido a los diferentes factores que intervienen en ella, sin embargo al dar mantenimiento a los equipos de las plantas, acompañado de una operación más documentada se pudo escribir un nuevo proceso de purificación cuyos resultados en cuanto a calidad son mayores al anterior, sin embargo también se logró mejorar el tiempo de producción, en base a los resultados obtenidos se puede concluir que la optimización al proceso de purificación fue correcta, necesaria y en conjunto a la operación y concientización se podrá producir en las plantas purificadoras de la FESZ agua purificada con los estándares de calidad de la norma NOM-041-SSA1-1993 durante un año, sin mayores cambios en el equipo o en la operación. Acompañado a esta optimización se extiende la vida útil de las plantas purificadoras de agua sin embargo para poder tener un agua de calidad se debe tener la idea de un mantenimiento periódico, con el fin mantener el proyecto de purificación de agua durante mucho tiempo.



CONCLUSIONES.

En base a los resultados de este trabajo se puede ver una clara diferencia entre la producción de agua purificada con el nuevo proceso y el anterior, sin embargo a pesar de ser un nuevo proceso no existieron cambios significativos a la estructura original de las plantas purificadoras, esto debido a que una planta de purificación de agua, al igual que una PTAR o una planta de proceso sigue reglas básicas en su diseño, operación y optimización. Los cambios realizados muestran de manera muy general la flexibilidad de las plantas purificadoras y del proceso de purificación de agua, sin embargo al observarse las diferencias entre los procesos se puede ver que se logró mejorar la calidad del agua purificada, a su vez se logró reducir el tiempo de producción de esta, con el fin de seguir abasteciendo a la comunidad universitaria de este vital líquido.

Para la comunidad universitaria de la FESZ el proyecto de las plantas purificadoras es de sumo interés, demostrado en las diferentes visitas a la plantas purificadoras de parte de la comunidad de ambos Campus con el fin de informarse sobre el proceso, en conjunto con el aumento en los consumos de agua purificada, por ello la optimización del proceso de purificación de agua era necesaria, así mediante un proceso de purificación optimizado, el cual en conjunto con una operación adecuada, se puede garantizar la producción de agua purificada con los estándares de calidad de la norma NOM-041-SSA1-1993 durante un año sin realizar grandes jornadas de mantenimiento.

De forma integral el proyecto de purificación de agua para la comunidad de la FESZ, reafirma el compromiso de esta como “Facultad Promotora de Salud”.



SUGERENCIAS.

En base a mi experiencia en las plantas purificadoras y como parte de este trabajo sugeriría los siguientes puntos.

- Registro y organización por parte de los operadores de planta para acomodar los turnos de trabajo.
- Uso correcto de la bitácora de operación.
- Planeación en el surtimiento de consumibles, al igual de la programación del mantenimiento y todo lo necesario para este.
- Responsabilidad y concientización dirigida a los operadores de planta y a la comunidad universitaria.
- Campañas de información programadas con el fin de dar a conocer el proceso de purificación de agua.
- Además de las pruebas microbiológicas quincenales, realizar pruebas de otros parámetros como son dureza, alcalinidad, nitratos, etc.
- Cambio de los medios filtrantes cada año.
- Registro de las horas de operación de las lámparas de luz UV y de los generadores de ozono.



ANEXOS.

Anexo 1. Abreviaturas.

