

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA QUE ALIMENTA AGUA
TRATADA A LAS MÁQUINAS DE HEMODIÁLISIS
DONDE SON CONECTADOS LOS PACIENTES DEL
CENTRO MÉDICO MILITAR QUE PADECEN
INSUFICIENCIA RENAL**

**INGENIERO MECÁNICO
EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA QUE ALIMENTA AGUA
TRATADA A LAS MÁQUINAS DE HEMODIÁLISIS
DONDE SON CONECTADOS LOS PACIENTES DEL
CENTRO MÉDICO MILITAR QUE PADECEN
INSUFICIENCIA RENAL**

POR

**INGENIERO MECÁNICO
EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | | |
|-------------|-------|--------------------------------|
| DECANO: | Ing. | Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I: | Inga. | Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II: | Inga. | Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III: | Ing. | Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV: | Br. | Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V: | Br. | Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIA: | Inga. | Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | | |
|-------------|-------|---------------------------------|
| DECANO: | Ing. | Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR: | Ing. | Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR: | Ing. | José Arturo Estrada Martínez |
| EXAMINADOR: | Ing. | Otto Fernando Andrino González |
| SECRETARIA: | Inga. | Marcia Ivónne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL SISTEMA QUE ALIMENTA AGUA TRATADA A LAS MÁQUINAS DE HEMODIÁLISIS DONDE SON CONECTADOS LOS PACIENTES DEL CENTRO MÉDICO MILITAR QUE PADECE INSUFICIENCIA RENAL,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 19 de marzo de 2007.

Ingeniero Mecánico Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento del Trabajo de Graduación titulado **Evaluación del sistema que alimenta agua tratada a las máquinas de hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen insuficiencia renal**, presentado por el **Ingeniero Mecánico Edwin Estuardo Sarceño Zepeda**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, abril de 2007.

/ap.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **Evaluación del sistema que alimenta agua tratada a las máquinas de hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen insuficiencia renal**, presentado por el **Ingeniero Mecánico Edwin Estuardo Sarceño Zepeda**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, mayo de 2007.

/ap.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D.Postgrado 006.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **EVALUACIÓN DEL SISTEMA QUE ALIMENTA AGUA TRATADA A LAS MÁQUINAS DE HEMODIALISIS DONDE SON CONECTADOS LOS PACIENTES DEL CENTRO MÉDICO MILITAR QUE PADECEN INSUFICIENCIA RENAL**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Edwin Estuardo Sarceño Zepeda**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2007

/cc

DEDICATORIA

- A Dios** Por haberme acompañado e iluminado a lo largo de toda la carrera, por ser mi fortaleza y a quién le debo estar presente en éste y en todo momento, gracias a el pude alcanzar esta meta.
- A mis Padres** Horacio Sarceño García, aunque físicamente ya no lo veo, él vive siempre en mi corazón y mis recuerdos, María Albetina Zepeda Ramos, sea esta la oportunidad para mostrarle mi gratitud por sus sacrificios y oraciones, que Dios te bendiga y proteja siempre.
- A mi esposa** Alba Azucena Cámara de Sarceño, por compartir penas, necesidades, esperanzas, tristezas y alegrías a lo largo de toda la carrera.
- A mis hijos** Luis Estuardo y Edwin Javier, que este logro les sirva de ejemplo y motivación para su vida.
- A mis Hermanos** Alba, Luis, Jorge, Miriam, Eduardo, Byron, Mariela, Gracias por tenderme la mano en cada tropiezo de mi vida.
- A toda mi Familia** Gracias por estar siempre en todos los momentos importantes de mi vida.
- A mis compañeros** En especial a Sigrid Calderón, Hugo de León, Raúl Luarca, Rigoberto Fong, por compartir con migo a lo largo de la carrera, penas, tristezas, alegrías y estar siempre dispuestos a tenderme la mano cuando lo necesitaba, gracias a cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|----------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | IV |
| GLOSARIO | VI |
| RESUMEN | VIII |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | IX |
| JUSTIFICACIÓN | X |
| ALCANCES DEL TRABAJO | XI |
| OBJETIVOS | XII |
| INTRODUCCIÓN | XIII |

1. MARCO METODOLÓGICO

| | |
|-----------------|----|
| 1.1 Metodología | 01 |
|-----------------|----|

2. MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1 Centro Médico Militar | 03 |
| 2.2 Insuficiencia renal | 04 |
| 2.3 Hemodiálisis | 06 |
| 2.4 Máquinas para hemodiálisis | 07 |
| 2.5 Conexión de pacientes en equipos de hemodiálisis | 09 |
| 2.6 Procedimientos en el equipo después de un proceso de dializado | 11 |
| 2.6.1 Pirogenia, Sepsis, Bacteriemia | 11 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.6.2 | Toxicidad por desinfección | 12 |
| 2.7 | Calidad del Agua | 15 |
| 2.8 | Factores que influyen en la calidad del agua | 16 |
| 2.9 | Circuitos de alimentación | 18 |
| 2.10 | Normas Internacionales | 20 |
| 3. | EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA TRATADA PARA EL SERVICIO DE HEMODIÁLISIS DEL CENTRO MÉDICO MILITAR | |
| 3.1 | Caracterización del sistema | 21 |
| 3.2 | Especificaciones de los equipos | 22 |
| 3.2.1. | Filtros de sedimentos | 22 |
| 3.2.2. | Filtros de carbón activado | 23 |
| 3.2.3 | Suavizador | 23 |
| 3.2.4 | Ósmosis inversa | 23 |
| 3.2.5 | Lámpara ultra violeta | 24 |
| 3.3 | Descripción del sistema de tratamiento | 24 |
| 3.3.1 | Sistema de pretratamiento | 24 |
| 3.3.2 | Sistema de tratamiento | 27 |
| 3.4 | Automatización del sistema | 30 |
| 3.5 | Verificación de la operación del sistema | 31 |
| 3.6 | Revisión de la red de distribución de agua a los Equipos de hemodiálisis del Centro Médico Militar | 32 |
| 3.7 | Medición de la velocidad del agua en la red de Alimentación a los equipos de hemodiálisis | 37 |
| 3.8 | Indicadores de contaminantes en relación con los Efectos en la salud del paciente | 42 |
| 3.8.1 | Indicador de cloro y cloramina | 42 |
| 3.8.2 | Indicador de pirógenos y endotoxinas | 43 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.8.3 | Indicador de sodio | 44 |
| 3.8.4 | Indicador de cobre | 45 |
| 3.8.5 | Indicador de síndrome de agua dura | 46 |
| 3.9 | Manual de operación de los sistemas de Tratamiento de agua | 47 |
| 3.9.1 | Descripción de los sistemas de Tratamiento de agua | 47 |
| 2.9.1.1 | Sistema de pretratamiento | 47 |
| 2.9.1.2 | Sistema de tratamiento | 48 |
| 3.9.2 | Automatización del sistema | 50 |
| 3.9.3 | Operación del sistema | 50 |
| 3.9.3.1 | Arranque del equipo | 50 |
| 3.9.3.2 | Paro del equipo | 51 |
| 3.9.3.3 | Despacho del agua en proceso | 51 |
| 3.9.3.4 | Monitoreo del equipo | 51 |
| | CONCLUSIONES | 54 |
| | RECOMENDACIONES | 56 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 59 |
| | ANEXOS | |
| 1. | Calidad del agua para hemodiálisis según MERCOSUR | 59 |
| 2. | Calidad del agua según Norma Mexicana | 60 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Paciente durante proceso de hemodiálisis | 10 |
| 2. | Equipo de hemodiálisis del CMM. | 11 |
| 3. | Esquema conexión proceso de hemodiálisis | 12 |
| 4. | Retrosifonaje de antiséptico | 14 |
| 5. | Filtros de sedimentos del CMM | 23 |
| 6. | Filtros de carbón activado | 24 |
| 7. | Suavizadores de agua del CMM | 25 |
| 8. | Osmosis inversa del CMM | 25 |
| 9. | Sistemas de represurización | 26 |
| 10. | Lámpara ultravioleta | 26 |
| 11. | Sistema de desmineralización de agua del CMM | 27 |
| 12. | Depósito de agua tratada para hemodiálisis | 29 |
| 13. | Origen de la toma de agua para chorro de preparación de líquido de diálisis | 29 |
| 14. | Circuito de alimentación de máquinas de hemodiálisis con su respectivo drenaje | 30 |
| 15. | Drenaje sanitario | 30 |
| 16. | Chorro de alimentación de agua para intensivo | 31 |
| 17. | Sección de tubo sintético que se instaló en lugar de PVC | 32 |
| 18. | Circuito nuevo de alimentación de agua para hemodiálisis del servicio de intensivo | 32 |

TABLA

| | | |
|----|---|----|
| I. | Contaminantes del agua, causa de su presencia, manifestaciones clínicas y método de eliminación | 34 |
|----|---|----|

GLOSARIO

| | |
|--------------------|---|
| Anemia | (del griego, 'sin sangre'), enfermedad de la sangre caracterizada por una disminución anormal en el número de glóbulos rojos (eritrocitos o hematíes) o en su contenido de hemoglobina. |
| Bacteriemia | Infección causada por bacterias, pero estas permanecen poco tiempo en el torrente sanguíneo, utilizándolo sólo como medio de transporte. |
| Cloramina | Composición química compuesta por una molécula de nitrógeno dos moléculas de hidrógeno y una de cloro y al combinarse con el amoniacó forma la hidracina. |
| Diálisis | Tratamiento médico que se utiliza para eliminar los materiales de desecho de la sangre en los pacientes que no presentan una función renal eficaz. |
| Endotoxinas | Toxinas liberadas por la ruptura de las paredes de las bacterias al morir. |
| Filtro | Medio poroso por el cual se hace pasar un líquido para separar un sólido suspendido (como un precipitado) del líquido en el que está suspendido. |

| | |
|--------------------|---|
| Hipotensión | Tensión arterial anormalmente baja. Puede producirse una caída repentina y aguda de la presión arterial como consecuencia de un <i>shock</i> quirúrgico causado por pérdida de sangre (hemorragia), un ataque cardíaco, hipotermia, pérdida de conciencia, sobredosis de drogas, enfermedad de Addison y muchas otras causas. |
| Hemólisis | Ruptura de las membranas de los glóbulos rojos, de modo que la hemoglobina pueda salir de ellos. |
| Manómetro | La mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local. |
| Nanómetro | Milmillonésima parte del metro, ($1 \cdot 10^{-9}$ metros) |
| Necrosis | Muerte de un tejido causada por una enfermedad o por una lesión tisular. |

RESUMEN

La calidad del agua utilizada en el proceso de dialización, representa un factor primordial para la salud del paciente, ya que el agua no controlada puede contribuir en el deterioro acelerado de la misma, lo cual preocupa a las autoridades del Centro Médico Militar y aunque no exista en nuestro país una norma que regule dicho proceso están interesados en conocer la situación actual del sistema de alimentación de agua de éste centro asistencial y de ser posible tomar las medidas correctivas necesarias, para garantizar el bienestar del paciente que presenta problemas de insuficiencia renal. Para poder lograr este cometido fue necesario realizar una investigación de tipo inductiva, ya que se partió de un determinado grado de universalidad, es decir, cada elemento que compone el sistema de tratamiento de agua y el circuito de alimentación, para obtener una universalidad mayor como el funcionamiento en conjunto del sistema de tratamiento y circuito de alimentación de agua del servicio de hemodiálisis del Centro Médico Militar.

Al estudiar y analizar dicho sistema se encontró una serie de equipos ideales para un tratamiento de agua de este tipo, sin embargo, por un mal diseño y la inexistencia de un plan de conservación acorde al uso y antigüedad del equipo, éste no estaba realizando satisfactoriamente su función, por lo que fue necesario corregir diferentes errores de diseño en la marcha por lo delicado del proceso y realizar un estudio de los posibles contaminantes del agua del sistema, para crear una serie de indicadores que puedan ser utilizados en el monitoreo del proceso y con ello, prevenir el deterioro de la salud de los pacientes de éste centro asistencial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Centro Médico Militar cuenta con un sistema de tratamiento y distribución de agua para los equipos de hemodiálisis, sin embargo no posee control en la operación y mantenimiento del equipo, en la calidad del agua entregada, en el mantenimiento de la red de distribución, ni posee un control de evaluación, para saber si se cumple con los estándares mínimos de calidad necesarios para proporcionar dicho servicio, sin perjudicar el estado físico y emocional de los pacientes tratados.

JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua conque son alimentadas las máquinas de hemodiálisis es importante para que sean mínimas las reacciones secundarias de dicho tratamiento en el paciente y pueda llevar una vida normal cuando se encuentre desconectado de la máquina.

Una mala calidad del agua conque se alimenta una máquina de hemodiálisis es capaz de acelerar el padecimiento de un paciente con insuficiencia renal que es tratado en la misma, ya que ésta puede contribuir a la aparición de un infarto, derrame cerebral y otras complicaciones en la salud del mismo, por lo que tener controlados los parámetros se hace necesario por el bien del paciente tratado.

ALCANCES DEL TRABAJO

En el Centro Médico Militar se encuentra instalado desde el año 2002, un sistema de tratamiento específico para el agua de alimentación de las máquinas de hemodiálisis, consistente en filtros de carbón activado para eliminar el olor del agua de alimentación, filtros de resina de zeolita para eliminar la dureza del agua, equipo de ósmosis inversa para desmineralizarla y luz ultravioleta para purificarla, este sistema al igual que la recomendación de que el circuito de alimentación fuera cerrado para mantener el agua siempre en circulación se originó en la División de Ingeniería de este centro asistencial, sin embargo no se participó directamente en el montaje, ya que la empresa que suministra los productos y máquinas necesarias para realizar la hemodiálisis, fue quien lo realizó, quedando esta misma empresa responsable del mantenimiento por un período de dos años y de la capacitación de personal de hemodiálisis para su operación y mantenimiento, en la actualidad dicho sistema ya presenta deficiencias debido al envejecimiento, mal mantenimiento y errores del diseño.

En el presente trabajo de graduación, se determinarán las razones por las cuales el sistema de alimentación de agua instalado no proporciona agua de calidad a las máquinas de hemodiálisis, cómo influye la disposición del circuito de alimentación en la calidad de agua entregada, se describirán los controles y procedimientos necesarios en la operación del sistema y se propondrán los indicadores necesarios para evaluar el efecto de los contaminantes del agua más perjudiciales para la salud del paciente, sin embargo debido al envejecimiento del equipo y tubería, será necesario evaluarlos cada año.

OBJETIVOS

General

Determinar si el sistema actual de tratamiento y alimentación de agua a las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar cumple con los requisitos mínimos necesarios para el buen tratamiento de los pacientes con insuficiencia renal y de ser necesario proponer las mejoras que deben hacerse a dicho sistema.

Específicos

1. Determinar las razones por las que los equipos de tratamientos instalados en el Centro Médico Militar no pueden suministrar agua de calidad a las máquinas de hemodiálisis.
2. Determinar cómo puede influir el circuito de alimentación de agua de las máquinas de hemodiálisis instaladas en el Centro Médico Militar en la calidad del agua suministrada.
2. Determinar cuáles son los controles y procedimientos necesarios en la operación del sistema de tratamiento de agua que alimentan las máquinas de hemodiálisis y cómo puede medirse el efecto de los mismos en la salud del paciente.

INTRODUCCIÓN

La utilización de dializadores de alto flujo con elevadas probabilidades de retrofiltración y la denominada técnica *on-line*, infusión del propio Líquido de Diálisis al paciente, establece la necesidad de nuevos elementos y/o configuraciones en los tratamientos de agua, de tal manera que, no sólo se consiga la calidad del agua de forma inmediata a la instalación o modificación del tratamiento, sino que, permanezca a lo largo del tiempo de forma fiable, tanto en calidad como en cantidad, ya que el agua va ocupar más del 96 % del volumen del Líquido de Diálisis.

A pesar de los grandes avances a nivel mundial sobre éste tema, no existe un sistema universal, ya que éste dependerá de varios factores propios de cada sistema, sin embargo existen varias recomendaciones muy generalizadas, de cómo debe ser un tratamiento de agua que alcance la calidad de agua ultrapura una vez pretratada: doble etapa de ósmosis, o una etapa con un segundo elemento compuesto por una de las siguientes opciones o combinación de ellas a) lámpara U.V. más ultrafiltro; b) ultrafiltro; c) electrodesionizador. A la vez, es necesario diseñar e implementar elementos que ejerzan una función de limpieza que proporcionen el retardo del deterioro de la calidad y cantidad del agua producida por la pérdida de eficacia de los diferentes componentes del tratamiento, debido principalmente a la acumulación en la membrana de osmosis de los elementos por ella retenidos.

Tan importante como el tratamiento de agua es la distribución de la misma hasta los monitores de hemodiálisis: el agua tratada almacenada es

susceptible de sufrir contaminaciones; no deben existir fondos de saco, piezas con hendiduras o formas que puedan servir de reservorio o impedir el flujo laminar, incluyendo como parte de la red de distribución el propio tubo de toma de agua del monitor. Por todo ello, el agua debe ser distribuida de manera que esté en permanente circulación, incluido hasta el monitor, a velocidad no menor de 1m/seg. regresando la no utilizada al tratamiento de agua para ser de nuevo tratada.

En el Centro Médico Militar no se cuenta con un registro de cuándo y cómo se inició el proceso de hemodiálisis dentro de la institución, menos de la creación de una sala para atención de pacientes con insuficiencia renal crónica, sin embargo, al dialogar con el personal antiguo del Centro Médico Militar, estos convergen que a mediados de los años ochenta se instaló el primer filtro rudimentario, con el fin de purificar el agua para dicho tratamiento, en los años noventa con el traslado a las nuevas instalaciones y donde puede notarse que no existió una planificación para este servicio, se instala sobre puesta una red de tubería de pvc de 1/2" en el área de emergencia, con el objeto de tratar a pacientes con insuficiencia renal crónica, dicha red fue acoplada a la red de agua tratada que alimenta el área de calderas, lavandería y central de equipo, el agua tratada es sustraída de un pozo de 900 pies de profundidad, luego es almacenada en un tanque de captación para ser bombeada a otro tanque de distribución, en el intermedio de estos dos tanques es pasada por un sistema de filtros de grava y carbón activado y otro de resina de zeolita con el objeto de eliminar la dureza del agua, lo que fue bien visto por el personal que planificó el suministro de agua al área de hemodiálisis. Los problemas no tardaron en aparecer, ya que los filtros de los equipos de hemodiálisis presentaban frecuentemente taponamientos por algas y las complicaciones en los pacientes aumentaban, por lo que fue necesario instalar en dicha red dos filtros auxiliares de cartucho de 25 y 15 micras, lo que mejoró el proceso.

En el país las personas con problemas renales fue en aumento y los pocos centros de atención tuvieron gran demanda, por lo que la autoridades vieron una oportunidad de crecer y con una visión futurista decidieron equipar un encamamiento con este tipo de servicio, por lo que la empresa que suministró el equipo de hemodiálisis recomendó que se instalara un sistema de ósmosis inversa, para eliminar los minerales del agua y reducir los sólidos disueltos. Este equipo a los pocos años de ser instalado comenzó a dar problemas de operación y al no tener tanto la empresa que lo suministró como la División de Ingeniería y Mantenimiento del Centro Médico Militar personal idóneo para brindarle mantenimiento, esta última a través del departamento de Mecánica tomó la iniciativa de informarse sobre el funcionamiento y cuidados de dicho equipo procediendo a realizarle un lavado de membrana con ácido muriático y soda cáustica, en cuyo procedimiento se elevaba el PH del agua a 12.5 y luego se bajaba a 4.5 con el objeto de eliminar sedimentos orgánicos e inorgánicos de la membrana, luego se procedía al sanitizado de la membrana y tubería de distribución de agua con formol, el proceso total consumía un total de 36 horas continuas y se repetía cada seis meses, luego cada tres y por último cada mes.

Debido a lo anteriormente descrito la División de Ingeniería recomendó que se cambiara el sistema y que se alimentara del circuito de agua potable, ya que esta estaba clorada y no permitía el crecimiento de algas que era lo que más provocaba problemas, pero para realizar dicho cambio era necesario instalar una serie de elementos, tales como un filtro de sedimentos, uno de carbón activado para eliminar el cloro, un sistema de suavización de agua, luego un equipo de osmosis el cual depositaría el agua en un recipiente sellado no traslucido, luego el agua de este recipiente fuera bombeado por un sistema hidroneumático al sistema de alimentación de las máquinas no sin

antes pasar por un filtro de luz ultravioleta y que este sistema de alimentación fuera un circuito cerrado.

En el año 2002 fue instalado un sistema de tratamiento específico para el agua de alimentación de las máquinas de hemodiálisis, como el que fue recomendado por la División de ingeniería, pero ésta no participó directamente en el montaje, ya que la empresa que suministra los productos y máquinas necesarias para realizar la hemodiálisis fue quien lo realizó, quedando esta misma empresa responsable del mantenimiento por un período de dos años y de la capacitación de personal de hemodiálisis para su operación y mantenimiento, en la actualidad dicho sistema presenta deficiencias debido al envejecimiento, mal mantenimiento y errores del diseño, los cuales serán analizados en el presente trabajo.

1. MARCO METODOLÓGICO

1.1 Método de Investigación

Por la razón del estudio que se efectuará se considera que será del tipo descriptivo y los métodos a utilizar serán:

1.1.1 Método Inductivo

Se partirá de un determinado grado de universalidad, en este caso cada elemento que compone el sistema de tratamiento de agua y el circuito de distribución, para obtener una universalidad mayor, como lo es el funcionamiento en conjunto del sistema de tratamiento y circuito de alimentación de agua utilizada en las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar.

1.2 Técnicas de investigación a utilizar

Las técnicas de investigación a utilizar serán:

1.2.1 Entrevistas con el personal encargado de la operación y mantenimiento de los equipos de tratamiento de agua y máquinas de hemodiálisis en el Centro Médico Militar, para determinar los procedimientos que realizan en el tratamiento de agua.

1.2.2 Lectura y análisis de los manuales existentes en la División de ingeniería, de los equipos de tratamiento de agua para las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar, para determinar las características típicas de cada elemento.

1.2.3 Observaciones directas con el apoyo del personal de fontanería y operadores, para determinar las condiciones cualitativas y cuantitativas de los equipos de tratamiento de agua y circuito de alimentación, para obtener datos en cuanto al diferencial de presión en los equipos, funcionamiento de lámpara ultravioleta y condición actual del circuito de alimentación del agua a las máquinas de hemodiálisis.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Centro Médico Militar

Institución del Ministerio de la Defensa Nacional al servicio de la Salud de los elementos de la Fuerza Armada Guatemalteca, el acuerdo con fecha 9 de octubre de 1880 en donde el General Justo Rufino Barrios crea el Hospital Militar fue publicado en El Guatemalteco, periódico oficial de esa época, el jueves 14 de ese mismo mes, en su número 310, y bajo los siguientes términos:

“Considerando que es un deber del gobierno auxiliar de una manera eficaz a los individuos del ejército que pierden la salud a consecuencia del servicio; que siguiendo los buenos presuntos administrativos es necesario la creación de un establecimiento especial en donde bajo una inspección facultativa adecuada, puedan encontrar los militares una buena asistencia profesional; que el Hospital de esta ciudad a causa del crecido número que a el acuden no puede prestar la asistencia especial que demandan los enfermos militares; el General Presidente acuerda: Establecer en el edificio que ocupaba el Colegio de niños en Ciudad Vieja, un Hospital Militar, para lo cual se invertirán los fondos suscritos por varios Jefes del Ejército, comuníquese”. Hay una firma, y abajo, “Rubricado por el Señor General Presidente Barrundia”.

El Hospital fue inaugurado el miércoles 16 de marzo de 1881 y provisto de una sala de medicina y otra de cirugía con 26 camas de hierro cada

una, tenía también una sala destinada a las operaciones quirúrgicas, con su correspondiente pila y suministro de agua.

El edificio donde fue construido el Hospital Militar, se conocía antiguamente con el nombre de Colegio de San José, perteneciente a las Ursulinas, donde se instruía a las niñas pobres, siendo una sucursal de "Belén", lo que es la actualidad la manzana comprendida entre la 10a. y 11 calle y Avenida La Reforma, zona 10.

