

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA.

Ingeniería Eléctrica-Electrónica

Título de Tesis: "Implementación de un equipo de producción de líquido de diálisis con sistema de recirculación para tratamiento de hemodiálisis".

***Nombres:
Beatriz Venancio Castillo
Fermín Valle Hernández***

Director de tesis: Rodolfo Peters Lammel

NOVIEMBRE 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente queremos dar las gracias a nuestra máxima casa de estudios la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por consecuencia a la FACULTAD DE INGENIERÍA, ya que gracias a esta institución hemos adquirido todos los conocimientos y valores con los que hoy contamos.

A los ingenieros de la FACULTAD DE INGENIERIA, puesto que gracias a sus cátedras hoy contamos con herramientas suficientes para desarrollarnos profesionalmente y sobretodo porque hoy podemos presentar este trabajo. Sabremos aprovechar de la mejor manera todas sus enseñanzas para beneficio de nuestro país.

De la misma manera le reiteramos nuestra inmensa admiración y gratitud al Ing. Rodolfo Peters Lammel por su valioso apoyo incondicional al haber dirigido nuestro proyecto. Gracias.

DEDICATORIAS:

A DIOS:

Por haberme dado la bendición de tener a unos padres y unos hermanos tan maravillosos, por bendecir a cada instante a esta familia y por darme la dicha de retribuirles con un poco de felicidad todo lo que me enseñaron. Sin ti DIOS esto no hubiera sido posible.

A MIS PADRES:

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo; AMOR, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida por formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho, a quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Para quienes siempre tuvieron un consejo adecuado, y cuando fue necesario, un regaño acertado. No podré describir ni con mil páginas lo orgulloso que estoy de ustedes. Por esto y más.

GRACIAS.

A MIS HERMANOS:

Quienes han sido, piedra angular para poder tener una familia firme, feliz, y fortalecida ante las adversidades, que siempre tuvieron una mano para brindarme y que nuestros consejos solo iban orientados para buscar nuestro bienestar. Por mi parte saben lo que siento por ustedes: LOS AMO Y ESTOY MUY ORGULLOSO DE USTEDES.

A BEATRIZ:

Que te puedo decir, eres una de las personas más importantes para mí, siempre me apoyaste y me demostraste que nada es imposible, que hay que verle el lado positivo a la vida y que los problemas son tan grandes como queramos hacerlos. Tu apoyo en mi formación profesional y social no tiene precio. TE ADMIRO, TE RESPETO, TE QUIERO, y siempre voy a estar agradecido con Dios por haberme dado la oportunidad de conocerte.

A IVAN, MARCO Y JUAN MANUEL:

No podían faltar, porque el apoyo y amistad incondicional que me han brindado, han sido también parte fundamental de mi educación, por que siempre estuvieron conmigo y porque sabemos que a pesar de todos y de todo la amistad que nos une es ya una hermandad.

En primer lugar a mi invaluable y bellísima familia:

A mi MAMÁ, eres el ser humano más maravilloso que dios me pudo haber asignado, gracias por todo tu apoyo incondicional, esfuerzo, dedicación, preocupación, cuidado, creo que la lista no tiene fin. Eres mi ejemplo a seguir, te admiro y estoy muy orgullosa de ti. Por fin, hemos alcanzado uno de los retos más importantes, TE AMO MAMI.

A OSCAR porque eres la imagen de una persona triunfadora y fuerte, te admiro muchísimo. Te agradezco todos tus cuidados, todo tu apoyo y todo tu cariño. Lamento las noches que no te deje dormir debido a los cambios de pañal que yo requería, eres un buen hermano y muy buen padre. TE AMO ÑI.

A HUGO, para mí, lo más semejante a una imagen paterna. Gracias por todo lo que nos has brindado, gracias por tu dedicación y preocupación, todo lo compensas con tu calidad humana. Estoy muy orgullosa de ti, TE AMO OSITO.

A PATY por ser la compañera de toda mi infancia, si tú no hubieras llegado no sé que hubiera hecho. Gracias por tu ternura, por tu apoyo total, simplemente gracias por ser TÚ. Eres una de las piezas indispensables en mi vida, TE AMO MI PATITA LINDA.

A mis SOBRINOS: Oscar, Frida, Carol y los que vendrán. Gracias por despertar y descubrir en mí un sentimiento de alegría, ternura. Y al mismo tiempo un instinto de protección, cuidado, paciencia. Ustedes llegaron a ocupar un lugar tan especial, que ahora forman parte de mi vida, LOS A D O R O MIS NIÑOS PRECIOSOS.

SIEMPRE ESTAREMOS JUNTOS INCONDICIONALMENTE.

A **FERMÍN** por tú infinito apoyo, nunca terminaré de agradecerte todo lo que me brindaste. Formaste, formas y formarás un papel muy importante en mi vida. Sabes que te admiro, eres una persona muy inteligente, estoy orgullosa de ti. TE QUIERO MUCHO COSA.

A mis amigos, especialmente:

A ALICIA por ser mi primer amiga, nunca dejarás de sorprenderme eres única e increíble winny. Recuerda que estaremos juntas, aún con bastón eh! Te quiero hermana.

A ARIADNA por tu alegría, tu confianza, tu discreción, tu disposición. No cambies aricosita, te quiero mucho.

A EDUARDO por tu sencillez, tu ternura, tu apoyo, eres un buen amigo en toda la extensión de la palabra, gracias chiquiri. Te quiero.

A MÓNICA por ser la persona que mi hermano eligió, por ser la mamá de una de mis alegrías y por ser una buena amiga, gracias por todo lo que me has brindado, te quiero peludita.

A mi primer grupo de amigos:

A José Manuel por todo tu apoyo, me demostraste que una amistad verdadera se rige por la sensatez, la verdad, la comunicación y la paciencia. Te quiero mucho Chepo.

A oscar por tu simpatía y alegría, con tu sentido del humor haces olvidar a cualquiera de sus problemas, gracias hijito. Te quiero.

ÍNDICE.

1.	Introducción a la hemodiálisis	
1.1.	Antecedentes.....	5
1.2.	¿Qué es la hemodiálisis?.....	9
2.	DTI del sistema de tratamiento de agua	
2.1.	Esquema del sistema de tratamiento.....	14
2.2.	Diagrama de bloques.....	17
2.3.	Trayectoria del sistema de tratamiento.....	18
3.	Control de calidad	
3.1.	Contaminantes habituales del agua.....	19
3.2.	Control de calidad del sistema de tratamiento.....	21
3.3.	Control de calidad del agua de diálisis.....	34
4.	Pre-tratamiento.	
4.1.	Antecedentes.....	35
4.2.	Presión del sistema.....	36
4.3.	Filtro de sedimentos.....	39
4.4.	Filtro suavizador.....	43
4.5.	Filtro de carbón activado.....	47
5.	Tratamiento	
5.1.	Principio de la osmosis inversa.....	52
5.2.	Membrana de osmosis inversa.....	58
5.3.	Conductividad.....	63

6. Sistema de recirculación	
6.1. ¿Por qué un sistema de recirculación?	66
6.2. Electroniveles del sistema de recirculación.	68
6.3. Filtro ultravioleta.....	72
7. Comentarios.....	78
8. Glosario.....	80
9. Abreviaturas.....	85
10. Bibliografía	86

PRÓLOGO.

La diálisis renal es también conocida como *hemodiálisis*, es un tratamiento médico que se utiliza para eliminar los materiales de desecho de la sangre en los pacientes que no cuentan con una función renal eficaz. Dicho tratamiento funciona con el bombeo de la sangre desde una arteria hacia un dializador, por el cuál atraviesa una membrana semipermeable. Existe un líquido que pasa sobre el otro lado de la membrana eliminando a los elementos no deseados en la sangre por difusión. Después la sangre regresa al organismo a través de una vena.

Como podemos notar, es de gran importancia el líquido que atraviesa a la membrana, pero no puede ser cualquier tipo de líquido, sino un *líquido de diálisis con un alto grado de pureza*.

La característica fundamental del líquido de diálisis es que debe ser agua 100% pura, es decir, libre de todo contaminante (sedimentos, minerales, iones, etc.), para obtener esta pureza es necesario hacer circular el agua potable por una serie de filtros, cuya función es ir eliminando a todos estos contaminantes, una vez terminado el proceso de filtrado es nuevamente sometido a un último filtro, que elimina de manera total los multicitados contaminantes, de aquí se separa el agua de dos maneras: la que es aceptada y se va directamente a las máquinas de hemodiálisis y... ¿la que es rechazada?. Normalmente es desperdiciada, ya que se va directamente al drenaje.

Es por ello que el presente trabajo está basado en la necesidad de contribuir no solo a que este líquido se obtenga puro, sino el como evitar que este líquido sea desperdiciado puesto que una gran cantidad (como ya hicimos mención) de agua que se encuentra libre de contaminantes es arrojada al drenaje perdiendo la oportunidad de ponerla nuevamente en circulación, y a su vez, de esta manera estamos prolongando la vida del equipo de diálisis.

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN A LA HEMODIÁLISIS.

1.1 ANTECEDENTES.

El parisino Rouelle le Cadet fue el primero que utilizó el término urea, en 1773, hablando de ella como una sustancia jabonosa presente en la orina de animales y del hombre, y a fines del mismo siglo, Antoine Fourcroy y Nicolás Vauquelin lograron cristalizar este compuesto para luego analizarlo, encontrando en el mismo un gran contenido de nitrógeno.

Ya en el Siglo XIX, en 1821, en la ciudad de Génova, dos científicos que también se interesaron en este tema (Jean Louis Prévost y Jean Baptiste Dumas) demostraron que el aumento de la concentración de urea en la sangre de algunos animales era previo a la muerte de los mismos, descubrimiento muy importante, ya que comenzaron a ver que era ésta la base de una enfermedad hasta el momento desconocida. En Londres, John Bostock y William Prout, poco tiempo después, encontraron urea en la sangre de ciertos pacientes con enfermedad de Bright, por la cual veían disminuida su secreción urinaria. Y finalmente en Escocia, en el año 1829, el médico químico Robert Christison se refiere concretamente a la retención de sustancias químicas en la sangre y su toxicidad, indicándolo como insuficiencia renal. En 1840 el científico Pierre Piorry habló de la uremia como "orina en la sangre".

También debemos tener en cuenta que el descubrimiento de estas sustancias tóxicas en la sangre fue acompañado de estudios que sentaron las bases de la técnica de diálisis, como los del francés René Dutrochet, que en la misma época en la que se desarrollaban los estudios de urea en la sangre, ya hablaba de una filtración química que producía la orina desde los riñones, y realizaba sus análisis sobre la transferencia de agua desde y hacia las células y a través de membranas de animales.

Otro importante aporte en este aspecto fue el del inglés Thomas Graham, que realizó estudios en los que separaba sustancias a través de membranas, y en el año 1861 comenzó a hacer referencia a dos tipos de sustancias, una de ellas los coloides, que podían ser retenidos por membranas semipermeables, como la que él mismo utilizó: papel para escribir almidonado. E indicó que la urea tenía posibilidades de ser dializada a través de este tipo de membranas, descubrimiento que marcó un importante avance en esta ciencia.

Hasta ese momento, los aportes a la técnica de la diálisis, aunque importantes, no iban más allá de una suma de datos y estudios. Se había comenzado a dializar sangre y plasma in vitro, pero recién comenzaría a desarrollarse esta técnica cuando alguien intentara aplicarla en seres vivos para encontrar en ella un medio para salvar vidas, y mejorar la calidad de vida de los enfermos renales.

Es recién a principios del Siglo XX cuando comienza el desarrollo de la diálisis in vivo, y es aquí cuando comienza la verdadera batalla de un grupo de hombres que ayudaron, con su esfuerzo, a encontrarnos con lo que hoy tenemos.