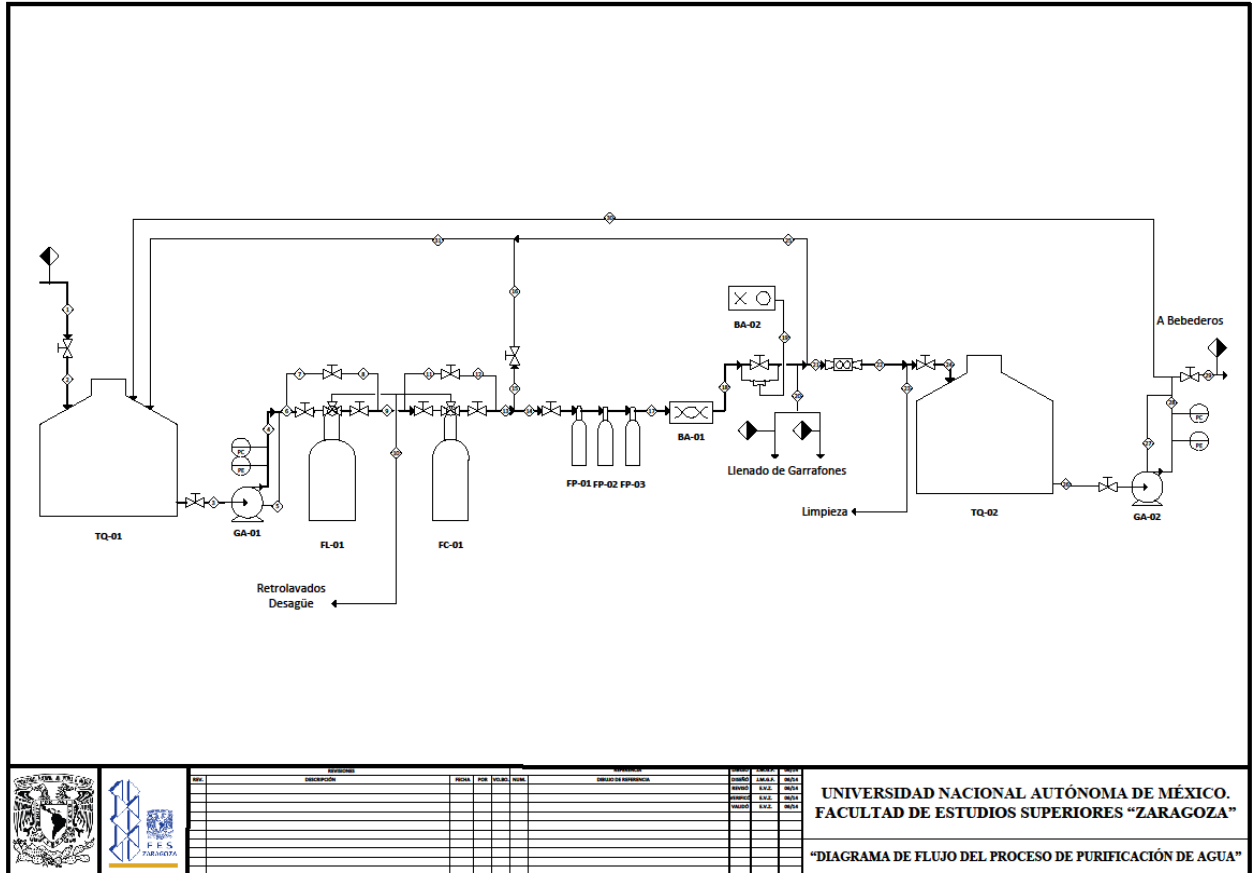
Siglas	Significado
AWWA	American Water Works Association
COFEPRIS	Comision Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
FDA	Food and Drug Administration
FESZ	Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
GAC	Carbón Activado Granular
GSP	Greensand Plus
IBWA	International Bottled Water Association
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
PET	Tereftalato de Polietileno
PPAP	Planta Productora de Agua Purificada.
PTAP	Planta Tratadora de Agua Potable.
PTAR	Planta Tratadora de Aguas Residuales.
UV	Ultra-Violeta

Anexo 2. Tabla de datos para diseño de filtros de plantas purificadoras.