2.2 Insuficiencia renal

También conocida como insuficiencia del riñón o insuficiencia aguda del riñón, la insuficiencia renal es una pérdida súbita de la capacidad del riñón para excretar los residuos, concentrar la orina y conservar los electrolitos. ("Aguda" significa súbita y "renal" referente a los riñones). Los riñones filtran los residuos y excretan los líquidos al usar la presión natural del torrente sanguíneo. Existen numerosas causas potenciales de daño a los riñones, siendo las más comunes:

- ❖ La disminución en el flujo sanguíneo. Esto puede ocurrir cuando la presión arterial baja es extrema a causa de trauma, cirugía complicada, shock séptico, hemorragia, quemaduras y deshidratación asociada u otras enfermedades complejas o severas.
- ❖ La necrosis tubular aguda (NTA): puede ocurrir cuando los tejidos no están recibiendo suficiente oxígeno o cuando la arteria renal está obstruida o estrecha.
- ❖ Exceso de exposición a metales, disolventes, materiales de contraste radiográfico, ciertos antibióticos y otros medicamentos o sustancias.

- ❖ La mioglobinuria (mioglobina en la orina): esta condición puede ser causada por rhabdomiólisis, consumo excesivo de alcohol, lesión por aplastamiento, muerte de tejido muscular por cualquier causa, convulsiones y otros trastornos.
- ❖ Lesión directa al riñón.
- ❖ Infecciones como la pielonefritis aguda o la septicemia.
- ❖ Obstrucción del tracto urinario, como el estrechamiento del mismo (estenosis), tumores, cálculos renales, nefrocalcinosis o agrandamiento de próstata con la subsecuente uropatía obstructiva aguda bilateral.
- ❖ El síndrome nefrítico agudo severo.
- ❖ Trastornos sanguíneos como la púrpura trombocitopénica idiopática (PTI), una reacción transfusional u otros trastornos hemolíticos, hipertensión maligna y trastornos resultantes del parto como sangrado, desprendimiento de placenta o placenta previa pueden causar daño renal.
- ❖ Los problemas autoinmunes, como esclerodermia, pueden también causar insuficiencia renal aguda.
- ❖ El síndrome hemolítico urémico es una de las causas cada vez más frecuentes de insuficiencia renal aguda en los niños pequeños. Una bacteria que secreta toxina, *Escherichia coli*, que se encuentra en carnes contaminadas mal cocidas, ha sido implicada como la causante del síndrome hemolítico urémico.

2.2 Hemodiálisis

Los riñones sanos se ocupan de limpiar la sangre y eliminar el líquido en exceso en forma de orina. También fabrican sustancias que mantienen sano el organismo. Si los riñones ya no funcionan en 10 a 15 por ciento, la diálisis reemplaza algunas de estas funciones. Existen dos tipos diferentes de diálisis: hemodiálisis y diálisis peritoneal.

A semejanza de los riñones sanos, la diálisis mantiene sano el organismo, mediante la eliminación de los desechos, la sal y el agua excesiva para prevenir su acumulación en la sangre, mantiene también un nivel adecuado de ciertas sustancias químicas en la misma ayudando a controlar la presión sanguínea. La diálisis que se lleva a cabo por medio de una máquina y un filtro especial denominado riñón artificial o dializador, (ver figura 1.) con el objeto de limpiar la sangre, se conoce con el nombre de hemodiálisis. Para poder llevar la sangre al dializador, el médico tiene que establecer un acceso o entrada a los vasos sanguíneos, ello requiere una intervención de cirugía menor, que generalmente se lleva a cabo en el brazo. Aproximadamente un año antes de que se necesite empezar a dializarse, el médico refiere al paciente a un cirujano especializado, llamado cirujano vascular. Esto permite que haya tiempo suficiente para que se determine el mejor acceso para sus necesidades.

La hemodiálisis (ver figura 1) se realiza mediante un dializador o filtro compuesto de dos partes, una para la sangre, la otra para un líquido de lavado que se denomina dializado. Una membrana de poco espesor separa las dos partes. Los glóbulos rojos y blancos de la sangre, las proteínas y otros elementos importantes permanecen en la sangre porque son demasiado grandes para pasar a través de la membrana. Los productos de desecho más

pequeños que se encuentran en la sangre, tales como la urea, la creatinina, el potasio y el líquido en exceso, pasan a través de la membrana y son eliminados por el lavado. El tamaño de ciertas sustancias contenidas en la sangre determina si se les puede eliminar. El agua, la urea y la creatinina son suficientemente pequeñas como para que se les pueda filtrar. La proteína y los glóbulos de la sangre no lo son. En general, los tratamientos de hemodiálisis duran unas cuatro horas, y se los lleva a cabo tres veces por semana.

Figura 1. Paciente durante proceso de hemodiálisis



2.4 Máquinas para hemodiálisis

Existen diferentes tipos de máquinas utilizadas para realizar hemodiálisis a pacientes con insuficiencia renal, estos equipos deben poseer como mínimo los siguientes elementos:

- ❖ Monitor de presión de la solución de diálisis;
- ❖ Monitor de conductividad;
- ❖ Monitor de temperatura
- ❖ Detector de burbujas;
- ❖ Monitor de presión de las líneas arteriales y venosas
- ❖ Alarmas con suspensión de funcionamiento.

Los equipos utilizados en el Centro Médico Militar, cumple con los requisitos anteriores y el sistema de monitoreo que utilizan es uno de los más modernos del medio, uno de estos equipos es el que se muestra en el Figura 2.

**Figura 2. Equipo de hemodiálisis
Centro Médico Militar**



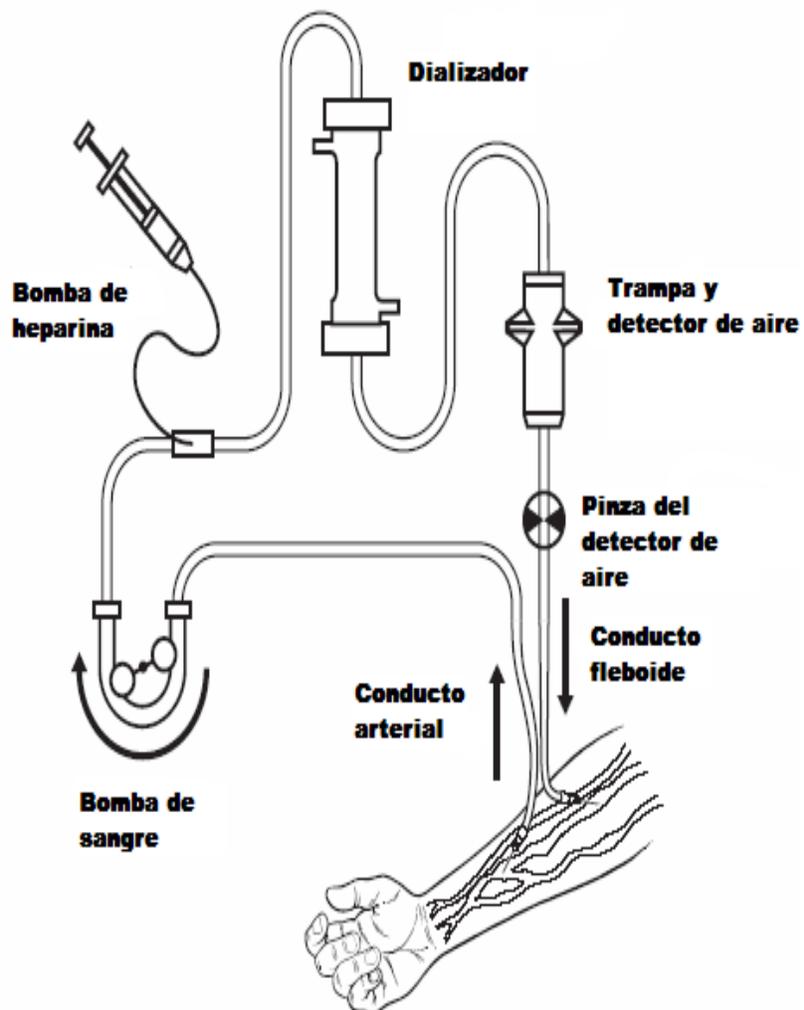
2.5 Conexión de pacientes a equipos de hemodiálisis

La conexión de pacientes con insuficiencia renal puede hacerse de tres tipos de formas diferentes siendo estas:

- ❖ Un acceso denominado fístula (ver Figura 3), que se lleva a cabo uniendo una arteria con una vena cercana, debajo de la piel, para formar así un vaso sanguíneo más grande. Este tipo de acceso es el preferido, porque presenta menos complicaciones y dura más tiempo.
- ❖ El segundo tipo de acceso disponible, denominado injerto, se utiliza en caso que los vasos sanguíneos no sean adecuados para hacer una fístula. En tales casos, es posible que el médico utilice un tubo blando de plástico para unir una arteria a una vena debajo de la piel. Esto es lo que se llama un injerto. Una vez que la fístula o injerto haya cicatrizado, si el paciente necesita diálisis, se colocan dos agujas, una del lado de la arteria y la otra del lado de la vena de su fístula o injerto. Las agujas están conectadas a tubos de plástico que llevan la sangre al dializador, en el cual se limpia y se lleva de vuelta a su organismo.
- ❖ Otro tipo de acceso se denomina catéter. Dicho catéter puede ser introducido en una vena grande del cuello o del tórax. En general, este tipo de acceso se utiliza durante un corto periodo de tiempo; pero en algunos casos puede ser usado como acceso permanente. Los catéteres se pueden

conectar directamente a los tubos que van a la máquina de diálisis, por lo tanto no se usan agujas.

Figura 3. conexión para un proceso de hemodiálisis



2.6 Procedimientos en el equipo después de un proceso de dializado

Algunos estudios internacionales revelan que las condiciones de humedad de los equipos de diálisis proporcionan un ambiente adecuado para el crecimiento bacteriano y, por tanto, la aparición de reacciones adversas en pacientes de riesgo tales como: reacciones a pirógenos, síndrome posdiálisis, alteraciones de la respuesta inmunitaria, arteriosclerosis, debilidad muscular, pérdida de masa ósea, y otras. Un equipo mal acondicionado puede provocar daños al paciente dializado ya que el riesgo de una infección es grande tanto que según estudios realizados en otros países del 10 al 18% de la mortalidad del dializado se debe a causa de una infección, siendo las más comunes, las debidas a virus, bacterias, esporos, algas y hongos, las cuales pueden ser atribuidas al agua de diálisis, concentrado y a las máquinas de hemodiálisis, los casos más comunes de infecciones inducidas por problemas de malos procedimientos de desinfección de los equipos de hemodiálisis y sus posibles causas son los que se muestran a continuación:

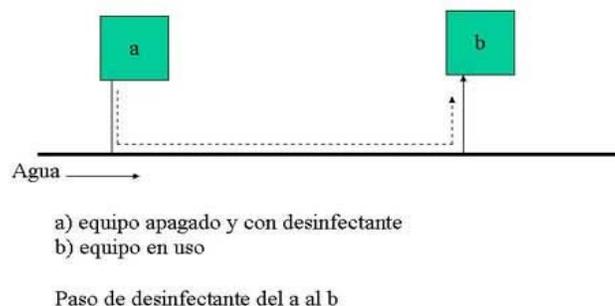
2.6.1 Pirogenia, Sepsis, bacteriemia

- ❖ Estancamiento y espacios muertos en equipos o áreas sin acceso al desinfectante.
- ❖ Falta de drenaje sanitario que evite la absorción de desechos desde el drenaje.
- ❖ Falla en la incorporación automática del desinfectante (falla en la bomba de provisión)

2.6.2 Toxicidad por desinfección

- ❖ Mal enjuague del desinfectante por pobre diseño del equipo o con mal activación de la desinfección calórica durante la diálisis. HEMOLISIS.
- ❖ Incorporación de desinfectante durante la diálisis. HEMOLISIS Y MUERTE, por pasaje de esterilizante desde un equipo vecino. (Ver Figura No.4)
- ❖ Infección por Sólo efectuar desinfección térmica y no química.
- ❖ Reacción pirogénica (escalofríos, Aumento de $> 1^{\circ}\text{C}$ de temp, Sueño).
- ❖ Bacteriemia (hemocultivo +)
- ❖ Hemólisis (sangre color oporto en bureta venosa y líneas, precordialgia, disnea, hipotensión, hiperkalemia, caída de hematocrito)

Figura 4. Retrosifonaje de antiséptico



De acuerdo con lo anteriormente descrito, se puede decir que el crecimiento de gérmenes en especial Gram, se ven favorecidos cuando en el equipo se dan los siguientes efectos:

- ❖ presencia de Glucosa
- ❖ temperatura del baño
- ❖ períodos de inactividad del equipo
- ❖ residuos de agua o baño al apagarlo.