Durante muchos años, los métodos para la eliminación extrarrenal de sustancias difusibles de la sangre han atraído el interés de los investigadores. El primer riñón artificial usado experimentalmente en animales, fue empleado por Abel, Rowntree y Turner, quienes publicaron sus trabajos en 1913. La sangre del perro pasaba a través de una serie de tubos de colodión que servían como membrana dializante. La sangre se hacía incoagulable por la inyección de hirudina, activo agente anticoagulante. Los autores fabricaban sus propios tubos de colodión y extraían la hirudina de miles de sanguijuelas que ellos mismos criaban. Con estos rudimentarios dispositivos lograron extraer salicilato de la sangre circulante de conejos. Por su parte Abel, previó el futuro al afirmar en 1913 que "*hay numerosos estados tóxicos en los cuales los emuntorios, especialmente los riñones, son incapaces de eliminar del cuerpo, en adecuadas proporciones las substancias normales o extrañas cuya acumulación es dañina para la vida.*"

Con la esperanza de proporcionar, en tales emergencias, un sustituto que pudiera superar una crisis peligrosa, así como la importante información que pudiera proveer... se ha ideado un método por el cual la sangre de un animal vivo puede ser sometida a diálisis fuera del cuerpo".

Aparatos similares al de Abel fueron utilizados en experimentación animal por Hass en 1915 y por Van Hess. Por lo difícil que resultaba trabajar con tubos de colodión, Love en 1920 utilizó un riñón artificial en el que la membrana dializante era intestino de animal, en esa extensa experimentación se usó intestino de gato, conejo, pollo y pavo. Necheles en 1923, al parecer prefirió las membranas animales, dándose cuenta que el peritoneo era esencialmente una membrana inerte, empleo ésta como membrana dializante. Utilizando este aparato en perros nefrectomizados, logró una notoria mejoría en la sintomatología después de la diálisis, y propuso el uso del aparato en el tratamiento de la insuficiencia renal aguda. En 1937, Thalhimer empleó heparina y una membrana de celofán por primera vez.

El trabajo de Kolff en 1947, coloca la piedra angular para el uso del riñón artificial en clínica humana. Este investigador, trabajando en Kampen, durante la ocupación alemana de Holanda diseñó un riñón artificial en el cual el tubo de celofán estaba enrollado en un tambor rotatorio sumergido en una solución dializante. La rotación del tambor por el principio del Arquímedes, literalmente empujaba la sangre a través del tubo de celofán hacia el extremo distal de la máquina, desde donde volvía a la vena del paciente, por medio de una bomba.

En 1947, Alwall describió un tipo fijo de aparato, en el cual la membrana de celofán estaba enrollada entre dos láminas colocadas verticalmente. Las láminas eran colocadas en un baño dializante que circulaba sobre la membrana de celofán en dirección contraria al flujo sanguíneo. Este aparato además de cumplir la función de dializador, era también capaz de ultrafiltrar la sangre, puesto que la malla compresora colocada sobre la membrana permitía el desarrollo de presión hidrostática sobre la sangre dentro del tubo de celofán.

En 1953 se describió un ingenioso aparato en el cual espirales de celofán enrollados concéntricamente entre mallas plásticas eran sumergidos en un baño dializante, y todo el dispositivo estaba contenido en una ordinaria olla a presión. Kolf y Watschinger adoptaron esta idea, enrollando sus celofanes y mallas primero en latas de fruta luego de cerveza, hasta inventar finalmente un aparato que ha sido fabricado en gran escala como el "Twin coil artificial kidney". El aparato de Skeggs y Leonards fue considerado como muy eficaz tanto como dializador y ultrafiltro. Éste consiste en hojas de celofán comprimidas entre planchas de plástico acanaladas, la sangre circula entre las hojas de celofán, el líquido circulante circula por fuera de cada una de las hojas en dirección contraria al flujo sanguíneo.

1.2 ¿QUE ES LA HEMODIÁLISIS?

La hemodiálisis es un procedimiento que limpia y filtra la sangre. Saca del cuerpo los desechos nocivos y el exceso de sal y líquidos. También controla la presión arterial y ayuda al cuerpo a mantener un equilibrio adecuado de ciertas sustancias químicas, como son el potasio, el sodio y el cloro. La hemodiálisis es un tratamiento que salva la vida de más de un millón de pacientes en todo el mundo¹.

COMO FUNCIONAN LOS RIÑONES

Los riñones limpian la sangre filtrando los productos de desecho y balanceando el contenido de agua en el cuerpo, produciendo la orina. Los riñones también tienen otras funciones útiles: Balancean la cantidad de químicos, como potasio y sodio en la sangre. Ayudan a mantener el balance ácido y producen hormonas.

Estas hormonas ayudan a la médula ósea a producir glóbulos rojos para que el oxígeno pueda ser transportado a través del cuerpo; producen vitamina D en su forma activa para asegurar que los huesos estén fuertes y saludables y mantienen la presión arterial bajo control.

La mayoría de las personas tienen dos riñones, cada uno del tamaño de un puño. Están localizados en cada lado de la columna vertebral, justo arriba de la cintura y debajo de la última costilla. Cada día, el trabajo de los riñones es bombear 189 litros de sangre a través de los 225 km de arterias, y de millones de filtros llamados "Nefrones".

1. BARRY M. BRENER "EL RIÑÓN TRATADO DE NEFROLOGÍA" BOSTON, MASSACHUSETTS. P.P. 2590.

CUANDO FALLAN LOS RIÑONES.

Una persona puede estar sana con solo un riñón trabajando al 20% de su capacidad normal sin embargo, cuando el riñón falla, el paciente fácilmente se siente cansado, débil y pierde el apetito. Los desperdicios tóxicos empiezan a acumularse en la sangre y acumula fluidos causando que se hinche. Varían los síntomas, pero pueden incluir náusea, vómito y puede presentar comezón en la piel, sudor en las manos y tobillos, y dificultad para dormir.

Existen varias enfermedades que causan una falla en el funcionamiento de los riñones, como: diabetes, alta presión arterial, inflamación, obstrucción e infecciones crónicas.

PREPARACIÓN.

Antes de comenzar el primer tratamiento, es necesario tener acceso a su torrente sanguíneo. Este acceso permite que la sangre vaya de su cuerpo a la máquina de diálisis y que luego regrese a su cuerpo. El acceso puede ser interno (dentro del cuerpo—generalmente debajo de la piel) o externo (fuera del cuerpo).

COMO FUNCIONA.

La hemodiálisis se hace con un dializador, o sea un filtro especial para limpiar la sangre. El dializador se conecta a una máquina. Durante el tratamiento, la sangre circula por unos tubos y va al dializador. Éste filtra los desechos y el exceso de líquido. Luego la sangre purificada fluye por otro juego de tubos y vuelve al cuerpo, como se representa en la figura.

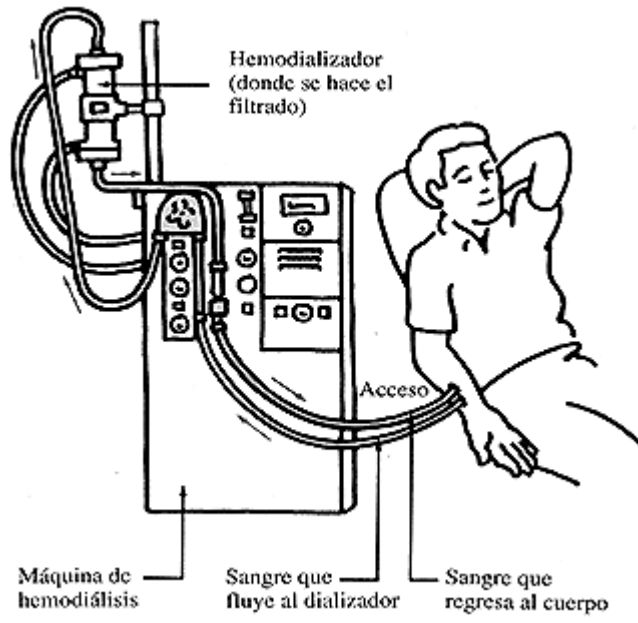


FIG.1.1.

1.2 LÍQUIDO DE DIÁLISIS.

El LD constituye un elemento fundamental del tratamiento dialítico, tan importante como lo pueda ser el dializador o el propio monitor. Estos tres elementos interactúan entre sí y de nada sirve utilizar un dializador con una membrana muy biocompatible y de alta permeabilidad si empleamos un LD contaminado, con gran cantidad de pirógenos. Aún más, en estas circunstancias el uso de ese dializador podría resultar contraproducente.

La biocompatibilidad ha dejado de ser un problema teórico para convertirse en uno de los objetivos de la hemodiálisis actual. El LD constituye una parte fundamental de la biocompatibilidad y de ahí, la necesidad e importancia de tratar adecuadamente el agua utilizada en su fabricación y de alcanzar un adecuado nivel de calidad.

Los dializadores y monitores están garantizados por casas comerciales que se responsabilizan de su calidad y de cumplir las normas vigentes al respecto. El líquido de diálisis, por el contrario, se fabrica en el momento y en la propia unidad de diálisis, sin posibilidad de controles de calidad previos a su utilización e indudablemente, bajo la responsabilidad del personal sanitario tratante y del técnico, en caso de existir. El agua suministrada a las ciudades debe cumplir una serie de requisitos imprescindibles que la hacen apta para el consumo humano, pero aún así, no sirve para la fabricación del LD, es necesario purificarla y mantener unos grados de pureza muy superiores a los del agua potable. Esto es así porque, cada semana, la sangre del paciente sometido a hemodiálisis se pone en contacto con 270-600 litros de agua a una velocidad de flujo que puede variar de 500 a 800 mililitros por minuto¹ y lo hace a través de una membrana nada selectiva y por otro lado, la insuficiencia renal le impide eliminar los contaminantes acumulados, pudiéndole ocasionar una verdadera intoxicación.

1. DR. ALEJANDRO TREVIÑO. "TRATADO DE NEFROLOGIA". MEXICO. P.P. 1414.

Al principio, se trataba de prevenir el síndrome de agua dura y las contaminaciones bacterianas. Posteriormente, hubo que enfrentarse a contaminantes difíciles de eliminar; es el caso de metales como el aluminio, cuya intoxicación produce encefalopatía y osteomalacia o de las cloraminas, que pueden provocar auténticas epidemias de anemia por hemólisis. En esta década, la mayor preocupación se ha centrado en las complicaciones con repercusión a medio y largo plazo, adquiriendo importancia el tema de las endotoxinas, responsables no sólo de las llamadas reacciones a pirógenos, sino también del desarrollo de un estado inflamatorio crónico que repercute, a la larga, en diversos aspectos clínicos de nuestros enfermos.

CAPÍTULO 2.

DTI DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

2.1. ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

En la figura 2.1 se muestra el DTI (Diagrama de Tuberías e Instrumentos) que corresponde al sistema de tratamiento de agua para equipos de hemodiálisis, en el que se muestran equipos, tuberías e instrumentos que componen al sistema en estudio.

EQUIPOS.

Los equipos que conforman el proceso son:

1. Bomba de alimentación.
2. Hidroneumático.
3. Filtros que conforman la fase de pre-tratamiento.
4. Osmosis inversa.
5. Tanque de almacenamiento.
6. Luz ultravioleta.
7. Bomba de recirculación.
8. Filtros de 5 μm .

Tubería de PVC (Cédula 80).

Se utiliza este tipo de material para tuberías de la planta de tratamiento, debido a diversos factores que preponderan sobre otros tipos de materiales como el acero inoxidable, cobre, incluso otros tipos de PVC. Estos factores son los siguientes:

- La facilidad de operación con la que cuenta este tipo de material.
- El bajo costo en comparación con otros materiales.
- El material es de color gris oscuro para evitar el paso de la luz solar que provoque el crecimiento de bacterias fotosintéticas.
- El acabado del material no es rugoso, evitando que las bacterias puedan reproducirse en dichos espacios. Este material está aprobado por la Industria Farmacéutica y Alimenticia (FDA por sus siglas en inglés).
- El material está diseñado para soportar presiones elevadas de hasta 250 libras/pulgada².