Tanque	Descripción			Flujo de Servicio						Servicios	
	Área Tanque ft ²	Volumen Tanque ft ³	Vol. Med. Filtrante ft ³	Excelente		Normal		Pico		Retrolavado	
				GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM
8'' x 44''	0.35	1.16	0.75	3.49	13.21	4.36	16.5	5.24	19.8	5.24	19.8
9'' x 48''	0.44	1.58	1.00	4.42	16.72	5.52	20.9	6.63	25.1	6.63	25.1
10'' x 54''	0.54	2.19	1.50	5.40	20.44	6.75	25.5	8.10	30.7	8.10	30.7
12'' x 52''	0.78	3.00	2.00	7.80	29.52	9.75	36.9	11.70	44.3	11.70	44.3
13'' x 54''	0.92	3.68	2.50	9.20	34.82	11.50	43.5	19.80	52.2	19.80	52.2
14'' x 65''	1.07	5.10	3.00	10.69	40.46	13.36	50.6	16.03	60.7	16.03	60.7
16'' x 65''	1.39	6.60	4.00	13.90	52.61	17.38	65.8	20.85	78.9	20.85	78.9
18'' x 65''	1.77	8.30	5.00	17.67	66.88	22.09	83.6	26.51	100.3	26.51	100.3
21'' x 62''	2.41	11.00	7.00	24.05	91.04	30.07	113.8	36.08	136.6	36.08	136.6
24'' x 65''	3.14	13.40	10.00	31.42	118.91	39.27	148.6	47.12	178.4	47.12	178.4
30'' x 72''	4.91	25.00	15.00	49.09	185.79	61.36	232.2	73.63	278.7	73.63	278.7
36'' x 72''	7.07	35.30	20.00	70.70	267.60	88.38	334.5	106.05	401.4	106.05	401.4
42'' x 72''	9.62	46.10	30.00	96.20	364.12	120.25	455.1	144.30	546.2	144.30	546.2
48'' x 72''	12.57	61.90	40.00	125.70	475.77	157.13	594.7	188.55	713.7	188.55	713.7
63'' x 67''	21.65	80.20	55.00	213.47	819.34	270.59	1024.2	324.71	1229.0	324.71	1229.0



Anexo 3. Diagrama de Flujo del Proceso de Purificación de Agua.





Anexo 4. Formato de bitácora de operación.



“TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA PARA LOS BEBEDEROS DE LA FES ZARAGOZA”.

Clave: XXXX-XXX-XXX

Fecha: DD/MM/AÑO

Folio: **XXXXXX**



BITACORA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PURIFICADORA

Equipo	Condiciones Iniciales	Condiciones Finales
TQ-01		
FL-01		
GA-01		
FC-01		
FP-01-02-03		
BA-01		
BA-02		
Tarja		
TQ-02		
GA-02		
Otros		

Parámetro	Materia Prima	Producto Terminado
Color		
Olor		
Sabor		
pH		
Cl residual		

Observaciones:



“TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA PARA LOS BEBEDEROS DE LA FES ZARAGOZA”.

Clave: XXXX-XXX-XXX

Fecha: DD/MM/AÑO

Folio: **XXXXXX**



BITACORA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PURIFICADORA

HORA	OPERACIÓN/OBSERVACIONES	NOMBRE Y FIRMA



“TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA PARA LOS BEBEDEROS DE LA FES ZARAGOZA”.

Clave: XXXX-XXX-XXX

Fecha: DD/MM/AÑO

Folio: **XXXXXX**



BITACORA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PURIFICADORA

Equipo	Tiempo en Servicio	Observaciones	Mantenimiento Necesario
TQ-01			
FL-01			
GA-01			
FC-01			
FP-01-02-03			
BA-01			
BA-02			
Tarja			
TQ-02			
GA-02			
Otros			



BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO I.