Las máquinas de hemodiálisis deben ser sometidas a un proceso de desinfección cuando se den uno de los siguientes casos:

- ❖ Al fin de cada sesión de diálisis
- ❖ Después de toda ruptura del filtro de diálisis
- ❖ Al poner en marcha un equipo por un tiempo fuera de servicio
- ❖ Después de toda reparación
- ❖ Siempre que se dialice a un infeccioso
- ❖ Los equipos fuera de servicio, deben desinfectarse cada tres semanas.

El proceso de preparación de una máquina de hemodiálisis debe incluir como mínimo las siguientes actividades:

- ❖ Lavado pre desinfección restos de baño, restos de glucosa (caramelización por calor), restos de sangre.
- ❖ Detergente. Elimina el Biofilm.
- ❖ Desincrustación. Anti Carbonatos de Calcio y de Magnesio.
- ❖ Desinfección. Elimina el mayor número posible de bacterias, virus y micetos.

- ❖ Lavado post desinfección. Saca residuos del desinfectante, gérmenes muertos, endotoxinas
- ❖ Lavado de superficie exterior del equipo. Debe hacerse entre pacientes con agua jabonosa y desinfectada con cloro 1.000 ppm

Para realizar las actividades anteriores es necesario que el desinfectante posea las siguientes características:

- ❖ Bactericida y Esporicida
- ❖ Virucida
- ❖ Fungicida
- ❖ Poco tiempo de contacto necesario
- ❖ Decalcificador. Desincrustador
- ❖ Detergente antibiofilm
- ❖ Seguro para el personal y el medio ambiente
- ❖ No corrosivo
- ❖ No cancerígeno
- ❖ Fácil de remover con agua y detectables sus residuos

Cabe indicar que si bien es cierto que un desinfectante que cumple con las características ideales plasmadas anteriormente es bueno alternar de productos con diferentes modos de acción bactericida, como también llevar un programa de seguimiento bacteriológico.

2.7 Calidad del agua

Durante los últimos años se ha incrementado notablemente el número de personas con enfermedades renales que son sometidas a hemodiálisis. La calidad del agua para la fabricación del líquido de diálisis es un requisito imprescindible a tener en cuenta, ya que la sangre de los pacientes dializados se pone en contacto con 300-400 litros de agua semanales y lo hace a través de una membrana no selectiva. Por otra parte, la insuficiencia renal les impide eliminar los contaminantes acumulados, lo que les puede ocasionar una verdadera intoxicación

Las principales causas de muerte de los pacientes dializados se deben a los accesos vasculares y a la deficiente calidad del agua, lo cual demuestra que las infecciones constituyen el segundo motivo de muerte. Además, las endotoxinas derivadas de los gérmenes Gram negativos pueden atravesar la membrana de diálisis y producir efectos adversos a la salud.

Las unidades de hemodiálisis en otros países están sujetas a normas de funcionamiento en cuanto a la calidad del agua y al líquido de diálisis. Estas normas varían de un país a otro y están evolucionando en el sentido de exigir más calidad, en nuestro medio no existe norma oficial ni un ente regulador para estos procedimientos, por lo que las instituciones encargadas de realizarlos solo tratan de adaptarse a normas internacionales, pero por el costo elevado de los controles nunca los llevan a cabo. Las mejoras técnicas del tratamiento del agua y del líquido de diálisis en países que tienen normativos y entes reguladores han logrado que la calidad en cuanto a contaminación por partículas y solutos sea buena. Sin embargo, no ha sucedido así con la

contaminación bacteriana y las endotoxinas, pues han persistido como un problema importante.

Entre las bacterias Gram negativas reportadas con frecuencia en las aguas efluentes de los sistemas de tratamiento de las unidades de diálisis se encuentran especies de los géneros *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Klebsiella*, *Candida*, *Xanthomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Achromobacter* y *Serratia*. La *Pseudomona aeruginosa* se considera como uno de los microorganismos más comunes en las unidades de diálisis y en la sepsis intrahospitalaria.

El recuento de bacterias heterótrofas viables es una de las técnicas más utilizadas para verificar la calidad del tratamiento del agua de diálisis. Aunque el objetivo de este trabajo no es evaluar la calidad microbiológica del agua, sino verificar si las condiciones de tratamiento, almacenamiento y transporte del agua utilizada para alimentar el sistema cumple con los estándares internacionales, dentro del plan de mantenimiento se incluirán los procedimientos y rutinas necesarias que ayuden a cumplir con dicha calidad.

2.8 Factores que influyen en la calidad del agua

Los factores externos que influyen en la calidad del agua suministrada a equipos de hemodiálisis son:

- ❖ Calidad del agua de alimentación a los sistemas de tratamiento

- ❖ Mala disposición de los sistemas de prefiltros, filtros de carbón activado, suavizadores de agua.
- ❖ Mala estanqueidad entre membranas que podía implicar durante las fases de parada el paso de agua a través de ellas.
- ❖ Almacenamiento de agua tratada en depósitos no estancos.
- ❖ Red de distribución con numerosos fondos de saco, incluidos los tubos de alimentación de agua de los monitores, tuberías de diámetro excesivamente grande que implicaban una velocidad $< 0'3$ m/seg. y la posibilidad de que no circulase a sección de tubo completa
- ❖ Red de distribución realizadas en PVC el cual no solo es capaz de degradarse con el tiempo y aportar elementos indeseables al agua incluidos los pegamentos utilizados en su montaje, si no que por lo delgado de sus paredes deja pasar la luz solar colaborando en el crecimiento de algas en el sistema.
- ❖ La inexistencia de un elemento en la red de distribución para eliminar contaminaciones.

Según estudios realizados en diferentes países que llevan un estricto control de la calidad del agua han reportado que el agua de los suavizadores permite un rápido y elevado crecimiento bacteriano que depende directamente de la calidad de agua suministrada a los mismos, por lo que si se almacena agua suave es necesario que como máximo sea una cantidad equivalente al consumo de un día y tener instalados equipos de desinfección posteriores al depósito y antes de la línea de alimentación de las máquinas. Con respecto al circuito de alimentación es recomendable que la tubería sea del menor diámetro posible y la conexión de las máquinas sea directo al circuito o la manguera de acople lo más pequeña posible.

2.9 Circuito de alimentación

Tan importante como el tratamiento de agua es la distribución de la misma hasta los monitores de hemodiálisis: el agua tratada almacenada es susceptible de sufrir contaminaciones; no deben existir fondos de saco, piezas con hendiduras o formas que puedan servir de reservorio o impedir el flujo laminar, incluyendo como parte de la red de distribución el propio tubo de toma de agua del monitor. Por todo ello, el agua debe ser distribuida de manera que esté en permanente circulación, incluido hasta el monitor, a velocidad en torno a $>1\text{m/seg.}$ regresando la no utilizada al tratamiento de agua y ser de nuevo tratada.

Los fondos de saco que pueden ser origen de contaminaciones, incluidos en ellos las propias tomas (mangueras) de los monitores, lo cual nos indicaba que la red de distribución debería ir hasta los propios monitores. Por otro lado debía ser realizado con materiales que no pudiesen aportar elementos indeseables al agua (cobre, hierro, aluminio, PVC, etc.), que omitiese empalmes, codos, conexiones, etc. que no garantizan flujo laminar o que pueden presentar huecos donde proliferar el crecimiento bacteriano.

Existen diversos sistemas de distribución de agua, pero cada uno trae inmerso sus problemas, por ejemplo si se lleva todo el caudal de la red de distribución hasta cada uno de los monitores, con un tubo doble (ida y vuelta) de la misma sección que el resto de la red se corre el riesgo, de que movimientos extemporáneos de algún monitor pudiese estrangular el tubo e incluso romperlo dejando sin agua al resto de unidades.

Si el sistema elegido contempla un anillo general de distribución y luego anillos secundarios, uno por puesto, de manera que garantice el flujo constante por todo el circuito de distribución hasta el propio monitor, es necesario instalar llaves en cada anillo secundario tanto para la alimentación como para el retorno, lo cual puede provocar caídas de presión o romper el flujo laminar. Si el anillo anterior se construyera con acero inoxidable de calidad farmacéutica lo que permitiría desinfecciones por calor, sin elementos internos que puedan romper el flujo laminar y sin huecos que puedan servir como reservorio, es necesario aplicar una soldadura especial en ausencia de oxígeno para evitar oxidaciones, como también el uso de equipo sofisticado para realizar las curvas en “U” y personal experto en soldadura. Lo que elevaría demasiado los costos de instalación.

El diseño de la red juega un papel importante en el proceso de dializado, por lo que para definir el sistema a utilizar se debe tomar en cuenta como mínimo que el circuito tenga siempre un retorno de flujo, es decir no existan áreas en donde pueda estancarse el agua, se mantenga un flujo de agua con velocidad mayor a 1 m/s, se instale tanto al inicio como al final del anillo puntos para tomar las muestras que eviten la manipulación de conexiones para realizarlas, que el grosor de la tubería sea el adecuado para no permitir el paso de luz y si es de metal que sea de acero inoxidable de calidad farmacéutica. El circuito debe tener como mínimo un equipo de desinfección (UV, ozono) a la entrada del mismo.

2.10 Normas internacionales

Las unidades de hemodiálisis están sujetas a normas de funcionamiento, en cuanto a la calidad del agua y al líquido de diálisis. Estas normas varían de unos países a otros y están evolucionando en el sentido de exigir más calidad. Las mejoras técnicas del tratamiento del agua y del líquido de diálisis han logrado que su calidad en cuanto a contaminación por partículas y solutos sea buena. Sin embargo, no ha sucedido así con la contaminación bacteriana y las endotoxinas, pues han persistido como un problema importante.

Para garantizar la calidad del proceso de hemodiálisis existen varias normas internacionales, entre ellas tenemos Norma Oficial Mexicana NOM-171-SSA1-1998, para la práctica de hemodiálisis, MERCOSUR/GMC/RES. N° 28/00, Asociación para el Progreso de los Instrumentos Médicos de los Estados Unidos de América AAMI, etc, en Guatemala a la fecha no se ha adoptado ninguna de ellas para normar dicho servicio, sin embargo tomando en cuenta la globalización y las exigencias cada día mayores de la calidad del servicio, es necesario adoptar al menos una o crear la propia.

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA TRATADA PARA EL SERVICIO DE HEMODIÁLISIS DEL CENTRO MÉDICO MILITAR

3.1 Caracterización del sistema

Aunque en Guatemala no se ha adoptado ninguna norma para estandarizar el sistema de tratamiento y distribución de agua a equipos de hemodiálisis, el Centro Médico Militar, preocupado por la calidad del servicio y de la salud de los pacientes pagantes y derecho habientes que hacen uso de dicho servicio, ha tratado de ir evolucionando con las mejoras que dichos sistemas, sin embargo al no tener un patrón de comparación estos esfuerzos solo quedan en eso y en forma indirecta los pacientes han recibido algún beneficio, sin embargo al estar conciente de lo que se está haciendo y porqué se está haciendo, los beneficios pueden ser monitoreados, medibles y mejorados.

En el servicio de Hemodiálisis del Centro Médico Militar, ha solicitud de la División de Ingeniería y Mantenimiento, fue instalado un sistema de acondicionamiento de agua, para mejorar su calidad química y bacteriológica partiendo de agua tipo "municipal" (agua clorada con bajo contenido de sólidos en suspensión y turbidez). El sistema incluyó el siguiente equipo: Filtro de sedimentos, filtro de carbón activo, suavizador completamente automáticos, y retrolavables, un equipo de Osmosis Inversa, y un sistema de represarización y desinfección (tanque atmosférico con capacidad total de 1,250 litros un sistema hidronemático de acero inoxidable, y una lámpara ultravioleta de acero inoxidable). El montaje del equipo descrito anteriormente, fue realizado por la empresa que proporciona el equipo de diálisis, pero no fue supervisado por la

División de Ingeniería, ya que prácticamente el sistema quedaba a cargo de dicha empresa por un periodo de dos años prorrogables y dentro del compromiso estaba que ellos deberían capacitar al personal de hemodiálisis para su operación y mantenimiento. Al terminar dicho periodo y por el tiempo de estar instalados se iniciaron los primeros problemas tanto de operación como en la calidad del suministro de agua, por lo que se ordenó a la División de Ingeniería que evaluara el sistema y corrigiera los problemas, para lo cual hubo necesidad de hacer un levantado técnico de las características del equipo, ya que no se contaba con manuales de operación ni de mantenimiento.