SISTEMA DE TRATAMIENTO

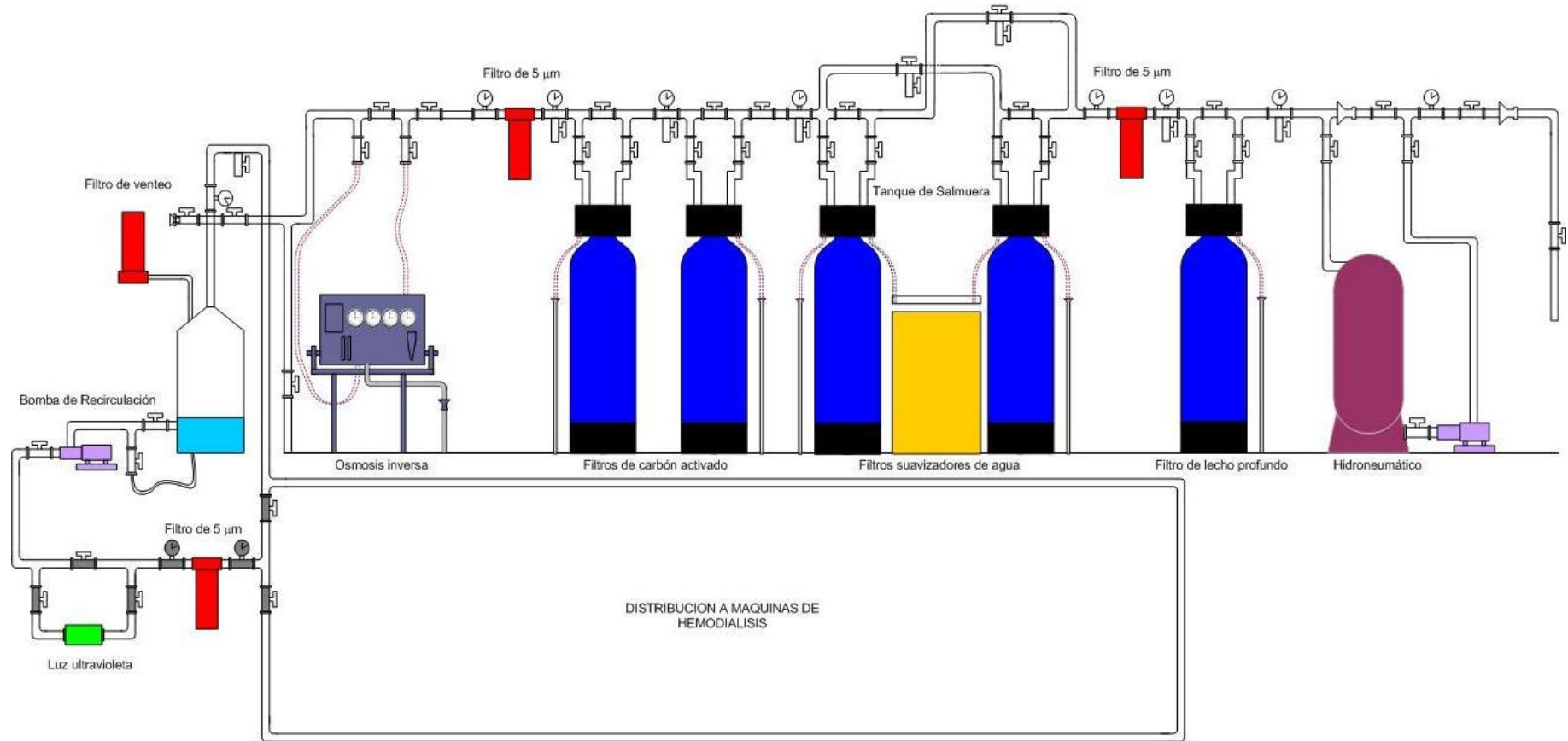
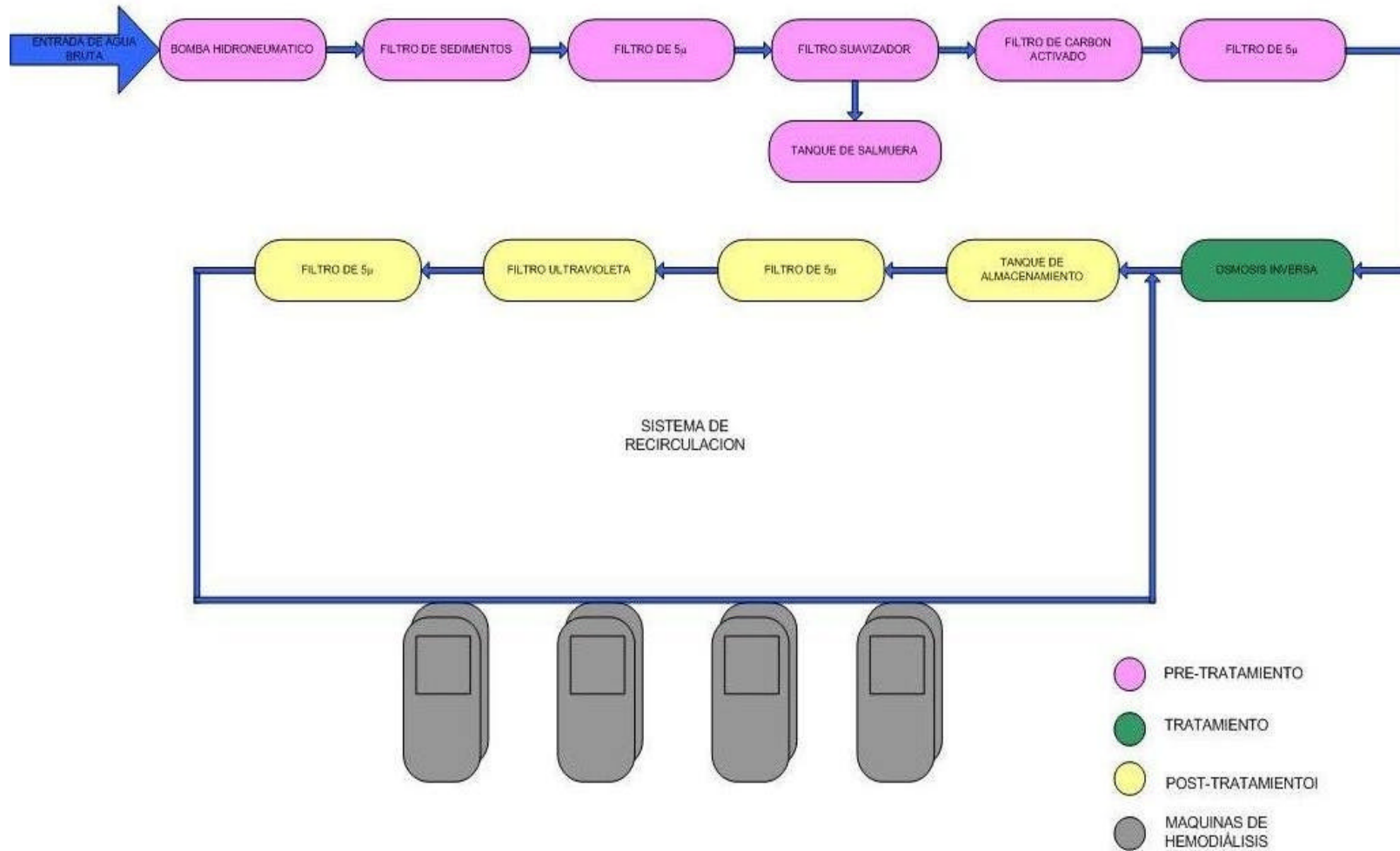


FIG. 2.1

DIAGRAMA DE BLOQUES



2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES.

2.3. TRAYECTORIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

En el pre-tratamiento el agua cruda se dirige hacia el hidroneumático. El hidroneumático proporciona un caudal de agua necesario para asegurar un flujo de agua constante en los filtros (sedimentos, carbón activado y suavizador). Después de salir del hidroneumático, el agua fluye primeramente al filtro de sedimentos, donde se retiene cualquier partícula sólida en suspensión mayor a 50 micras. A continuación se dirige a un filtro de 5 μm donde se retienen las partículas que, en algunos casos, el filtro de sedimentos permite pasar. En seguida el agua pasa al filtro suavizador, donde por medio de una reacción química, da como resultado el carbonato de sodio (agua suavizada). Seguidamente el flujo del agua pasa al filtro de carbón activado, donde se adsorbe las partículas de cloro en el agua. Después de esto, el agua fluye hasta llegar a un filtro llamado pulidor (5 μm), donde se eliminan las impurezas mayores a 5 micras.

En el tratamiento el agua sigue fluyendo hacia el filtro de la osmosis, para que después el agua llegue al motor de la osmosis. La membrana de la osmosis rechaza del 90-99 % de las impurezas aún existentes en el agua (bacterias, virus, pirógenos, sólidos orgánicos e inorgánicos). El agua filtrada por la membrana de la osmosis se llama agua producto que es prácticamente pura, y es enviada al filtro ultravioleta.

Finalmente en el Post-tratamiento, el agua es enviada a las máquinas donde se realiza el proceso de hemodiálisis, donde el agua producto es combinada con ácido y bicarbonato, para formar el líquido de diálisis. El agua de recirculación es el agua producto que circula por la línea y que no es utilizada por las máquinas. Esta agua reingresa al sistema en el punto antes del filtro de la osmosis para un nuevo paso por la membrana, y de esta forma volver a ser utilizada.

3. CONTROL DE CALIDAD.

3.1. CONTAMINANTES HABITUALES 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 270 a 600 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. A continuación presentamos algunos efectos en los pacientes por elementos que se encuentran en el agua no tratada:

ANEMIA. Es una alteración causada por disminución del número de glóbulos rojos y disminución de la hemoglobina bajo los parámetros estándares. Rara vez se registra en forma independiente una deficiencia de uno solo de estos factores. **CONTAMINANTES.** Aluminio, cloraminas, cobre y cinc¹.

ENFERMEDAD ÓSEA. Falta de calcio en el cuerpo. Se presenta con fracturas óseas y debilitamiento en los huesos. **CONTAMINANTES.** Aluminio y flúor.

HEMOLISIS. Desintegración o disolución de los corpúsculos sanguíneos, especialmente de los hematíes, con liberación consiguiente de la hemoglobina hematíes: sinónimo de eritrocito (célula de la sangre desprovista de núcleo que contiene hemoglobina). **CONTAMINANTES.** Cloraminas, cobre y nitratos.

1. BARRY M. BRENER "EL RIÑÓN TRATADO DE NEFROLOGÍA" BOSTON, MASSACHUSETTS. P.P. 1599.

HIPERTENSIÓN ARTERIAL. Condición médica que cursa con una elevación persistente de la presión arterial, por encima de los 140/90 mm Hg. Es uno de los principales factores de riesgo de cardiopatías, ictus y es una de las principales causas de insuficiencia renal. **CONTAMINANTES.** Calcio y sodio.

HIPOTENSIÓN ARTERIAL. Trastorno en el cual la presión arterial sanguínea desciende por debajo de los valores normales y no es adecuada para la perfusión y oxigenación normal de los tejidos. Se puede manifestar por palidez, náuseas, sudoración fría etc. **CONTAMINANTES.** Endotoxinas y nitratos.

ACIDOSIS METABÓLICA. Alteración del equilibrio ácido-básico corporal que produce acidez excesiva en la sangre. La acidosis metabólica se puede presentar como resultado de muchas condiciones diferentes, como la insuficiencia renal, la cetoacidosis diabética y el *shock*. **CONTAMINANTES.** Sulfatos y magnesio.

ARRITMIAS CARDIACAS. Variación del ritmo regular de los latidos cardíacos. La contracción de las fibras del corazón depende de una descarga eléctrica que se origina en una zona especial (marcapasos natural) y recorre una trayectoria determinada. Si este sistema de conducción presenta anomalías, o si la contracción se origina por la descarga de otra zona (foco ectópico), entonces se generan las arritmias. **CONTAMINANTES.** Magnesio y calcio.

ALTERACIONES GASTROINTESTINALES. CONTAMINANTES. Cloraminas.