1. Brown T. L., LeMay H. E., Bursten B. E., Burdge J.R., **“Química La Ciencia Central.”**, 9^{na} ed., Pearson Prentice Hall, México, 2004.
2. Ercilio F., Rodríguez S., Cabel W., Ortiz I., Noriega P., Tejada M., **“Desafíos del Derecho Humano al Agua en el Perú.”**, 2^{da} ed., Alternativa Centro de Investigación Social y Educación Popular, Perú, 2005.
3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, **“Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3 Pasado, Presente y Futuro.”**, 1^{era} ed., España, 2002.
4. Zarate E., González J., **“Manual de Aplicación del Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos en la Industria de Agua Purificada.”**, 1^{era} ed., Secretaria de Salud, México, 1999.
5. Organización Mundial de la Salud, **“Guías para la Calidad del Agua Potable Primer Apéndice a la Tercera Edición Volumen 1 Recomendaciones.”**, 3^{era} ed., Suiza, 2006.
6. 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.”**, México, 1994.
7. Fondo para la comunicación y la Educación Ambiental. **“El Agua en México: lo que todas y todos debemos saber.”**, 1^{era} ed., México, 2006.
8. www.agua.org.mx
9. Romero M., **“Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua.”**, Facultad de Ingeniería – Universidad Rafael Landívar, Boletín No.08, Guatemala.
10. Romero J., **“Potabilización de Agua.”**, 3^{era} ed., Alfaomega, México, 1999.
11. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993, **“Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.”**, Mexico, 1993.
12. www.bottledwater.org.
13. International Conference of Freshwater, **“El Agua: Una de las Claves del Desarrollo Sostenible.”**, Alemania, 2001.
14. Lewis R. J., **“Hawley’s Condensed Chemical Dictionary.”**, 15th ed., John Wiley and Sons Inc, EUA, 2007.
15. www.cofepris.gob.mx
16. Cheremisinof N. P., **“Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies.”**, 2^{da} ed., Butterworth-Heinemann, E.U.A. 2002.
17. Tebbutt T., Yolland H., **“Fundamentos de Control de Calidad del Agua.”**, Limusa, México, 1990.
18. Dekker M., Parekh B., **“Reverse Osmosis Technology: Applications for High-Purity-Water Production.”**, Chemical Industries: Vol.35, EUA, 1988.
19. Maron S., Prutton C., **“Fundamentos de Fisicoquímica.”**, Limusa, México, 2007.
20. McCabe W., Smith J., Harriot P., **“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.”**, 7^{ma} ed, Mc Graw Hill, México, 2007.
21. Andia Y., **“Tratamiento de Agua Coagulación y Floculación.”**, Sedapal, Perú, 2000.
22. Hammer M. J., **“Water and Wastewater Technology.”**, 6th ed., Pearson Prentice Hall, EUA, 2008.
23. Osmonics, **“Osmonics Pure Water Handbook.”**, 2th ed., Osmonics, EUA, 1997.



BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO III.

1. **Fabricantes y proveedores de plantas purificadas y equipo.**
 - A. www.rotomex.com
 - B. Hoja técnica de contenedores de fibra de vidrio.
 - C. Hoja de seguridad del carbón activado granular.
 - D. Hoja técnica de los filtros pulidores.
 - E. Hoja técnica de la luz UV.
 - F. www.jimaja.com.
 - G. Hoja técnica de los sistemas hidroneumáticos (tanque precargado).
 - H. Hoja técnica de los sistemas hidroneumáticos (bomba tipo JET).
 - I. Carbotecnia Boletines Técnicos AG-001 a AG-020 (www.carbotecnia.info).
 - J. Hoja de seguridad de Greensand Plus.
 - K. Tabla de datos para diseño de filtros de plantas purificadoras
 - L. Hoja técnica del medidor de flujo.
2. Hammer M. J., ***“Water and Wastewater Technology.”***, 6th ed., Pearson Prentice Hall, EUA, 2008.
3. O’Connor J.T., O’Connor T., Twait R., ***“Water Treatment Plant Performance Evaluations and Operations”***, John Wiley and Sons Inc, EUA, 2009.
4. Cengel Y.A., Cimbala J.M., ***“Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones.”***, 2^{da} ed., Mc Graw Hill, México, 2006.

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO IV.

1. **Fabricantes y proveedores de plantas purificadas y equipo.**
 - A. Hoja de seguridad de Greensand Plus.
 - B. Carbotecnia Boletines Técnicos AG-001 a AG-020 (www.carbotecnia.info).
2. Romero J., ***“Potabilización de Agua.”***, 3^{era} ed., Alfaomega, México, 1999.
3. Beverly R.P., ***“Water Treatment Process Monitoring and Evaluation.”***, American Water Works Association, EUA, 2012.



" Cuando trates con el agua consulta primero la práctica y luego la teoría."

- Leonardo da Vinci