3.2 Especificaciones de los equipos

Los equipos instalados y según placa de los mismos poseen las siguientes características:

3.2.1 Filtros de sedimentos

| | |
|---------------------------|---|
| MARCA: | KINETICO |
| MODELO: | PF-100-AG-DFFR |
| MEDIO FILTRANTE: | 1.5 pies³ de Filter Ag y 25 libras de grava. |
| CAPACIDAD: | 7 GPM Continuos 12 GPM pico |
| FILTROS: | Dos tanques de polyglass reforzado de 10" de diámetro y 46" de altura. |
| PRESIÓN MÁXIMA: | 125 PSI |
| TEMPERATURA MÁXIMA | 42° C. |

3.2.2 filtros de carbón activado

| | |
|---------------------------|---|
| MARCA: | KINETICO |
| MODELO: | PF-100-CR-DFFR |
| MEDIO FILTRANTE: | 1.5 pies³ de carbón activado y 25 libras de grava. |
| CAPACIDAD: | 7 GPM Continuos |
| FILTROS: | Dos tanques de polyglass reforzado de 10" de diámetro y 46" de altura. |
| PRESIÓN MÁXIMA: | 125 PSI |
| TEMPERATURA MÁXIMA | 42^o C. |

3.2.3 suavizador

| | |
|---------------------------|---|
| MARCA: | KINETICO |
| MODELO: | SOFTNER-25 |
| MEDIO FILTRANTE: | 0.3 pies³ de Resina por tanque |
| CAPACIDAD: | 7 GPM Continuos |
| FILTROS: | Dos tanques de polyglass reforzado de 10" de diámetro y 60" de altura. |
| PRESIÓN MÁXIMA: | 125 PSI |
| TEMPERATURA MÁXIMA | 42^o C. |

3.2.4 Osmosis inversa

| | |
|----------------|-----------------|
| MARCA: | OSMONICS |
| MODELO: | E-5000 |

| | |
|-----------------------------|------------------|
| CAPACIDAD: | 5,000 GPD |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | 200 PSI |

3.2.5 Lámpara ultravioleta

| | |
|-----------------------------|---|
| MARCA: | IDEAL HORIZONS |
| MODELO: | SVE-10 |
| CAPACIDAD: | 10GPM |
| NIVEL DE RADIACIÓN: | 30,000 micro watt seg/cm² |
| LONGITUD DE ONDA | 254 Nanómetros |
| PRESIÓN DE OPERACIÓN | 125 PSI |

3.3 Descripción del sistema de tratamiento

El sistema puede dividirse en dos partes, una de Pretratamiento y la segunda de tratamiento, la primera está compuesta por los elementos instalados antes de la ósmosis inversa y la segunda por los instalados después.

3.3.1 Sistema de pretratamiento: Este es necesario para reducir la contaminación del agua de alimentación al equipo de osmosis inversa, y su uso es necesario para optimizar el proceso de desmineralización y alargar el tiempo de vida de las membranas del equipo. El proceso de pretratado del agua se realiza en tres pasos, los cuales son esquematizados en la Figura 11.

3.3.1.1 Filtro de sedimentos (Figura 5), E-01: se utiliza este filtro tipo cartucho para eliminar partículas de 5 micras y mejorar la calidad física del agua, turbidez y

sólidos en suspensión. Estos están compuestos por dos tanques los cuales se alternan para mantener un flujo continuo en el servicio, posee un sistema de control automático, por medio de una válvula Servo, la cual al completar el total de galones de agua tratada prefijados manda a la unidad en uso a exhaustar y realizar el retrolavado e introduce a la otra al servicio.

Figura 5. Filtros de sedimentos CMM.



3.3.1.2 Filtro de carbón activado (Figura 6) E-02: este filtro ayuda en la remoción de contaminantes orgánicos y

cloro presentes en el agua cruda. Este paso es muy importante, ya que el tipo de membrana que utiliza el equipo de osmosis inversa se daña si se le hace pasar agua con cloro. Este sistema al igual que el de filtros de sedimentos, cuenta con dos tanques los cuales se alternan para mantener un flujo continuo en el servicio, posee también un sistema de control automático por medio de una válvula Servo, la que realiza la misma función del sistema anterior.

Figura 6. Filtros de carbón activado



3.3.1.3 Suavizador (Figura 7) E-03: para la remoción de la dureza se utiliza un suavizador de agua el cual tiene una capacidad de intercambio de 4,782 granos y que la

reduce menos de 1 grano por galón. Posee un sistema de control similar al de los otros dos sistemas.

Figura 7. Suavizadores de agua CMM.

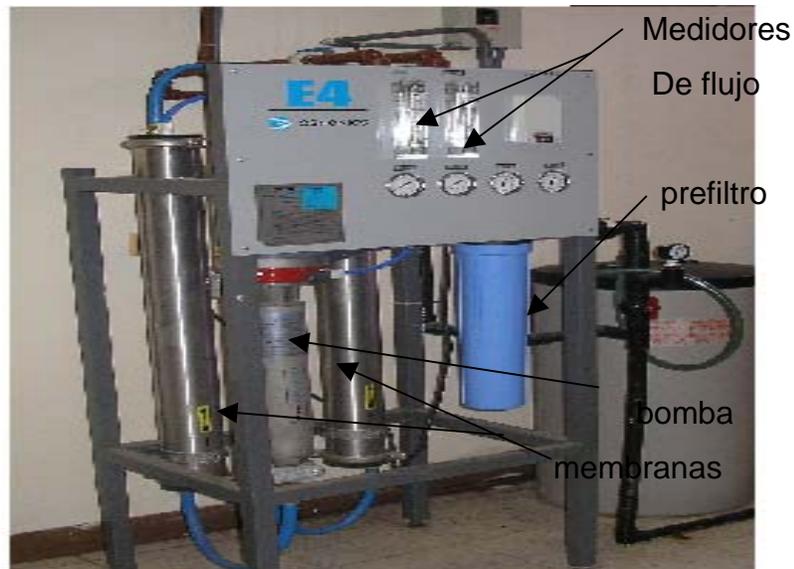


3.3.2 Sistema de tratamiento este sistema está compuesto por los sistemas de osmosis inversa y el de Represurización y Desinfección.

3.3.2.1 Ósmosis inversa (Figura 8), E-04 (ETAPA DE DESMINERALIZACIÓN): Se esta utilizando un equipo marca OSMONICS modelo E4-5000 con capacidad de 5000 Galones por Día de agua tratada (la capacidad del equipo es altamente dependiente de la temperatura de alimentación del agua), este equipo está provisto por una bomba booster la cual se utiliza para aumentar la presión a

200 PSI (Presión de trabajo de la Ósmosis Inversa). El proceso reduce los sólidos disueltos en un 95%.

Figura 8. Ósmosis inversa CMM.



3.3.2.2 Sistema de represurización y desinfección (Fig 9): El agua tratada por el equipo de Ósmosis Inversa se almacena en un tanque atmosférico, T-01 con capacidad de almacenar 1,250 Litros de agua tratada. Este tanque se llena con el agua tratada por el equipo de Ósmosis Inversa. De este tanque el agua se succiona a través de un sistema hidroneumático de acero inoxidable, P-01 (bomba centrífuga y tanque hidroneumático) el cual hace pasar el agua a través de una Lámpara Ultravioleta, H-01 (para su desinfección, ver Figura 10) y la impulsa hacia los puntos de uso.

Figura 9. Sistema de represurización

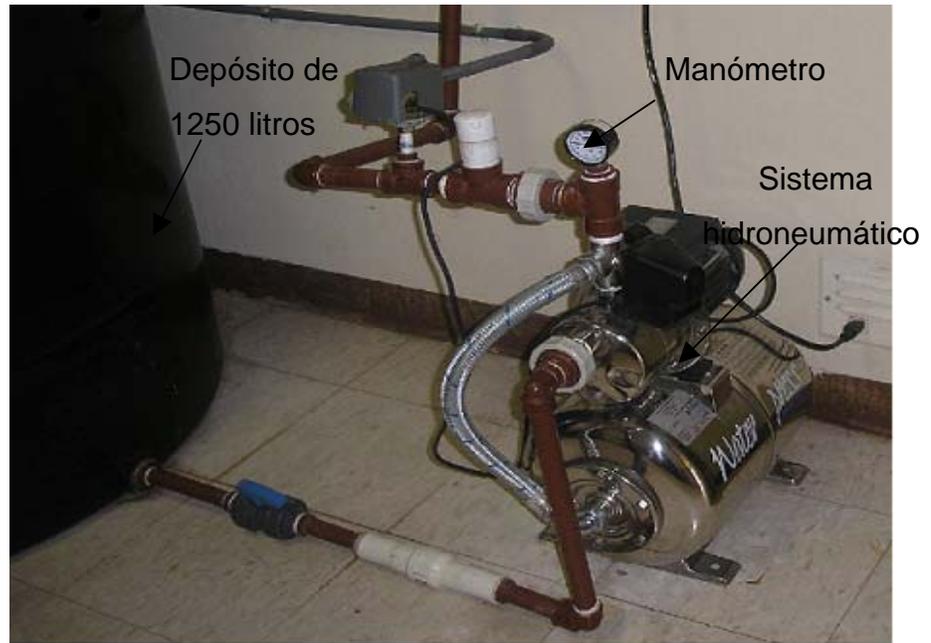


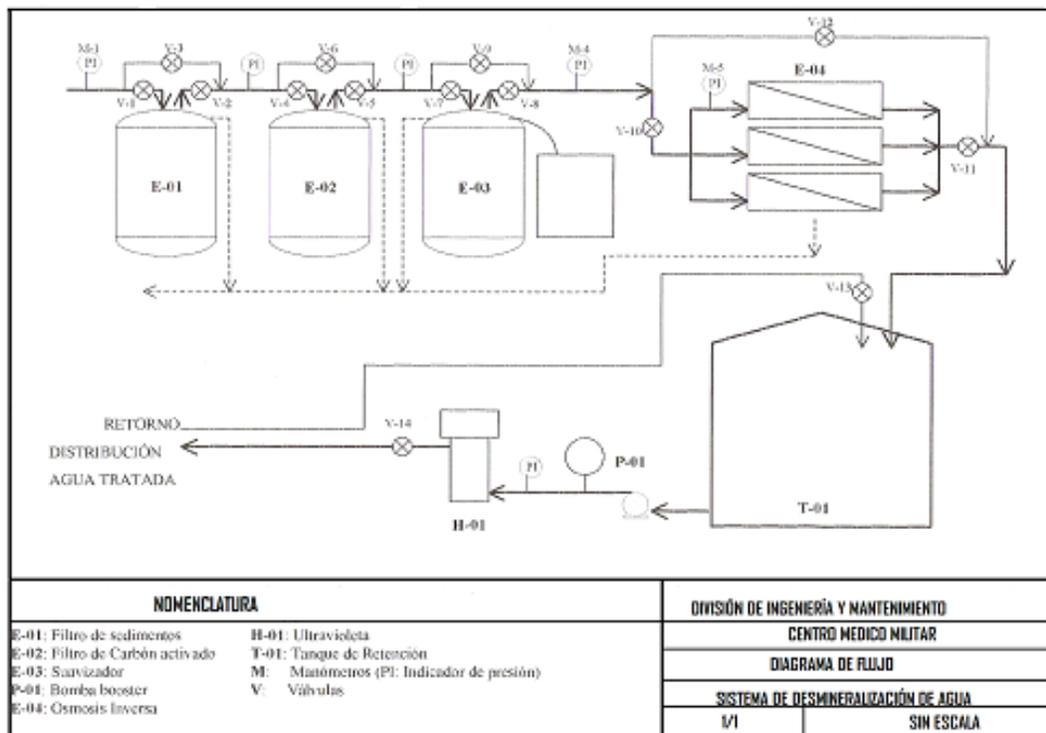
Figura 10. Lámpara ultravioleta



3.4 Automatización del sistema

Al verificar el funcionamiento del sistema automático se pudo notar que cuando se llena el tanque atmosférico T-01 el sistema para y cuando el nivel baja a $\frac{3}{4}$ el sistema arranca automáticamente recuperándolo de nuevo. Posteriormente se procedió a cerrar la válvula de descarga del equipo V11 y al subir la presión en el mismo se accionó un interruptor apagando el sistema, de igual forma ocurrió cuando se cerró la llave de alimentación en forma gradual y la presión bajó de 20 psi.