SINDROME DE AGUA DURA. Se presenta como náusea, vómito y pérdida de la memoria. **CONTAMINANTES.** Calcio y magnesio.

3.2. CONTROL DE CALIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

ELEMENTO	CONTROL DIARIO	CONTROL MENSUAL	OBSERVACIONES
MANÓMETROS	Comprobar a lo largo de todo el tratamiento posibles variaciones anómalas de las presiones.		Determinadas acciones automáticas del tratamiento, fundamentalmente auto limpiezas, implican variaciones en las presiones habituales.
ENTRADA DE AGUA BRUTA	Presión.	Medir cloro, cloraminas y dureza.	Aumentar los controles si se sospecha que cambian las condiciones de la misma. Cualquier cambio puede afectar a elementos del tratamiento o a la calidad final y ser necesarios modificación de ellos.
PREFILTROS	Diferencia de presión entre entrada/salida	Si son filtros auto lavables comprobar funcionamiento del ciclo de lavado.	El funcionamiento o estado de elementos posteriores pueden indicar el correcto funcionamiento de la prefiltración. Realizar los cambios necesarios de los mismos siguiendo las pautas del fabricante o instalador.
FILTRO SUAVIZADOR	Medir dureza a la salida, registrarla indicando el filtro que funciona en ese momento y volumen restante para su regeneración. Estado del depósito de sal.	Comprobar consumos de sal, fases de la regeneración, funcionamiento de los elementos de control: relojes.	Alteraciones de la conductividad antes de la osmosis, disminución de los caudales de rechazo y producción, pueden ser indicativos de anomalías en los filtros. No prolongar la vida de las resinas más tiempo del recomendado por el fabricante. Existen aparatos específicos para vigilar la dureza.
FILTRO DE CARBON ACTIVADO	Medir cloro - cloraminas a la salida a máximo consumo. Una vez por turno si no hay depósitos de agua tratada. Registrarlo.	Comprobar funcionamiento del ciclo de lavado. Estado de los elementos de control automático. Filtro posterior.	Si existen dos filtros de carbón en serie o paralelo debe existir la posibilidad de realizar las mediciones de forma independiente. El estado del filtro posterior indica el funcionamiento del filtro.

ELEMENTO	CONTROL DIARIO	CONTROL MENSUAL	OBSERVACIONES
OSMOSIS INVERSA	Conductividad de entrada y salida y/o Sólidos Totales Disueltos (TDS). Registrarlo. Presiones y caudales. Presiones de entrada y salida	Verificar presiones de los filtros en la osmosis	Realizar desinfección y desincrustaciones de la membrana de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Respetar caudales y presiones indicadas por el mismo, en caso de variarlas es conveniente realizar análisis detallado (químico, bacteriológico, endotoxinas)
LAMPARA UV.	Intensidad Luminosa		Cambiar la lámpara de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante.
RED DE DISTRIBUCION	Verificar presión a la entrada y salida del anillo de distribución.		Fijar calendario de desinfecciones en función de las características y longitud de red, calidad del agua producida, tipo de desinfección (térmica, química). Debe registrarse cada desinfección y los motivos (protocolo o por contaminación).
DEPOSITO DE AGUA TRATADA.	Si son de agua tratada medir cloro, cloraminas y dureza en red distribución.	Conmutar bombas de impulsión (existen sistemas automáticos). Comprobar funcionamiento de niveles y alarmas.	Desinfectar junto con la red de distribución. Cambiar filtro de venteo según especificaciones. Si son de agua bruta o pre-tratada es necesario controlar niveles de cloro – cloraminas, suciedad y cloraminas regularmente.

El monitoreo de la planta de tratamiento de agua de agua debe ser realizada en diferentes puntos del proceso de producción del LD y con distinta frecuencia según las circunstancias:

1º Validación de un sistema nuevo de tratamiento de agua después de su instalación o de una reparación importante y validación después de haberse detectado niveles elevados de contaminación que han obligado a una acción correctora.

2º Mantenimiento de un sistema en su funcionamiento rutinario.

Los controles microbiológicos del agua purificada o altamente purificada deberán hacerse semanalmente durante la fase de validación de dos meses. Posteriormente y en la fase de mantenimiento se realizarán al menos una vez al mes.

Los controles del nivel de endotoxinas se realizarán mensualmente tanto en el periodo de validación como en el de mantenimiento.

Cada centro debe establecer un protocolo por escrito fijando la periodicidad método y responsabilidades de estos controles. Las unidades en funcionamiento deberán realizar como mínimo un control mensual de la calidad del agua de diálisis.

Para poder establecer el nivel de cloraminas, la dureza, y la conductividad necesitamos cierto tipo de químicos y herramientas que nos ayuden a determinar estos factores, por lo cual se presentan a continuación los procedimientos para determinarlos.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA CONDUCTIVIDAD EN LOS FILTROS DE PRE-TRATAMIENTO.

HERRAMIENTA: Conductivímetro.

INDICACIONES

- Quitar la tapa protectora.

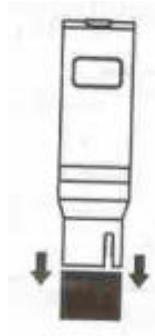


Fig.3.1

- Poner el conductivímetro en el modo "on" (encendido).



Fig.3.2

- Sumergir el conductivímetro en la solución a verificar, hasta que el agua tope con el nivel máximo indicado por el conductivímetro para sumergirse.

- Esperar 10 segundos a que se estabilice el valor que arroja el conductivímetro. ($\mu\text{s}/\text{cm}$).



Fig.3.3

- Retirar el conductivímetro del recipiente con la solución a verificar.
- Registrar el valor obtenido en la bitácora de mantenimiento
- Poner el conductivímetro en el modo “off” (apagado).
- Poner la tapa protectora.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA DUREZA DEL AGUA, ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRO SUAVIZADOR, EN LA TOMA DE AGUA BRUTA Y EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

HERRAMIENTA:

1 kit de suavizador que contiene:

- 1 pipeta de plástico de 15 ml.
- 2 goteros buffer.
- 1 gotero de indicador calmagite.
- 1 frasco de plástico de 10 ml.

INDICACIONES

- Quitar la tapa del recipiente de plástico. Vaciar el agua de la toma de muestra, ubicada antes del filtro suavizador, en el recipiente hasta que el agua marque los 10 ml. y ponerle la tapa.

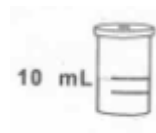


Fig.3.4.

- Agregar 5 gotas de la solución Buffer lanzadas por el orificio de la tapa hacia el recipiente y sujetando el recipiente, agitándolo cuidadosamente en pequeños círculos para mezclarse bien.



Fig.3.5.

- Agregar 1 gota de indicador calmagite lanzada por el orificio de la tapa hacia dentro del recipiente y agitarse para mezclarse como se describió anteriormente. La solución se tornará de un color rojo-violeta.



Fig.3.6.

- Absorber con la pipeta de plástico, la solución HI 38033-0 EDTA, e insertar la punta de la pipeta por el orificio de la tapa del recipiente. Agregar la solución gota por gota, agitando el recipiente para mezclar la muestra por cada gota agregada, llevando la cuenta de las gotas que se agregan.

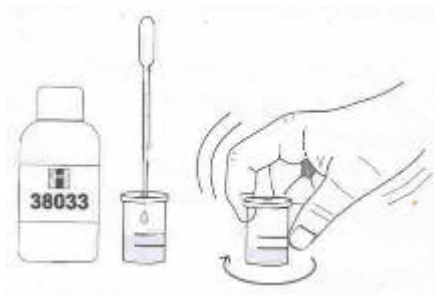


Fig.3.7.

- Continuar agregando las gotas de la solución hasta que la muestra se torne de color púrpura. Después de esto, mezclar la muestra 15 segundos después de cada gota adicional hasta que se torne de color azul.

- Anotar en la bitácora de mantenimiento, el número total de gotas de la solución HI 38033-0 EDTA, que se necesitaron para obtener el color final azul.

Para la toma de muestra después del filtro suavizador:

- Quitar la tapa del recipiente de plástico. Vaciar el agua de la toma de muestra en el recipiente hasta que el agua llegue a la marca de 10 ml. y ponerle la tapa.
- Agregar 5 gotas de la solución Buffer lanzadas por el orificio de la tapa hacia el recipiente, sujetándolo y agitándolo cuidadosamente en pequeños círculos para mezclarse bien.
- Agregar 1 gota de indicador calmagite, que se lanza por el orificio de la tapa hacia dentro del recipiente y agitarse para mezclarse como se describió anteriormente. La solución se deberá tornar de color azul. Esto indica que el agua está ya suavizada por el filtro.

NOTA: si el agua se torna de color rojo-violeta, se indica que el agua a la salida del filtro suavizador no está suavizada.

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL CLORO EN EL AGUA, ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRO DE CARBON ACTIVADO.

HERRAMIENTAS: 1 kit para cloro libre y total, que contiene:

- 2 probetas graduadas de 20 ml. c/u.
- 1 disco inspector.
- 100 paquetes de reactivo de cloro libre.
- 100 paquetes de reactivo de cloro total.
- 1 botella de agua desmineralizada.

INDICACIONES

- Para medir el cloro en la gama de 0.07 mg/l, verificar que el espejo, el sostenedor y el disco, están pre-instalados en el disco inspector. Si no es así, instalarlo según se muestra en la figura.

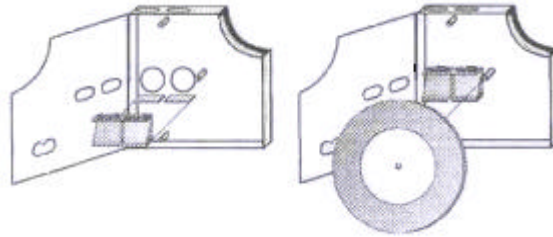


Fig.3.8.

- Vaciar 10 ml (hasta la marca que se muestra en la figura), del agua de muestra tomada antes del filtro de carbón activado, en cada frasco de cristal.

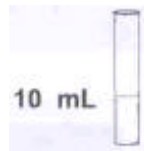


Fig.3.9.

- Inserte uno de los frascos en el orificio del lado izquierdo del disco inspector. Ésta es la prueba.



Fig.3.9.

- Destapar la botella del desmineralizador y llenarla con el agua de la tarja.

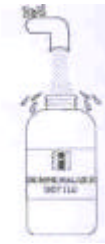


Fig.3.10.

- Cerrar la botella del desmineralizador poniéndole la tapa y agitar suavemente durante 2 minutos para que se mezcle bien. Después de esto, el agua desmineralizada estará lista.

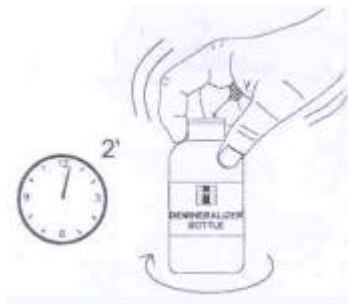


Fig.3.11.

- Abra la tapa de la botella del desmineralizador suavemente, y exprimiendo la botella, agregar el agua desmineralizada al frasco de cristal hasta la marca de 20 ml. Tapar el frasco con la tapa y agitarlo suavemente para que se mezcle bien.

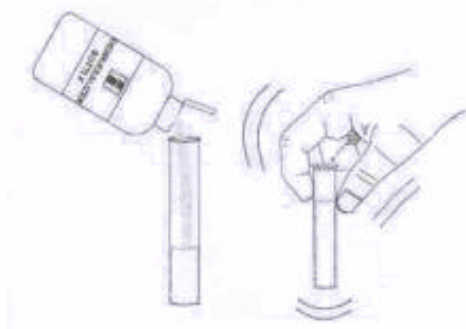


Fig.3.12.

- Quitar la tapa y agregar el reactivo específico de la prueba.

Cloro libre: 1 paquete del reactivo de cloro libre.

Cloro total: 1 paquete del reactivo de cloro total.



Fig.3.13.

- Poner la tapa del frasco y agitar suavemente para que la muestra se mezcle bien.
- Para determinar cualquiera de los 2 casos (cloro libre o cloro total), esperar 2 minutos para que ocurra la reacción en la muestra.



Fig.3.14

- Quitar la tapa del frasco e insertar la muestra en el orificio del lado derecho del disco inspector.
- Sostenga el disco inspector de manera que una fuente de luz ilumine las muestras por la parte superior como se muestra en la figura.

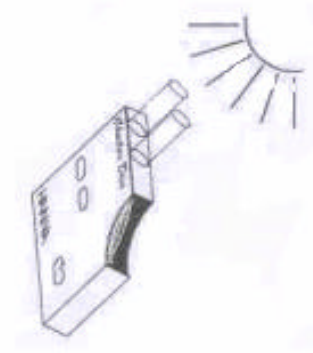


Fig.3.15.

- Mantenga el disco inspector a una distancia de 30 a 40 centímetros de los ojos, para observar el color. Rotar el disco mientras se observa el color que se muestra en las ventanas del disco inspector y detenerse cuando se vea que el color de las ventanas sea exactamente igual en las dos. Leer el valor en la ventana del resultado y dividirlo entre 5, para obtener mg/l, (o ppm = partes por millón) del cloro.

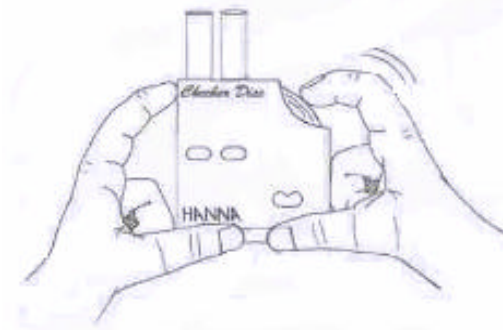


Fig.3.16

- Anotar en la bitácora de mantenimiento el valor final que se obtuvo.

3.3 CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA DE DIÁLISIS.

Niveles máximos aceptados de elementos en el agua para hemodiálisis.

CONTAMINANTE (ppm)/mg/L	CANTIDAD
CALCIO	2.0
MAGNESIO	4.0
SODIO	70.0
POTASIO	8.0
FLUOR	0.2
CLORO	0.5
CLORAMINAS	0.1
NITRATOS	2.0
COBRE, BARIO, CINC	cada uno 0.1
ALUMINIO	0.01
ARSENICO, PLOMO, PLATA	cada uno 0.005
CADMIO	0.001
CROMO	0.014
SELENIO	0.09
MERCURIO	0.0002

CAPÍTULO 4.

PRE-TRATAMIENTO.

4.1. ANTECEDENTES.

En este capítulo se estudia y se analiza la importancia de una etapa de filtrado, ya que es fundamental e importante contar con un excelente módulo de filtros, en virtud de que nuestro objetivo es obtener una pureza ideal del agua. El agua que recibimos es agua potable, por lo tanto podríamos decir que es “agua contaminada”.

Los contaminantes que contiene dicho líquido se encuentran mezclados en sus moléculas, debido a esto es necesario llevar a cabo una separación de esta composición. Podemos decir que la separación, concentración y purificación de las especies químicas presentes en el agua es un problema importante en los campos más diversos, un ejemplo de este campo y de nuestro interés: la purificación de agua para diálisis.

Para llevar este objetivo a cabo debemos implementar un equipo que realice todo un proceso de filtrado para lograr esta meta. Dicho equipo a implementar es un conjunto de filtros: *sedimentos, suavizador y carbón activado*.

A continuación hablaremos y explicaremos detalladamente el uso y funciones de cada uno de ellos, así como sus características propias.

4.2. PRESIÓN DEL SISTEMA.

La toma de alimentación de agua bruta debe estar diseñada para garantizar una alimentación constante, bien por más de una acometida de agua, depósitos en la misma, duplicación de bombas, etc. La importancia de esto aumenta si en el sistema de tratamiento el agua producida se suministra directamente a la red de distribución. En este caso es indispensable contar con una válvula reguladora de presión, las cuales se usan para mantener una presión constante en la descarga, aunque en la entrada varíe el flujo o la presión. El funcionamiento de la válvula reguladora de presión es el siguiente:

En el tubo existe una presión de entrada (P_e), una presión de salida (P_s) y una presión ejercida sobre el diafragma (P_d). Si la válvula piloto está cerrada, tendremos $P_e = P_d$, por lo que el disco por su propio peso y la fuerza del resorte auxiliar permanecerá cerrado. Si la válvula piloto está abierta se establece una corriente de agua y debido a la estrangulación se producirá una P_d menor que un P_e , por lo cual la válvula permanecerá abierta. El hecho de que la válvula piloto esté abierta, cerrada o estrangulada depende de la diferencia de presión entre P_e y P_s , por lo que deberá cumplir una función reguladora sobre el flujo, y consecuentemente, por medio de la estrangulación sobre la presión de la cara del diafragma. Es muy importante contar con dos manómetros, tanto a la entrada como a la salida, para poder verificar el correcto funcionamiento del mismo.

SISTEMA HIDRONEUMÁTICO.

Se denomina así, a un equipo constituido básicamente por un tanque herméticamente cerrado en el cual se almacena agua y aire a presión con valores convenientes para su utilización y distribución.

Su funcionamiento es como sigue:

La bomba inyecta agua a presión en el tanque comprimiendo el aire contenido en el mismo.

En un ciclo inicial el tanque está lleno solamente de aire a la presión atmosférica y la entrada de agua comprime el aire interior aumentando la presión hasta llegar a un valor máximo previamente establecido (por lo general el nivel pre-establecido para el sistema de tratamiento es de 60 libras/pulg²), que censado por un presostato, (interruptor accionado por la presión en el tanque), detiene el funcionamiento de la bomba.

La salida del agua del tanque (por utilización o consumo) se produce a expensas de la presión acumulada en el mismo (disminución). Cuando se llega a un valor mínimo prefijado (que en este caso se fija en un valor de 30 lbs/pulg²) censado por el presostato, se pone nuevamente en marcha la bomba.

Se completa en esta forma el ciclo del sistema hidroneumático, entre la presión máxima en que el presostato detiene la bomba y la presión mínima en que el presostato la vuelve a poner en marcha comenzando así un nuevo ciclo.



Fig.4.1. Tipos de Hidroneumáticos.

4.3. FILTRO DE SEDIMENTOS.

Un sedimento es cualquier materia que puede ser transportada por un fluido y se deposita como una capa de partículas sólidas en fondo del agua.

La sedimentación es la separación de partículas suspendidas, por ejemplo en una planta de tratamiento de aguas estas partículas pueden ser derivadas de la corrosión de las tuberías del agua, granos de arena, pequeñas partículas de materia orgánica, partículas arcillosas u otras partículas pequeñas que estén presentes en el agua suministrada.

Un filtro de sedimentos actúa como pantalla para remover y elimina grandes partículas. Es importante tener en cuenta que los filtros de sedimentos reducen sedimentos exclusivamente, y por lo tanto no reducen la cantidad de químicos o metales pesados ni tampoco sirven para tratar el olor o sabor del agua.

Elimina elementos en suspensión que pueden ocasionar atascamiento prematuro de las membranas de osmosis o recubrimiento de las partículas de carbón activo y resinas del descalcificador, por lo que debe estar instalado como primer elemento del pre-tratamiento. La filtración de la arena es un método usado con frecuencia, muy robusto para quitar los sólidos suspendidos del agua. El medio de filtro consiste en un tanque con diferentes grosores o calibres de arena sílica (arena de mar), antracita y otros medios filtrantes, como la grava. Cuando el agua atraviesa el filtro, los sólidos son suspendidos en el agua y se arrojan en la arena donde quedan como residuo, por lo tanto en el agua se reducen los sólidos suspendidos.

En general, los filtros de sedimentos se clasifican según su número de micras, esto es el tamaño de partícula capaz de ser retenido por el filtro.

Los filtros se clasifican en función de su capacidad para remover partículas de un cierto tamaño de un fluido. El tamaño de poro se refiere al tamaño de una partícula específica u organismo que queda retenido en el medio de filtración.

Ejemplo, un filtro marcado como '10 micras' tiene cierta capacidad de captar partículas tan pequeñas como 10 micrómetros. Pero también se ha de especificar el método de ensayo y los estándares usados para determinar la validez/fiabilidad de esta clasificación.

Los filtros de arena/antracita tienen la ventaja de poder recurrir a una regeneración por contra lavados. La dimensión en cuanto al tamaño de poro o capacidad de discriminación de la arena de los filtros puede llegar hasta la exclusión de partículas de $> 5 \mu\text{m}$, generalmente alrededor de $20 \mu\text{m}$. Si se quiere la eliminación de partículas por debajo de estas dimensiones habrá que recurrir a otros microfiltros posteriores. Dependiendo de las características del agua bruta se realizará la elección de los filtros a colocar, siempre de mayor a menor poro.

Los dos tipos de informes más utilizados en la clasificación de medios de filtración son nominales y absolutos.

Absolutos

Los rangos absolutos se realizan en el punto de corte del filtro, y se refiere al diámetro del tamaño mayor de partícula esférica de cristal (normalmente expresada en micrómetro (μm) que pasa a través del filtro en condiciones de laboratorio.

Esto representa el tamaño de apertura del poro en el medio de filtración. El medio de filtración con un tamaño de poro exacto y consistente, al menos teóricamente, tiene un rango absoluto exacto.

El rango absoluto no se debería confundir con la mayor partícula capaz de pasar por el filtro en condiciones normales de operación; el rango absoluto solo determina el tamaño de partícula de cristal más grande que pasaría a través del filtro en condiciones de baja presión. Esto no se aplica normalmente en la práctica:

El tamaño del poro es modificado por la forma del elemento filtrante y no es necesariamente consistente con las áreas abiertas reales. Además la forma real de los contaminantes no es esférica, permitiendo así, su paso por poros de menor tamaño. De esta manera, el paso de partículas de gran tamaño, depende en gran medida del tamaño y forma de la apertura y en la profundidad a la que se realiza la filtración.

La mayoría de los filtros generan un lecho de filtración: los contaminantes que se colectan en la superficie provocan una acción de bloqueo y disminuyen la permeabilidad del elemento filtrante en consecuencia provocando una mala filtración. Cuando la acción de bloqueo es muy severa y la presión cae excesivamente, el flujo que pasa a través del filtro disminuye seriamente. Esto explica por que el funcionamiento de un filtro puede variar tanto y a veces exceder su rango dado basado en el funcionamiento de un elemento.

Se puede argumentar que el término de rango absoluto es una descripción real. Literalmente el término absoluto indica que ninguna partícula mayor que el rango establecido podrá pasar a través del filtro, limitando el tipo de medio a aquellos de tamaño de poro consistente donde se retiene un 100% de las partículas.

Nominal

El rango nominal se refiere a la capacidad del filtro de captar un porcentaje mínimo nominal por peso de partículas sólidas para un contaminante. Normalmente se utilizan gránulos de cristal igualmente mayores que un tamaño de micra establecido, normalmente expresado en micrómetros ($\mu\text{ m}$).

También representa un grado de filtración. Las condiciones de proceso como presión de operación, concentración de contaminantes, etc. tienen un efecto significativo en la retención de los filtros. Por ejemplo, un filtro de 5 micras nominal puede atrapar un 85% de partículas de tamaño de cinco micras y mayor; mientras un filtro de 5 micras absoluto puede atrapar 99.9% de partículas de 5 micras o más. Para la mayoría de las aplicaciones, un filtro nominal es suficiente, sin embargo cuando se requieren un grado muy alto de retención de partículas, entonces quizás sea necesaria la utilización de un filtro absoluto.

Los filtros de sedimentos pueden ser de distintos materiales, entre ellos, wound string o cord (tejido enrollado de distintos materiales), polipropileno, poliéster, celulosa, cerámica, fibra de cristal, y algodón entre otros.

4.4. FILTRO SUAVIZADOR.

El filtro suavizador tiene la función de eliminar la dureza del agua, es decir, prescindir de minerales que hacen que el agua se encuentre en un estado de endurecimiento. Cuando el agua es referida como agua “dura” esto simplemente significa que contiene más minerales de lo normal. El grado de dureza del agua aumenta entre más presencia haya de calcio y magnesio disuelto en dicho líquido.