**Figura 11. Sistema de desmineralización de agua
Centro Médico Militar.**



3.5 Verificación de la operación del sistema:

La verificación de la operación del sistema se inicio revisando el estado de las válvulas, encontrando que las válvulas 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11 y 14 se encontraban abiertas y que las válvulas 3, 6, 9 y 12 cerradas, lo cual concuerda con la lógica del diagrama de la Figura 5, sin embargo la válvula 13 se encontraba un 90% abierta, lo que podría provocar una caída de presión en el sistema de distribución y que la bomba de represurización arranque constantemente, por lo que se procedió a dejarla parcialmente abierta (aproximadamente 25% lo cual permitirá que el agua del tanque tenga circulación constante y no se quede en reposo en el tanque T-01 o en la tubería de distribución.

Se verificó también que el flotador del tanque T-01 enviara una señal eléctrica para que arrancara la bomba de la Ósmosis Inversa cuando el nivel de dicho tanque disminuyera a 3/4 de su volumen, iniciándose el proceso de tratamiento, así como también enviara la señal de paro cuando el tanque se llenara. Posteriormente se procedió a bajar el flip On del tablero principal para verificar el paro en forma manual del equipo, el cual funcionó normalmente.

Luego se procedió a chequear la presión en los manómetros M1, M4. M5 determinando que esta era de 52, 40 y 200 psi respectivamente, lo cual es normal. Concluida la revisión visual se continuó con la evaluación de la calidad del agua de pretratamiento (alimentación al equipo de Ósmosis Inversa), para lo cual fue necesario sacar una muestra de agua del chorro para toma de muestra que se encuentra antes del sistema de Ósmosis inversa y se procedió a medir el nivel de cloro y la dureza de la misma determinando que el nivel de cloro era de cero y la dureza mayor de 10 ppm, por lo que se le preguntó al operador la cantidad de sal que estaban dosificando quien indicó que eran 5

libras cada 4 días indicándosele que dosificara cinco libras más en el mismo período e iniciando ese día, a los dos días después se volvió a tomar muestra para medir la dureza y esta ya era cero. Y para terminar el chequeo del equipo de tratamiento se inicio verificando la presión de arranque y parada del equipo hidroneumático determinando que arranca a 30 psi y para a 48 psi., luego se revisó el funcionamiento de la lámpara ultravioleta, la cual tiene una luz verde que indica su buen funcionamiento.

3.6 Revisión de la red de distribución de agua a los equipos de hemodiálisis del Centro Médico Militar

Esta revisión se inicio en el depósito de almacenamiento de agua tratada el cual si cumple con las características necesarias de almacenamiento de dicho producto, (ver Figura 12), luego se siguió la tubería de alimentación la cual pasa por la lámpara ultravioleta para cerrar el circuito de desinfección y luego por los pabellones en donde se realizan los procedimientos de hemodiálisis, toda esta tubería pudo comprobarse que es de material sintético y de un grosor aceptable para dicho servicio, sin embargo en uno de los pabellones se había dejado previsto una toma para preparar el concentrado de diálisis con un largo de diez metros, como se muestra en la Figura 13, pero no se le realizó el retorno para cerrar el circuito, lo cual permite el estancamiento de agua con el efecto de colonización de bacterias, por lo que se procedió a eliminar el tramo de tubería ya que en la actualidad los concentrados vienen preparados, lo que deja a dicho chorro sin ninguna función.

Figura 12. Depósito de agua tratada para hemodiálisis



Figura 13. Origen de la toma de agua para chorro de preparación de líquido de diálisis.



Al evaluar las tomas de agua se pueden ver llaves de bola que según el personal de hemodiálisis son de acero inoxidable pero al observar su superficie más parecen llaves de bronce con algún baño de cromo (ver Figura 14), por lo que lo mejor es cambiarlas por llaves plásticas o por llaves de acero inoxidable grado farmacéutico.

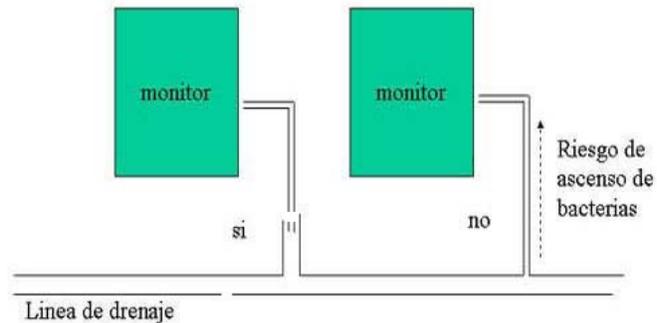
Figura 14. Circuito de alimentación de máquinas de hemodiálisis con su respectivo drenaje.



Como se puede observar en la Figura14, el drenaje de las máquinas de hemodiálisis es del tipo abierto lo que no representa un foco de contaminación en dichas máquinas, ya que no pueden ascender las bacterias por la manguera de drenaje, sin embargo el personal técnico con el fin de eliminar la probabilidad de un rebalse ha instalado silicón entre la manguera y el tubo de drenaje convirtiéndolo en uno de tipo cerrado aumentando la probabilidad que las máquinas se

contaminen por el riesgo de ascenso de bacterias. Ver Figura 15, por lo que se procedió a eliminar dicho silicón.

Figura 15. Drenaje sanitario



Siguiendo el recorrido hacia el servicio de intensivo, se encontró un tramo de tubería de 60 metros de largo y $\frac{3}{4}$ " de diámetro de pvc expuestas directamente al sol, lo que provoca crecimiento de algas en la misma y al llegar al lugar que alimenta, la parte del chorro no tiene retorno, permitiendo el estancamiento de agua en un tramo de 2 metros de largo, ver figura 16, por lo que se procedió a cambiar dicha tubería por tubería sintética de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y $\frac{1}{4}$ de grosor como se muestra en la Figura 17, con este mismo tipo de tubería se procedió a habilitar cuatro cuartos de intensivo con la instalación que se muestra en la Figura 18, en donde la toma de agua se hace en un circuito cerrado, eliminando los riesgos de contaminación actuales, ya que cuando un paciente con insuficiencia renal se encuentra en otro pabellón diferente al que tiene agua tratada, los técnicos de hemodiálisis tienden hasta treinta metros de manguera para poder alimentar la máquina.

Figura 16. Chorro de alimentación de agua para intensivo



Figura 17. Sección de tubo sintético que se instaló en lugar del PVC.



Figura 18. Circuito nuevo de alimentación de agua para hemodiálisis del servicio de intensivo.



3.7 Medición de la velocidad del agua en la red de alimentación a los equipos de hemodiálisis.

Luego de realizadas las correcciones en la red de distribución de agua tratada, se procedió a desinfectar con cloro durante 12 horas la tubería y luego para completar el análisis de cumplimiento de normas, se procedió a medir la velocidad del agua a la salida del chorro más retirado de la toma, procediendo de la siguiente forma:

Se midió el tiempo en que en dicho chorro llenaba un depósito de 2500 centímetros cúbicos, dándonos un tiempo de 8 segundos, luego se midió el radio interno de la tubería siendo de 0.85 centímetros, posteriormente se

calculó el caudal en Centímetros cúbicos por segundo y el área de la tubería en centímetros cuadrados, para proceder a aplicar la siguiente fórmula.

$$Q = V \cdot A$$

De donde:

Q= caudal en cm^3/seg .

V= velocidad en cm/seg

A= Área de la sección del tubo en cm^2

De la ecuación anterior $V=Q/A$, entonces $Q= 2500/8= 312.5$
 cm^3/seg y $A= 3.1416 \cdot 0.85^2$ $A= 2.27\text{cm}^2$ por lo que $V= 312.5/2.27$
 cm/s $V= 137.7$ cm/seg Convirtiendo la Velocidad en m/seg $V= 137.7$
 $\text{cm}/\text{seg} \cdot 1 \text{ m}/100\text{cm}$ $V= 1.38$ m/seg .

Y como $1.38 > 1$ se cumple con la norma establecida, sin embargo por estar muy cercanas es necesario mantener un constante monitoreo de la misma, para poder garantizar el flujo laminar en dicho circuito.

Luego de haber corregido los problemas descritos anteriormente se puede decir que tanto el sistema de pre y tratamiento de agua, como también la red de distribución cumplen con normas internacionales, sin embargo no existe el tratamiento idóneo universal ya que este dependerá de: calidad química y bacteriológica del agua de aporte a tratar, su procedencia y posibles variaciones de los elementos disueltos en ella a lo largo del tiempo, limitaciones arquitectónicas, necesidades cuantitativas, necesidades cualitativas, presupuesto económico, perspectivas de evolución tanto de los propios tratamientos de agua como de las nuevas técnicas de diálisis.

Tabla I. Contaminantes del agua, causa de su presencia, manifestaciones clínicas y método de eliminación

| CONTAMINANTE | CAUSA DE SU PRESENCIA | MANIFESTACIÓN | ASOCIADO CON SÍNTOMAS | AGUA PARA DIÁLISIS | MÉTODO DE ELIMINACIÓN |
|---|---|---|-----------------------|--------------------|----------------------------|
| CLORO | ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN BACTERICIDA | HEMÓLISIS, ANEMIA HEMOLÍTICA | - | 0.5 mg/l | FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO |
| CLORAMINAS | ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN BACTERICIDA | HEMÓLISIS, ANEMIA HEMOLÍTICA | 0.25 mg/l | 0.1 mg/l | FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO |
| PESTICIDAS, MATERIA ORGÁNICA, HIDROCARBUROS | DESECHOS INDUSTRIALES | FIEBRE, HIPOTENSIÓN, DAÑOS AL EQUIPO DE OSMOSIS, NEUROTÓXICOS | - | - | FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO |
| PIRÓGENOS | MUERTE DE BACTERIAS | FIEBRE, HIPOTENSIÓN | - | - | FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO |
| ENDOTOXINAS | MUERTE DE BACTERIAS | FIEBRE, HIPOTENSIÓN | - | - | FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO |
| MATERIA INORGÁNICA | POCA FILTRACIÓN EN PLANTAS DE AGUA O RED | TAPONAMIENTOS DE TUBOS Y ORIFICIOS | - | - | FILTROS DE SEDIMENTACIÓN |
| HIERRO | PASO DEL AGUA POR TERRENOS CALCÁREOS | DAÑOS A LOS EQUIPOS | - | - | SUAVIZADORES DE AGUA |
| MANGANESO | PASO DEL AGUA POR TERRENOS CALCÁREOS | DAÑOS A LOS EQUIPOS | - | - | SUAVIZADORES DE AGUA |
| FLUORUROS | PREVENCIÓN DE LA CARIES DENTAL | ENFERMEDADES ÓSEAS | 1 mg/l | 0.2 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| NITRATOS | USO DE FERTILIZANTES EN AGRICULTURA | METAHEMOGLOBINEMIA | 21 mg/l | 2 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| SULFATOS | POR SU EMPLEO EN AGRICULTURA | DISTURBIOS GASTROINTESTINALES | 200 mg/l | 100 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| SODIO | AGUAS SALADAS, FALLO EN LOS SUAVIZADORES | HIPERTENSIÓN, SED | 300 mg/l | 70 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |

Continúa

| CONTAMINANTE | CAUSA DE SU PRESENCIA | MANIFESTACIÓN | ASOCIADO CON SÍNTOMAS | AGUA PARA DIÁLISIS | MÉTODO DE ELIMINACIÓN |
|---------------------|--|---|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| POTASIO | SUELE ESTAR ASOCIADO CON EL SODIO Y OTROS MINERALES | HIPERKALIEMIA | - | 7 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| COBRE | SULFATO DE COBRE PARA MATAR ALGAS, CAÑERÍAS DE COBRE | ANEMIA HEMOLÍTICA, LEUCOCITOSIS | 0.49 mg/l | 0.1 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| ALUMINIO | PROCESOS DE COAGULACIÓN | DEMENCIA DIALÍTICA | 0.06 mg/l | 0.01 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| CINC | DEPÓSITOS GALVANIZADOS | VÓMITOS, NÁUSEAS, FIEBRE | 0.2 ml/l | 0.1 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| BARIO | DESECHOS INDUSTRIALES | BLOQUEO NERVIOSO, HIPERTENSIÓN | - | 0.1 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| ARSÉNICO | DESECHOS INDUSTRIALES | FATIGA, TRASTORNOS GASTROINTESTINALES, EDEMA | - | 0.005 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| CADMIO | DESECHOS INDUSTRIALES | DESCALCIFICACIÓN ÓSEA, PROTEINURIA | - | 0.001 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| CROMO | DESECHOS INDUSTRIALES | NECROSIS DEL RIÑÓN | - | 0.014 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| PLOMO | DESECHOS INDUSTRIALES | PARÁLISIS DEL SISTEMA NERVIOSO | - | 0.005 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| MERCURIO | DESECHOS INDUSTRIALES | TÓXICO PARA EL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL, GASTROENTERITIS. | - | 0.2 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| SELENIO | DESECHOS INDUSTRIALES | DEPRESIÓN, DERMATITIS, DISTURBIOS GASTROINTESTINALES | - | 0.09 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| PLATA | DESECHOS INDUSTRIALES | COLORACIÓN GRISÁCEA DE LA PIEL Y MUCOSAS | - | 0.005 mg/l | ÓSMOSIS INVERSA |
| CALCIO | PASO DEL AGUA POR TERRENOS CALCÁREOS | SÍNDROME DEL AGUA DURA | 88 mg/l | 2 mg/l | SUAVIZADORES |
| MAGNESIO | PASO DEL AGUA POR TERRENOS CALCÁREOS | SÍNDROME DEL AGUA DURA | - | 4 mg/l | SUAVIZADORES |
| PH | FALLO EN ÓSMOSIS | COAGULACIÓN SANGUÍNEA, NÁUSEAS, VÓMITOS | 6.7 | >6.8 | - |
| CONDUCTIVIDAD | FALLOS EQUIPOS DE ÓSMOSIS Y SUAVIZADORES | DEPENDE DEL VALOR | - | <100 µs/cm | - |

El sistema de tratamiento de agua para el servicio de hemodiálisis del Centro Médico Militar cumple con la composición básica de un sistema ya que posee un pretratamiento, donde se eliminan la mayoría de los elementos indeseables, y uno de tratamiento, compuesto por una ósmosis inversa y un filtro de luz ultravioleta que permiten alcanzar el nivel de agua purificada en su funcionamiento normal.

El circuito de distribución de agua con las modificaciones hechas también cumple con normas internacionales como MERCOSUR, Norma Mexicana y Normas AAMI, las cuales en lo que respecta a sistemas de pre y tratamiento como circuitos de distribución son similares, sin embargo al no existir en nuestro país norma alguna ni laboratorios con capacidad de determinar si el agua suministrada cumple estrictamente con los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos de alguna norma, es necesario implementar un control en base a pruebas microbiológicas y fisicoquímicas manejadas en nuestro país combinadas con indicadores de efectos secundarios en los pacientes, para obtener estos indicadores se tomará como base la Tabla I, en la cual se indica los contaminantes del agua, causa de su presencia, manifestaciones clínicas y método de eliminación, al analizar la tabla nos podemos dar cuenta que al querer obtener un indicador por contaminante la cantidad de estos sería demasiado y dicho proceso se volvería engorroso, por lo que se tomarán solo los contaminantes que puedan darse en nuestro medio ya que una gran cantidad dependen de zonas industriales o agrícolas y nuestros posos están ubicados en un área boscosa de larga extensión y fuera de dichas zonas, además dichos contaminantes son eliminados con un buen funcionamiento del sistema de pre y tratamiento instalado, por lo que un buen control al mantenimiento proporcionado a dichos sistemas es importante, por lo que al implementar indicadores que relacionen los contaminantes con los

efectos en la salud del paciente no solo ayudaría a controlar la calidad del mantenimiento preventivo sino que se tendría un mejor panorama del estado de los sistemas de tratamiento.

3.8 Indicadores de contaminantes en relación con los efectos en la salud del paciente.

A cada indicador se le antepondrá una medida correctiva la cual podría ser mejorar el mantenimiento del sistema hasta el paro del proceso, para corregir la anormalidad.

Los indicadores asociados a los efectos en la salud del paciente debido a un mal funcionamiento del sistema de pre y tratamiento del agua se pueden resumir en:

- ❖ Cloro y cloraminas
- ❖ Pirógenos y endotoxinas
- ❖ Sodio
- ❖ Cobre
- ❖ Síndrome de agua dura

3.8.1 Indicador de cloro y cloramina

Este indicador servirá para determinar la presencia de cloro o cloramina en el agua utilizada para dializar, esta provoca en los pacientes hemólisis y/o anemia hemolítica debido a la eliminación de la contaminación bactericida y un mal funcionamiento de los filtros de carbón activado, este indicador estará dado por:

$$I_{cc} = P_{hah} / P_{dt}$$

De donde:

I_{cc} = Indicador de cloro y cloramina

P_{hah} = Pacientes con hemólisis y/o anemia hemolítica

P_{dt} = Pacientes dializados en el turno.

Si $I_{cc} > 0.5$ Verificar que el nivel de cloro en el agua sea menor de 0.5 mg/l y 0.1 gm/l de cloramina de lo contrario interrumpir el proceso, evacuar el agua del depósito y sacar muestra en chorro después de filtros de carbón activado si estos son elevados cambiar filtros y si no, llenar el depósito con agua nueva, luego repetir el proceso.

3.8.2 Indicador de pirógenos y endotoxinas

La presencia de pirógenos y endotoxinas en el agua de hemodiálisis, es causado por bacterias muertas después de un proceso de desinfección y provoca fiebre e hipotensión en los pacientes, en el sistema del Centro Médico Militar estas bacterias muertas pueden darse en el agua clorada, en la desinfección de la tubería de alimentación a las máquinas de hemodiálisis o en la desinfección de estas, este indicador viene dado por:

$$I_{PE} = P_{fh} / P_{dt}$$

De donde:

I_{PE} = Indicador de Presencia de Pirógenos y endotoxinas

P_{fh} = Pacientes dializados con fiebre e hipotensión

P_{dt} = Pacientes dializados en el turno.

Si $0.2 < I_{PE} < 0.5$, realizar una desinfección y retrolavado adecuado a las máquinas de hemodiálisis, luego sacar muestra y enviarla al laboratorio, si $I_{PE} > 0.5$ sacar muestra del agua de alimentación de las máquinas y del chorro después de los filtros de carbón activado, si ambas son positivas cambiar filtros de carbón activado y realizar un proceso de desinfección y retrolavado adecuado en el circuito de alimentación de agua de las máquinas y en todas las máquinas y si solo es positiva la muestra del agua de alimentación realizar una desinfección y retrolavado adecuado al circuito de alimentación y a las máquinas de hemodiálisis luego repetir el proceso.

3.8.3 Indicador de sodio

La presencia de sal en el agua para hemodiálisis provoca hipertensión y sed en los pacientes tratados, y su presencia puede deberse a fallas en el sistema de suavización del agua, este indicador esta dado por:

$$I_S = P_{hs} / P_{dt}$$

De donde:

I_S = Indicador de presencia de sodio en el agua

P_{hs} = Pacientes con hipertensión y sed

P_{dt} = Pacientes dializados en el turno.

Si $I_s > 0.5$ Hacer análisis de sodio en el agua del chorro después de los suavizadores y si esta contiene más de 70 mg/l verificar el estado de estos y de la ósmosis inversa, corregido el problema vaciar el agua del depósito y luego de lavarlo alimentarlo con nueva agua.

2.8.4 Indicador de cobre

El agua con contenido mayor de 0.3 mg/l de cobre produce en el paciente anemia hemolítica y leucocitosis, el cobre puede estar presente en el agua de hemodiálisis debido al contacto en la red de distribución de agua con accesorios o tuberías de cobre o que algún elemento utilizado para desinfectar la tubería contenga sulfato de cobre como alquisida. El indicador de cobre está dado por:

$$I_c = P_{ahl} / P_{dt}$$

De donde:

I_c = Indicador de presencia de cobre en el agua

P_{ahl} = Pacientes con anemia hemolítica y leucocitosis

P_{dt} = Pacientes dializados en el turno.

Si $I_c > 0.5$ revisar la red de alimentación de agua a las máquinas de hemodiálisis y eliminar cualquier elemento de cobre que se encuentre en la misma luego verificar el buen funcionamiento de la ósmosis inversa.

3.8.5 Indicador del síndrome de agua dura

Un fallo en el suavizador de la planta de tratamiento de agua puede provocar el síndrome del agua dura. Esto es una concentración alta de Ca y Mg en el líquido de hemodiálisis, sin saber a cuales de ellos culpar de la siguiente sintomatología: Náuseas, vómitos, hipertensión arterial y letargia que aparece a partir de las 2-3 horas de comenzar el tratamiento, acompañada de sudor y sensación de calor, estos síntomas fueron los que originaron el presente estudio ya que el personal de hemodiálisis reportó que en cada turno tenían pacientes con dichos síntomas y que estos efectos se debían a una mala calidad del agua de alimentación. Este indicador viene dado por:

$$I_{sad} = P_{nvhl} / P_{dt}$$

De donde:

I_{sad} = Indicador de síndrome de agua dura

P_{nvhl} = Pacientes con náuseas, vómitos, hipertensión arterial y letargia

P_{dt} = Pacientes dializados en el turno.

Si $I_{sad} > 0.5$ medir dureza en el chorro de toma de muestra después de los suavizadores de agua si esta es mayor a 10 ppm revisar el proceso de regeneración e incrementar en cinco libras la sal y luego de un día de regeneración volver a medir la dureza si esta sigue siendo mayor a 10 ppm incrementar en otras cinco libras la sal y repetir el proceso, si la sal agregada al proceso de regeneración

sobrepasa las veinticinco libras y continua tal situación cambiar la resina de los suavizadores o cambiar los suavizadores.

Los indicadores anteriores más la buena operación del sistema de pre y tratamiento de agua de alimentación a las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar, evitarán que los pacientes tengan efectos indeseables en su tratamiento, por lo que el personal de hemodiálisis debe efectuar con cuidado y de acuerdo al siguiente manual el procedimiento diario de operación de dichos sistemas.

3.9 Manual de operación de los sistemas tratamiento de agua

Antes de describir la operación óptima de los sistemas de tratamiento de agua, es necesario describir previamente como están compuestos.

3.9.1 Descripción de los sistemas de tratamiento de agua

La ubicación de estos sistemas puede observarse en el Diagrama de flujo presentado en la Figura 11, y su función como la de cada una de los elementos que lo conforman sedán a continuación.

3.9.1.1 Sistema de pretratamiento

Este es necesario para reducir la contaminación del agua de alimentación al equipo de osmosis inversa, y su uso es necesario para optimizar el proceso de desmineralización y alargar el tiempo de vida de las membranas del equipo de osmosis inversa. Se está pretratando el agua en tres pasos:

3.9.1.1.1 Filtro de sedimentos, E-01: se utiliza este filtro tipo cartucho para eliminar partículas de 5 micras y mejorar la calidad física del agua (turbidez y sólidos en suspensión).

3.9.1.1.2 Filtro de carbón activado, E-02: este filtro ayuda en la remoción de contaminantes orgánicos y cloro presentes en el agua cruda. Este paso es muy importante, ya que el tipo de membrana que utiliza el equipo de osmosis inversa se daña si se le hace pasar agua con cloro.

3.9.1.1.3 Suavizador, E-03: para la remoción de la dureza se utiliza un suavizador de agua el cual tiene una capacidad de intercambio de 4,782 granos y que la reduce menos de 1 grano por galón.

3.9.1.2 Sistema de tratamiento

Este sistema es utilizado para desmineralizar el agua y para la eliminación de bacterias y está compuesto por los siguientes elementos.