El modo en que se lleva a cabo la supresión de Ca y Mg es con un ablandador de agua, mejor llamado filtro suavizador de agua. El cual consiste en eliminar iones que provocan esta dureza, en la mayoría de los casos, se trata de iones de calcio y magnesio, como ya lo comentábamos. Aunque también puede intercambiar otros como hierro y manganeso, que de igual manera pueden ser eliminados durante el proceso de ablandamiento.

La función de un filtro suavizador es muy específica, ya que está basado en un intercambio iónico, de tal manera que los iones a eliminar por dicho filtro se encuentran cargados positivamente, pues la intención de los ablandadores es eliminar principalmente a los iones de Ca y Mg, éstos son a menudo referidos como “minerales duros”.¹ Dicha función tiene un significado que cuando un intercambiador iónico es aplicado para ablandar el agua, éste reemplazará los iones de los minerales duros por otros iones, por ejemplo el sodio y el potasio, es decir, sustituyen iones de una disolución por otros iones con la misma carga a través de un lecho de resinas. También evita incrustaciones calcáreas (sarro) en las líneas de circulación. En caso de pasar a la red de distribución de agua tratada a los pacientes se les produciría el llamado síndrome del agua dura.

1. BARRY M. BRENER “EL RIÑÓN TRATADO DE NEFROLOGÍA” BOSTON, MASSACHUSETTS. P.P. 2580.

Las resinas adquieren iones de sodio a través de la regeneración, absorbiendo salmuera de un tanque específicamente instalado para proporcionar al filtro agua saturada de cloruro sódico mediante un tubo venturi, y la hace circular por la resina, adsorbiendo ésta iones de Na; posteriormente, al paso del agua, intercambia estos iones por iones “duros” fundamentalmente.

La conexión de este equipo es conveniente que sea en paralelo, ya que es consistente en dos filtros de resinas comandados por uno o dos cabezales, además de contar con un depósito para la sal. La configuración de los filtros puede ser:

- Uno de los filtros está trabajando y el otro regenerando o en fase de espera.
- Los dos filtros trabajan al unísono, pero nunca regeneran simultáneamente.

Esto es debido a que el proceso de regeneración es lento ya que las resinas, una vez saturadas de Ca y Mg, necesitan un tiempo de contacto con la Salmuera para realizar el intercambio de cationes, además debe realizar un contra lavado para esponjamiento y limpieza de la resina, a la vez también es necesario que el agua que entra limpia en contacto con la sal esté un tiempo en contacto con ella para saturarse de cloruro sódico.

En la figura 4.1 mostramos la parte interna de este filtro para tener un conocimiento más amplio acerca del suavizador y de sus elementos:

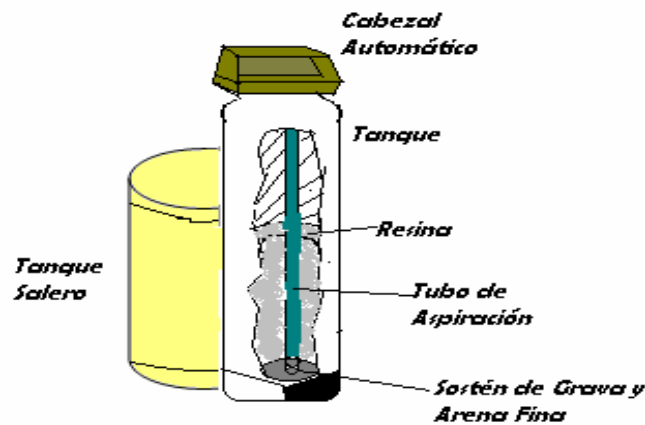


Figura 4.1

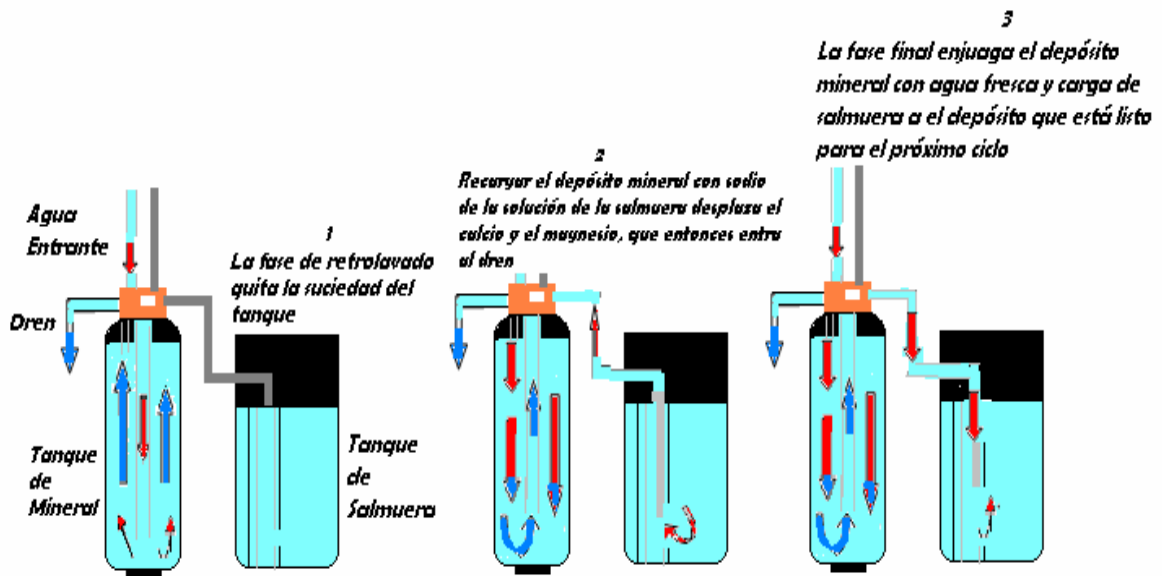
La regeneración se puede programar por:

- Volumen de agua que circule por él. Este volumen se programará en función del número de litros de resina, la capacidad de intercambio de ésta y la dureza del agua.
- Por tiempo, realizando la regeneración en periodo nocturno. Los controles de dureza del agua descalcificada se deben realizar antes de la regeneración. En el filtro es conveniente realizar la regeneración al menos una vez al día.

En caso de aguas excesivamente duras puede ser necesario más de una batería de descalcificadores. En estos casos hay que tener presente que los descalcificadores pueden aportar gran cantidad de sodio derivado del intercambio de iones que se producen en las resinas.

La sal utilizada para la regeneración debe ser sal refinada ya que si no es así puede aportar elementos indeseables al resto de tratamiento, como partículas, yodo, etc.

A continuación la siguiente figura muestra como es el funcionamiento del filtro suavizador:



4.5. FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO.

El carbón activado es un material natural con millones de orificios microscópicos, los cuales atraen, capturan y rompen moléculas de contaminantes. Dicho material es diseñado para deponer cloro, sabores y olores, así como sólidos pesados y químicos orgánicos en el agua, por mencionar algunos ejemplos de estos químicos, tenemos al plomo y al mercurio.

Se caracteriza por una cantidad grande de micro poros (poros menores que 2 nanómetros). El proceso de activación actúa eficientemente al mejorar y aumentar el área superficial.

Cuando se está hablando de un proceso de purificación (como es nuestro caso) es importante no omitir por ningún motivo dicho proceso, puesto que es el único filtro que remueve los contaminantes orgánicos del agua (restos de insecticidas, pesticidas, herbicidas, así como derivados de petróleo). Algunas instalaciones aprovechan el filtro de carbón como si fuera un filtro de arena, colocándolo como primer elemento del pre-tratamiento de agua. Esto se debe descartar totalmente para los tratamientos de agua para hemodiálisis pues significa desproteger el agua de contaminantes microbianas en el resto del mismo por la eliminación del cloro y por otra parte significa el sobre dimensionamiento del filtro de carbón para evitar que la adsorción de otras sustancias implicando que no sea capaz de eliminar todo el cloro y cloraminas presentes en el agua, lo que a la vez origina riesgos de contaminación en el mismo filtro de carbón. Una vez finalizado este proceso de purificación, el agua debe tener un sabor y un olor excelente.

Este filtro trabaja principalmente por un proceso electro-químico conocido como adsorción, el cual, es un proceso por donde las moléculas de determinadas impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado, de esta manera elimina a dichos contaminantes, lo cual significa que es un método donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua. En este método el carbón activo es el sólido.

Resumiendo, el proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro transporte : El movimiento del material orgánico a través del sistema del macro-poros del carbón activo (macro-poros > 50nm)
- Micro transporte : El movimiento del material orgánico a través del sistema del micro-poros del carbón activo (micro poro < 2nm; meso-poro 2-50nm)
- Absorción: La adhesión física del material orgánico en la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (una sustancia que es soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción.

Es importante que mencionemos la diferencia entre una adsorción y una absorción. Bien, cuando una sustancia se adhiere a una superficie se habla de adsorción, es este caso, la sustancia se adhiere a la superficie interna del carbón activo. Cuando la sustancia es absorbida en un medio diferente esto es llamado absorción.

Existen algunos factores que influyen en la adsorción de compuestos presentes en el agua:

- El tipo de compuesto que desee ser eliminado. Los compuestos con elevado masa molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
- La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanta más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.
- Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.

El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m²/g).¹ Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). La versión de GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas. La efectividad del filtro de Carbón Activado dependerá del tipo y de la cantidad de partículas de carbón activo contenido en él.

Puede ser producido generalmente en dos diversos procesos:

1. **Activación química:** Una sustancia deshidratante, que puede ser un ácido se mezcla con la materia prima y se somete a un tratamiento a temperaturas moderadas. Esta técnica puede ser problemática porque, por ejemplo, al usar como agente deshidratante cloruro de cinc los residuos del cinc pueden permanecer en el producto final aun después de lavado.

1. DR. ALEJANDRO TREVIÑO. "TRATADO DE NEFROLOGIA". MEXICO. P.P. 1376

2. **Activación del vapor:** El material carbonizado se trata con una mezcla de gases de combustión y vapor de agua a una alta temperatura para que se active. Decimos que el carbón se transforma en “activado” cuando se calienta a temperaturas de 800 °C a 1000°C en ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

Este filtro debe estar diseñado en cuanto a su volumen de acuerdo con el nivel de cloración del agua. Colocar filtros de carbón activados en lugares donde no existe presencia de cloro y cloraminas es poco útil.

La conexión sugerida para este filtro es en serie, puesto que el agua pasa por los dos filtros, lo cual garantiza una mayor velocidad posible del agua y en caso de fallo de uno de los elementos el otro sigue funcionando. Como desventaja presenta que el segundo filtro nunca va a tener contacto con cloro y cloraminas, ni siquiera cuando realice el contra lavado, salvo que lo hagan los dos de forma simultánea, lo que puede provocar poca presión del agua para realizarla correctamente, pues el primer filtro va a eliminar todo el cloro en condiciones normales de trabajo. Debe existir la posibilidad de medir el nivel de cloro y cloraminas de forma independiente en ambos filtros.

Es recomendable optar por los filtros de carbón con lavado por contracorriente, ya que el contra lavado consiste en hacer circular el agua en sentido contrario dentro del filtro de carbón, lo que conlleva a que éste se esponje, ya que durante el ciclo de trabajo se va apelmazando pudiendo llegar a constituirse caminos para el agua en los cuales el contacto entre ambos, agua y carbón, es mínimo y da lugar a la no-eliminación del cloro y/o cloraminas. Este proceso ayuda a resguardar en parte la posible contaminación del carbón al introducir el agua por la parte del circuito interno en la que siempre circula sin la presencia de cloro.

El contra lavado debe efectuarse al menos una vez al día. Generalmente se debe programar su realización en horarios donde no esté la unidad trabajando.

Como ya mencionamos, el carbón al no ser regenerable, debe ser cambiado con regularidad para poder evitar una liberación de sustancias absorbidas por saturación, por micro partículas que se han reducido por la fricción, etc.

La presencia de cloro puede provocar graves daños en algunas membranas de ósmosis, a la vez ésta puede retener una parte de cloro y/o cloraminas en caso de presencia de alguno de los elementos pero no todo.

Ya que en nuestro caso utilizamos la conexión en serie para esta etapa de filtrado, es necesaria la sustitución del carbón al menos una vez año. El estado del filtro posterior es un indicativo del funcionamiento del filtro de carbón.

CAPÍTULO 5

TRATAMIENTO

5.1. PRINCIPIO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Aproximadamente hace 40 años la ósmosis inversa fue aplicada en procesos industriales, tales como lo son: la cristalización, destilación, extracción de solvente, etc. Así como en la desalación de agua de mar. Para lograr esta finalidad se emplearon y se siguen empleando presiones bastante elevadas.

En general, se desarrollan inicialmente en el campo de la extracción de partículas macromoleculares, así como en el tratamiento de aguas residuales. Pero las aplicaciones actuales se han dilatado de tal forma, que se extienden por casi todos los campos de la actividad industrial, por lo que creemos conveniente limitar sus diferentes aplicaciones para fines de nuestro tema.

Si nosotros aplicáramos como única opción para purificar el agua a la destilación, nos representaría inconvenientes respecto a la eliminación de las sustancias orgánicas. Sin embargo, es uno de los procedimientos que permiten obtener buenos resultados, tanto en la eliminación de las sustancias disueltas, como de partículas en suspensión o bacterias y pirógenos. El problema es la necesidad de su conservación hasta que llegue el momento de su uso, puesto que si se almacena se degrada rápidamente.

Hoy en día parece claro que los mejores resultados (y los más económicos) se obtienen de la combinación consecutiva de diversos tratamientos, entre los que se incluyen etapas de filtrado, así como procesos de intercambio iónico o de adsorción por carbón activado (ya hemos hablado de este pre-tratamiento en el capítulo anterior).

La ósmosis inversa trabaja a partir de la ósmosis, ya que como su nombre lo indica, consiste en la reversa de la ósmosis, sólo que esta aplicación consta de una presión hidrostática a la membrana que rechaza 98-100% de contaminantes químicos y produce agua ultrapura.¹

Por tanto, *ósmosis* es el paso de un solvente a través de una membrana semipermeable, basado en una diferencia de potencial químico entre dos soluciones separadas por dicha membrana, la cual debe ser perfectamente seleccionada para los fines convenientes. En nuestro caso no podemos utilizar cualquier membrana ya que estamos hablando de purificación de agua para tratamiento de diálisis y debemos ser más estrictos con nuestras expectativas, ya que existen diferentes tipos de membranas: las que permiten pasar todos los componentes de la disolución, otras no dejan pasar ningún elemento y las que finalmente, sólo permiten un paso selectivo.

El proceso de la ósmosis funciona de la siguiente manera: una solución, llamada moléculas de agua es dividida por una membrana semipermeable, si añadimos NaCl a la solución de un lado de la membrana, entonces la solución se convierte en una solución salina, la cual adquiere un mayor potencial químico a diferencia del agua encontrada del otro lado de dicha membrana, por lo cual se comienza a difundir agua a través de la película desde el lado con solución líquida hacia el lado de la solución salina, el nivel de la solución con NaCl se elevará hasta que la presión hidrostática iguale el flujo de moléculas de disolvente a través de la membrana en ambos sentidos, es decir, hasta llegar a un equilibrio de potencial químico. Esta presión hidrostática recibe el nombre de presión osmótica. De esta manera es como se desarrolla el evento llamado ósmosis.

1. DR. ALEJANDRO TREVIÑO. "TRATADO DE NEFROLOGIA". MEXICO. P.P. 1377.

Una continuación del fenómeno de la ósmosis pero ahora con una membrana totalmente impermeable a solutos, aún los más pequeños. La presión osmótica ha detenido el paso de solvente por ósmosis, ahora se aplica presión hidrostática que impulsa el solvente (agua) a través de la membrana, impermeable a solutos. Entonces estamos hablando de una reversión del fenómeno de la ósmosis. A este procedimiento más limpio y el más frecuentemente utilizado para generar agua de alta calidad, para ser utilizada en unidades de diálisis es conocido como *ósmosis inversa*.

Es la inversa de la ósmosis, es un proceso para purificar el agua. En la ósmosis inversa, el flujo del agua que fluye por la membrana, es forzado por presión, a que pase de la parte de mayor concentración, hacia la parte de menor concentración, la presión debe ser superior a la presión osmótica.

Para ilustrar lo que estamos explicando tenemos a continuación un esquema donde muestra los mecanismos tanto de ósmosis, como de ósmosis inversa.

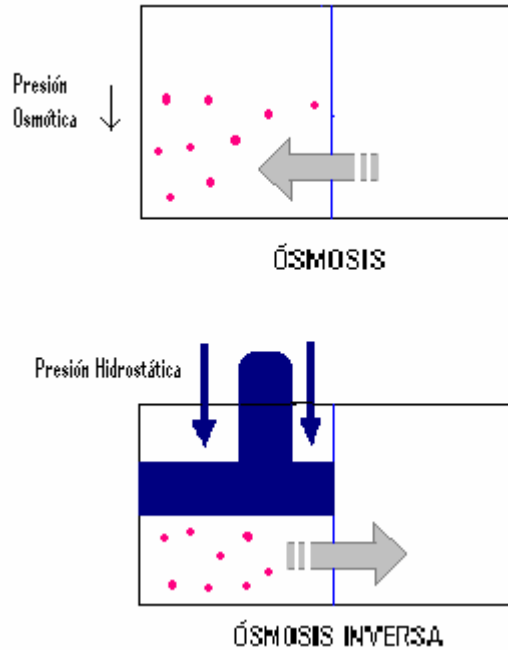


Fig. 5.1

En sí, éste es el proceso a través del cual el agua corriente de cañería es forzada a atravesar una membrana especial, dejando ciertas sustancias indeseables detrás. Estas sustancias son eliminadas dando como resultado un agua clara, fresca y saludable.

No todas las moléculas que componen el agua son capaces de pasar a través de los poros de la membrana del sistema Osmosis Inversa. Las sustancias tóxicas y cancerígenas como pesticidas, bacterias y virus poseen una estructura molecular más grande y compleja. Incluso el aluminio y otros minerales son removidos, pero no del todo confiable por la osmosis inversa, con algunas probabilidades por los desionizadores y en menor cantidad por los ablandadores.¹ Estas estructuras moleculares grandes son retenidas y eliminadas por el drenaje. Una pequeña cantidad de gases disueltos son capaces de atravesar los poros, pero, éstos ya han sido removidos por un filtro de carbón activado.

1. DR. ALEJANDRO TREVIÑO. "TRATADO DE NEFROLOGIA". MEXICO. P.P. 1378.

En la ósmosis inversa se aplica a la disolución una presión suficientemente elevada, que no solamente anula el paso de agua a través de la membrana semipermeable hacia la disolución, sino que consigue el paso de agua pura en sentido inverso, desde la disolución que se irá empobreciendo en agua hacia el otro lado de la membrana.

En general, se denomina ósmosis inversa cuando la membrana es permeable solo al solvente e impermeable a pequeñas moléculas y la fuerza impulsora del líquido continúa siendo presión. Basado en el principio de ósmosis producido en membranas semipermeables, se invierte el paso del agua mediante la presión ejercida por una bomba hidráulica.

La ósmosis inversa no es el único proceso de separación por medio de la presión como fuerza aplicada, también existe la microfiltración y ultrafiltración. Éstos son métodos básicamente idénticos que difieren sólo en el tamaño de las partículas a separar y en el tipo de membrana usada.

El proceso de ultrafiltración y el de ósmosis inversa son en realidad muy similares, salvo que en la segunda, la membrana utilizada impide el paso de ciertas moléculas, ambos procesos son capaces de producir la separación de los constituyentes de una disolución, bajo la acción de una presión hidrostática, claro discerniendo por sus características moleculares.

En el diseño del equipo de ósmosis inversa hay que tener en cuenta cuál es la calidad del agua pre-tratada, ya que dependiendo de la misma habrá que fijar los parámetros de funcionamiento del equipo. Se deben tener muy en cuenta cuales son las características de la membrana, para su diseño y un buen funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa.

Actualmente, la ósmosis inversa es quizás el campo más activo dentro de la separación con membranas, insistiendo una vez más, cerciorándose de utilizar la membrana adecuada.

5.2. MEMBRANA DE ÓSMOSIS INVERSA.

Como ya explicábamos en el funcionamiento de la ósmosis inversa, este proceso no puede tener un buen funcionamiento sin una membrana adecuada, ya que ésta funge como el elemento separador. Las membranas de hemodiálisis suelen tener poro que limitan el movimiento de solutos grandes y, en cierta manera, el de agua.¹

La variedad de membranas es enorme, unas naturales (por ejemplo, las membranas de las células de los seres vivos) y otras que son sintéticas o hechas por el hombre, éstas a su vez pueden ser sólidas (porosas y no porosas, cristalinas, amorfas) o líquidas, etc., pero conferidas todas ellas de una propiedad común: restringir el paso de una o varias especies químicas de forma muy específica, siendo el carácter separador algo inherente a la naturaleza de membrana.

En cada tipo de membrana el mecanismo de separación es diferente. La velocidad de transmisión a través de la membrana será diferente para cada componente, siendo posible el transporte selectivo, es decir, la separación.

Las membranas son capaces de retener entre un 90 – 99 % de iones y del 95 a 99 % de elementos orgánicos.² El grado de retención vendrá determinado por los caudales de producción y rechazo, siendo el caudal de producción o permeado el agua que cruza la membrana de osmosis y a su vez ésta se envía a la línea para ser utilizada, ahora si hablamos del caudal de rechazo, es decir, el agua que no cruza la membrana, puesto que es la que tiene una gran concentración de elementos disueltos en el agua, los cuales no pudieron atravesar la membrana y éstos son enviados al desagüe o bien, de retorno al equipo parcialmente o en su totalidad.

1. ARTHUR GREENBERG "TRATADO DE ENFERMEDADES RENALES" CAROLINA DEL NORTE P.P 423
2. BARRY M. BRENER "EL RIÑÓN TRATADO DE NEFROLOGÍA" BOSTON, MASSACHUSETTS. P.P. 2573.

La función y finalidad de la membrana es evitar o reducir la transferencia de masa de determinado componente. Obviamente actuar como una barrera selectiva, o sea permitir el paso de diferentes especies a diferente velocidad.

La estructura de la membrana es uno de los extremos que deben tenerse en cuenta si se quieren comprender los factores que influyen en la función de la membrana. Esta estructura difiere mucho de un tipo de membrana a otra, basta pensar en la diferencia de la estructura de una membrana fabricada por el hombre, y una membrana natural.

Al razonar la estructura de las membranas, observamos diferentes niveles, estos niveles son: macroscópico y microscópico. En cuanto al primero se observa las propiedades de espesor, la estructura porosa y la velocidad, así como la selectividad. Ahora a nivel microscópico otras propiedades son más relevantes, como la naturaleza cristalina amorfa, la naturaleza química, la existencia de cargas eléctricas, dipolos, etc. También a este nivel se puede conocer el tamaño del poro, la distribución en tamaños de los mismos.

Es posible un número muy grande de combinaciones de propiedades estructurales. Cada una de ellas es importante porque puede influir, e incluso controlar, el transporte de materia.