3.9.1.2.1 Ósmosis inversa, E-04 (ETAPA DE DESMINERALIZACIÓN): Se esta utilizando un equipo marca **OSMONICS** modelo E4-5000 con capacidad de 5000 Galones por Día de agua tratada (la capacidad del equipo es altamente dependiente de la temperatura de alimentación del agua), este equipo está provisto por una bomba booster la cual se utiliza para aumentar la presión a 200 PSI (Presión de trabajo de la Ósmosis Inversa). El proceso reduce los sólidos disueltos en un 95%.

3.9.1.2.2 Elementos de represurización y desinfección: El agua tratada por el equipo de Ósmosis Inversa se almacena en un tanque atmosférico, T-01 con capacidad de almacenar 1,250 Litros de agua tratada. Este tanque se llena con el agua tratada por el equipo de Ósmosis Inversa. De este tanque el agua se succiona a través de un sistema hidroneumático de acero inoxidable, P-01 (bomba centrífuga y tanque hidroneumático) el cual hace pasar el agua a través de una Lámpara Ultravioleta, H-01 (para su desinfección) y la impulsa hacia los puntos de uso.

3.9.2 Automatización del sistema

Cada vez que el nivel del tanque atmosférico T-01 baja a $\frac{3}{4}$ de su máximo nivel, el sistema arranca automáticamente recuperándolo de nuevo.

El equipo de Ósmosis Inversa se encuentra provisto de un interruptor de seguridad, el cual apaga el sistema automáticamente cuando la presión aumenta (esto puede suceder si por error se cierra la válvula de descarga VII del equipo).

Además si la presión de alimentación no es la adecuada (por lo menos 20 PSI) el sistema deja de funcionar.

3.9.3 Operación del sistema

Debido a que el sistema es completamente automático el mismo requiere un mínimo de operación manual, sin embargo cuando sea necesario se tiene que cumplir con el siguiente procedimiento.

3.9.3.1 Arranque del equipo: Verificar que las válvulas: I, 2, 4, 5, 7, 8, 10, II, y 14 estén abiertas. Verificar que las válvulas: 3, 6, 9 y 12 están cerradas.

NOTA: La válvula VI3 deberá estar parcialmente abierta (aproximadamente $\frac{1}{4}$ lo cual permitirá que el agua del tanque tenga circulación constante y no se quede en reposo en el tanque T-01.

El sistema de tratamiento arrancará automáticamente cuando el nivel del tanque 1 disminuya a $\frac{3}{4}$ de su volumen, entonces el flote envía una señal eléctrica para que arranque la bomba de la Ósmosis Inversa iniciándose el proceso de tratamiento.

3.9.3.2 Paro del equipo: Al igual que el arranque, el equipo dejará de funcionar cuando el tanque se llene, entonces el flote corta el circuito y se desconecta la bomba booster de la Ósmosis Inversa. El equipo puede parar también si la presión en la descarga aumenta lo cual podría suceder si se arrancara manualmente.

Para suspender la operación del equipo 'manualmente' deberá bajarse el flip On en el tablero principal de la planta.

3.9.3.3 Despacho del agua en proceso: La línea de agua tratada esta presurizada (a través del sistema hidroneumático P-01), de tal forma que cuando requiera agua tratada para utilizarse en el proceso de la planta, únicamente se deberá abrir la válvula donde se requiere agua.

3.9.3.4 Monitoreo del equipo: La evaluación de la calidad del agua de pretatamiento (alimentación al equipo de Ósmosis inversa), deberá hacerse a diario y en la siguiente forma:

- ❖ En el chorro de toma de muestra que se encuentra antes del sistema de Ósmosis inversa chequear la dureza del agua la cual debe ser menor a 10 ppm y en el chorro de toma de muestra que se encuentra antes del equipo de suavización y después de los filtros de carbón activado el nivel de cloro del agua, el cual debe ser 0 ppm de lo contrario verificar que el filtro de carbón activado no este bypassado. Debido a que las membranas del equipo de Osmosis Inversa se dañan al contacto con el cloro, se deberá suspender la operación del equipo si el nivel del cloro encontrado en el chorro de toma de muestra es mayor de cero y notificar a la División de Ingeniería.

- ❖ En los manómetros que se indican, chequear la presión y compararla con la presión normal de operación.
Manómetro M1: Presión normal > 30 PSI
Manómetro M4: Presión normal > 20 PSI
Manómetro M5: Presión normal = 200 PSI

- ❖ Verificar la recirculación del agua tratada almacenada en el tanque T-01, por lo que se debe comprobar que la válvula V13

esté siempre parcialmente abierta e incluso en los días en que el equipo no opere, se recomienda abrirla completamente 1 hora por la mañana y una más en la tarde.

CONCLUSIONES

1. El sistema de alimentación de agua tratada para las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar se encontraba originalmente instalado no entregaba agua de calidad y no cumplía con normas internacionales, ya que poseía 60 metros de tubería inapropiada y tomas de agua sin retorno, por lo que el riesgo de contaminación y crecimiento de algas era mayor.
2. Los factores que más influían para que los equipos de tratamiento de agua instalados en el Centro Médico Militar no entregaran agua de calidad a los circuitos que alimentan las máquinas de hemodiálisis eran un mal procedimiento de regeneración de la resina de los suavizadores y el desconocimiento por parte del personal de hemodiálisis sobre el funcionamiento de cada elemento del sistema, por lo que éstos se limitaban a verificar que éste operara sin ningún control de calidad del producto de cada elemento.
3. La tubería de PVC instalada en un tramo de 60 metros para alimentar de agua tratada al servicio de intensivo era la causante del crecimiento de algas dentro del circuito de alimentación agua a las máquinas de hemodiálisis, ya que por el grosor de la misma, ésta permite el paso de la luz, generando la producción de fotosíntesis.
4. Los tramos de tubería sin retorno como se ven en las figuras 13 y 16, favorecen la formación de colonias de bacterias contaminando el

agua de alimentación de las máquinas de hemodiálisis provocando infecciones en los pacientes.

5. El análisis microbiológico, control de dureza, contenido de cloro y cloraminas en el sistema de tratamiento de agua para hemodiálisis son de gran importancia para garantizar dicho tratamiento y la operación eficiente del equipo de ósmosis inversa.

6. La puesta en práctica de los indicadores y el manual de operación propuestos en el presente trabajo es un soporte importante tanto para el control de calidad del agua de alimentación a las máquinas de hemodiálisis del Centro Médico Militar, como también para que el paciente tenga una vida normal dentro de sus limitaciones.

RECOMENDACIONES

A la Subdirección de Servicios Clínicos

1. Implementar un protocolo de procedimientos en el servicio de hemodiálisis donde se incluya los indicadores y el manual de operación propuestos en el presente trabajo, con el objeto de documentar cada actividad que realiza dicho personal y que se puedan tomar las medidas correctivas a tiempo.
2. Analizar los procesos de desinfección que se realizan actualmente a los equipo de hemodiálisis y red de distribución de agua tratada, esto con el objeto de estandarizar los procedimientos y determinar los químicos idóneos, para dicho tratamiento, observando siempre el criterio que las bacterias pueden hacerse resistentes a una misma composición química, por lo que ésta debe variar en un período de tiempo estipulado.

Al personal de hemodiálisis

3. Poner en práctica los indicadores y manual de operación de los equipos de tratamiento de agua, con el objeto de evitar riesgos de complicaciones en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia renal crónica que se atienden en el Centro Médico Militar.
4. Realizar a diario un análisis microbiológico, control de dureza, contenido de cloro y cloraminas, en el sistema de tratamiento de agua para hemodiálisis, con el objeto de proteger al equipo de ósmosis

inversa y prevenir lo efectos indeseados que provocan en el paciente la presencia de los mismos.

5. Documentar todo procedimiento realizado tanto al equipo de tratamiento de agua como circuito de alimentación de agua y máquinas de hemodiálisis, ya que ésto ayudaría a realizar las correcciones pertinentes en el menor tiempo posible.
6. Inspeccionar frecuentemente la lámpara de luz ultravioleta, ya que por el tiempo de uso su capacidad de desinfección disminuye.
7. Reportar a la División de Ingeniería cualquier funcionamiento anormal del equipo de pre y tratamiento de agua, con el objeto de determinar y corregir en el menor tiempo posible la causa de dicha anomalía.
8. No realizar actividades de modificación o ampliación en el circuito de alimentación de agua tratada, sin el previo estudio de la División de Ingeniería, ya que no sólo la velocidad en el mismo está muy próximo a un m/s y cualquier variante puede romper el flujo laminar del líquido, sino que se puede volver a caer en el error de dejar tramos sin retorno de agua o utilizar la tubería inapropiada, con lo que se favorecería la colonización de bacterias y la formación de algas afectando el buen funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis y la salud de los pacientes tratantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de operación y mantenimiento de purificadores de agua serie E, OSMONICS.
2. Manual de especificaciones de lámparas de desinfección ultravioleta serie SE30K,
3. Manual de especificaciones de filtros de carbón activado Quality Water Sistem modelo PF100.
4. Manual de especificaciones de filtros de zeolita Kinetico, modelo 25.
5. Marfil Francke B, Lineamientos Metodológicos para la Sistematización en el secretariado rural Perú- Bolivia.

ANEXOS

1. Características mínimas de la calidad del agua para hemodiálisis según el Tratado de Asunción, en Protocolo de Ouro Preto y la Resolución N° 91/93 del Grupo Mercado Común.

| Componentes | Niveles máximos permitidos |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Bacterias | 200 UFC/ml |
| Nitrato (NO ₃) | 2 mg/l |
| Aluminio | 0,01 mg/l |
| Cloramina | 0,1 mg/l |
| Cloro | 0,5 mg/l |
| Cobre | 0,1 mg/l |
| Fluoruro | 0,2 mg/l |
| Sodio | 70 mg/l |
| Calcio | 2 mg/l |
| Magnesio | 4 mg/l |
| Potasio | 8 mg/l |
| Bario | 0,1mg/l |
| Zinc | 0,1mg/l |
| Sulfato | 100 mg/l |
| Arsénico | 0,005 mg/l |
| Plomo | 0,005mg/l |
| Plata | 0,005mg/l |
| Cadmio | 0,001 mg/l |
| Cromo | 0,014 mg/l |
| Selenio | 0,09 mg/l |
| Mercurio | 0,0002 mg/l |
| Conductividad | Igual o menor que 10 microsiemens/cm |

Fuente: MERCOSUR/GMC/RES. N° 28/00

2. Calidad del agua para la práctica de hemodiálisis según norma mexicana

| CARACTERISTICAS DE LA SUBSTANCIA | SUBSTANCIAS | CONCENTRACION MAXIMA EN mg/1 | | "STANDARD" AGUA POTABLE |
|--|------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | FDA | AAMI | |
| Tóxicas con efectos descritos en literatura científica | Aluminio | 1 x 10 ⁻² | 1 x 10 ⁻² | 10 |
| | Cloraminas | 1 x 10 ⁻¹ | 1 x 10 ⁻¹ | |
| | Cobre | 1 x 19 ⁻¹ | 1 x 10 ⁻¹ | |
| | Flúor | 2 x 10 ⁻¹ | 1 x 10 ⁻¹ | |
| | Nitratos | 2 | 2 | |
| | Sulfatos | 100 | 100 | |
| No tóxicas | Zinc | 1 x 10 ⁻¹ | 1 x 10 ⁻¹ | |
| | Calcio | 2 | 10 | |
| | Magnesio | 4 | 4 | |
| | Potasio | 8 | 8 | |
| Tóxicas con efectos descritos en literatura sobre agua potable | Sodio | 70 | 70 | |
| | Arsénico | 5 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² |
| | Bario | 1 x 10 ⁻¹ | 1 x 10 ⁻¹ | 1 |
| | Cadmio | 1 x 10 ⁻³ | 1 x 10 ⁻² | 1 x 10 ⁻² |
| | Cromo | 14 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² |
| | Plomo | 5 x 10 ⁻³ | 5 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² |
| | Mercurio | 2x 10 ⁻⁴ | 2 x 10 ⁻³ | 2 x 10 ⁻⁴ |
| Selenio | 9.7 x 10 ⁻² | 1 x 10 ⁻² | 1 x 10 ⁻² | |
| | Plata | 5 x 10 ⁻³ | 5 x 10 ⁻² | 5 x 10 ⁻² |
| | Cloro | B100 col/ml. | 5 x 10 ⁻¹ | |
| | Bacterias | | 200 col/ml. | |

Fuente: Norma oficial mexicana nom-171-ssa1-1998,