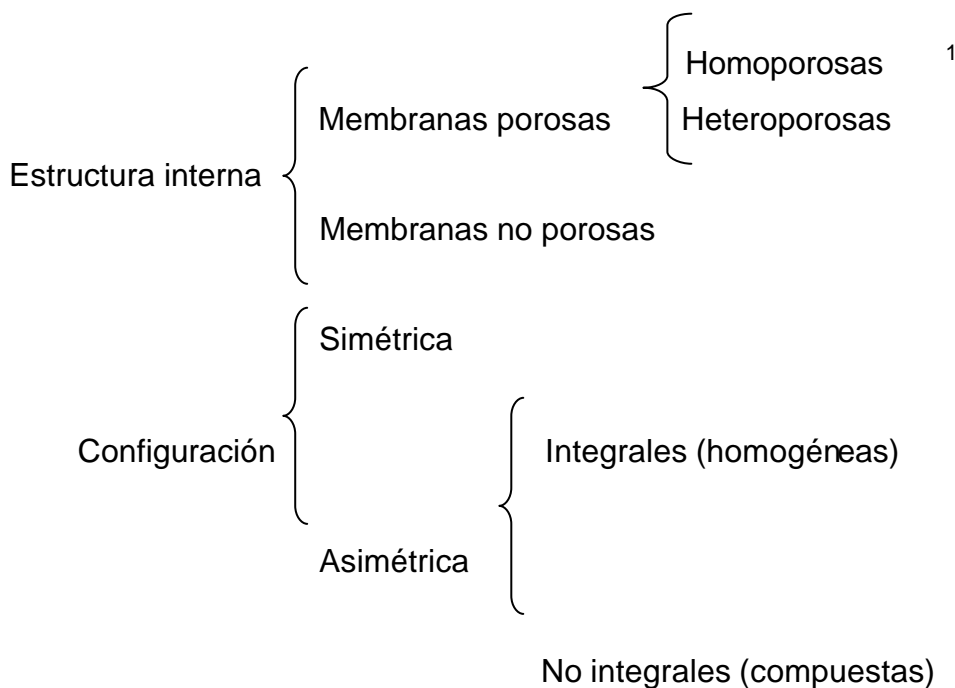
En la misma medida que las propiedades estructurales de las membranas están sujetas a interpretaciones distintas, el mecanismo de transporte es también incierto. De hecho, este mecanismo probablemente varía de una membrana a otra, dependiendo tanto de la estructura de la membrana como de la naturaleza del permeante.

Se podría decir que el proceso de permeabilidad consta de tres etapas. La primera etapa es cuando las especies permeantes deben penetrar en la membrana, a continuación atravesar la membrana y finalmente salir de la misma. Aunque es lo que sucede en la segunda etapa lo que determinará fundamentalmente el transporte, para comprender totalmente el proceso, es necesario saber como las especies entran y abandonan la membrana.

Los criterios utilizados para una sistematización de las membranas pueden ser variados, dependiendo de la cualidad o característica tomado como referencia (la estructura interna, el mecanismo de transporte, las aplicaciones a que están destinadas, etc.).

Lo más útil para nuestros fines es centrarnos en una clasificación basada en aspectos estructurales, en la que se utilice como criterio el poder de resolución de la microscopía electrónica.

Esta técnica instrumental permite diferenciar las membranas sintéticas atendiendo a su estructura interna y a su configuración, tal como se refleja en el esquema siguiente:



1. I. BOTELLA GARCIA. "MANUAL DE NEFROLOGIA CLINICA". MADRID. P.P.257

Las membranas no porosas son aquellas que no presentan poros observables por microscopia electrónica, aunque se admite que puedan contener por llamarlos de alguna manera “huecos” con diámetros comprendidos entre 10 y 20 Å.¹

Se consideran membranas porosas aquellas que presentan poros de diámetro superior a unos 20 Å; pueden ser obtenidas, a su vez, en configuración simétrica o asimétrica.²

La representación de una membrana porosa simétrica se corresponde con la de una matriz sólida, homogénea y plana, atravesada por poros de forma y tamaños regulares, normales a las superficies. Las membranas porosas reales sólo se aproximan en cierto grado a esta imagen, siendo posible diferenciar microscópicamente entre aquellas que poseen una distribución amplia de tamaños de poro (heteroporosas) y las que, por el contrario, presentan poros con un diámetro muy uniforme (homoporosas).

En cuanto a las membranas asimétricas están constituidas por una capa delgada, comúnmente llamada piel, y es aquí donde habita la capa selectiva, sobre una capa más gruesa, muy porosa, que actúa de soporte. A su vez y dependiendo del proceso de obtención, dicha piel o capa puede tener estructura microporosa o bien, por el contrario, no porosa.

Las membranas asimétricas se denominan homogéneas cuando están constituidas por el mismo material en toda su estructura; se corresponden con el concepto genérico de “estructura genérica integral”. En cambio, se consideran no homogéneas cuando la capa de piel y el sustrato poroso son de distinta naturaleza química. Es cuando se está hablando de estructuras asimétricas no integrales, o compuestas.

1. I. BOTELLA GARCIA. “MANUAL DE NEFROLOGIA CLINICA”. MADRID. P.P.257

2. I. BOTELLA GARCIA. “MANUAL DE NEFROLOGIA CLINICA”. MADRID. P.P.257

Como ya hemos comentado, la ósmosis inversa no es el único método de filtración, puesto que también existen la ultrafiltración y la microfiltración, esta última con membranas tiene la separación basada fundamentalmente en la relación existente entre el diámetro de las partículas y el de los poros. Se utilizan preferentemente membranas microporosas que permiten efectuar separaciones entre 5 y 0.05 μm aproximadamente; esto incluye entre otras cosas, residuos de pintura, humo de tabaco, bacterias, ciertos tipos de virus y algunas albúminas.

Por otro lado, la ultrafiltración tiene lugar bajo un principio análogo al de la microfiltración aunque, evidentemente, en otro intervalo de tamaños (rango molecular), comprendido entre 0.002 y 0.2 μm .¹ Sus principales aplicaciones son la retención de sustancias macromoleculares (azúcares de gran tamaño, polisacáridos y albúminas), pirógenos, virus, etc. Las membranas utilizadas con este fin suelen ser, en gran parte, de tipo asimétrico. Y la razón es porque, en términos generales, el peso molecular de un soluto es un indicador aproximado de su tamaño, es habitual expresar el límite de retención de las membranas asimétricas por referencia y no por tamaño del poro, si no al porcentaje de moléculas de soluto de un peso molecular dado, que son capaces de retener.

De esta manera se le asigna a cada tipo de ultrafiltro un determinado peso molecular nominal límite (PMNL), con el que se garantiza que la mayoría de las moléculas en disolución, con un peso molecular superior a dicho valor umbral, serán retenidas por el filtro en cuestión y, por lo tanto, serán excluidas por el permeado.

1. BARRY M. BRENER "EL RIÑÓN TRATADO DE NEFROLOGÍA" BOSTON, MASSACHUSETTS. P.P. 2589.

En la *ósmosis inversa* se nos permite efectuar separaciones en los rangos macromoleculares e iónicos (azúcares de tamaño pequeño, sales en disolución, iones metálicos, etc.) hasta valores PMNL. Los tamaños de poro de las membranas empleadas se encuentran entre 1.5×10^{-3} y $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$.

6.3. CONDUCTIVIDAD.

La eficacia de la membrana o rechazo iónico vendrá determinada por la conductividad (parámetro eléctrico inverso de la resistencia) de entrada y salida, es decir del agua que llega a la ósmosis y la que sale de ella (permeado) lista para ser utilizada o pasar a elementos de tratamiento posteriores. La fórmula generalmente aplicada para saber la eficacia o rechazo iónico es:

Conductividad entrada – Conductividad permeado

$$\text{Eficacia} = \frac{\text{Conductividad entrada} - \text{Conductividad permeado}}{\text{Conductividad entrada}} \times 100$$

Lógicamente, cuanto mayor sea la eficacia mayor es la calidad del agua, pero esto puede ser engañoso pues una conductividad de entrada muy alta se verá reflejada también en la salida o permeado con una conductividad elevada aunque consigamos eficacias superiores al 99 %; por el contrario, una conductividad baja a la entrada se verá reflejada con una conductividad también baja en la salida o permeado. La conductividad debe utilizarse como el parámetro vigilante del correcto funcionamiento del equipo, éste nos indicará que no hay variaciones en los componentes iónicos del agua al contrastar los resultados de los análisis químicos con el valor usual de la misma. Hay parámetros que pueden afectar a la lectura de la conductividad sin reducir por ello la calidad del agua, como puede ser la presencia de micro burbujas.

Además de la conductividad, la presión a la que se someten las membranas así como los flujos de permeado y rechazo sirven como controladores de la calidad del agua y una vez establecidos de acuerdo con las especificaciones del fabricante, los resultados de los análisis químicos, bacteriológicos y endotoxinas deben de respetarse y no actuar sobre ellos si no van acompañados de los correspondientes análisis y siempre dentro de los parámetros indicados por el fabricante.

El número de membranas a utilizar vendrá determinado por el consumo de agua tratada, lógicamente se debe ajustar todo lo posible, pues poner un número de membranas muy justas puede suponer tener que subir la presión de trabajo con el tiempo (saturación de las membranas) e incluso aumentar el caudal de permeado respecto del de concentrado (rechazo) lo que lleva consigo una disminución de la calidad final.

Periódicamente es necesario desincrustar y desinfectar el equipo de ósmosis; esta labor dependerá fundamentalmente de la calidad del agua de entrada al equipo, pero hay que evitarlas en lo posible, pues ambas operaciones redundan en una disminución de la efectividad de la membrana.

Es fundamental para el correcto funcionamiento de la osmosis un adecuado diseño y posterior control de los elementos del pre-tratamiento: prefiltración, descalcificación y decloración; dada las importantes repercusiones que el fallo o mal diseño de éstos pueden ocasionar en las membranas de ósmosis: garantizar la total eliminación de cloro (perforación de la membrana), eliminación de la dureza (atascamiento prematuro de la osmosis y posible paso del Ca y Mg hasta la línea de distribución.), excesiva presencia de materia en suspensión que puede originar contaminaciones, atascamiento, etc. e incluso la presencia de elementos derivados del pre-tratamiento (carbón).

Otro factor que puede incidir sobre las membranas es la temperatura del agua; a mayor temperatura, la membrana es capaz de aumentar su cantidad de producción, pero puede derivar en bajada de la calidad; a menor temperatura, actúa al contrario.

CAPÍTULO 6

SISTEMA DE RECIRCULACIÓN.

6.1. ¿POR QUE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN?

El agua tratada almacenada es susceptible de contaminaciones, por lo que se debe evitar, sin embargo ya es imprescindible contar con un sistema de almacenamiento debido a que sin ésta el desperdicio de agua equivale a la misma que se utiliza en los tratamientos durante el día. Esto es sencillo solucionarlo simplemente poniendo el agua de rechazo que proviene de la osmosis inversa en una cisterna, y esto no afectaría la calidad del agua que ya existe en la cisterna, debido a que el agua que se está depositando ahí es, a veces, de mejor calidad ya que ha pasado por una etapa de pre-tratamiento (filtro de carbón activado, filtro suavizador y filtro de sedimentos o lecho profundo). El almacenamiento de agua genera dificultades de desinfección, pero para esto se debe desinfectar o sanitizar el sistema de recirculación por lo menos una vez al mes. En los depósitos de agua tratada, cualquiera que sea el volumen, deben estar herméticamente cerrados, opacos, base cónica, con la salida de agua por la parte inferior y con filtro de venteo antibacteriano de 0,5 μm . La entrada de agua debe ser en forma de ducha para que al entrar al sistema de almacenamiento el agua toque todas las paredes posibles y así al momento de desinfectar se esté aplicando el reactivo de sanitización en todos los lugares posibles donde pueda existir riesgo de contaminación o de formación de colonias de microorganismos.

El agua tratada se muestra ávida de adquirir sustancias de los elementos que estén en contacto con ella, por lo que la red de distribución debe estar realizada con materiales que no aporten nada al agua o se sospeche puedan hacerlo; no se puede utilizar cañerías de cobre, hierro o aluminio; en tubo continuo que evite empalmes e intersecciones, con la menor longitud posible. En este caso es recomendable usar la tubería de PVC cédula 80 por las características antes mencionadas o si se utiliza acero inoxidable debe ser de calidad farmacéutica. El tubo que alimenta al monitor desde la red de distribución deberá considerarse como un elemento más de la propia red de distribución. El agua no consumida debe retornar al tratamiento de agua y pasar de nuevo por él.

Las uniones en los materiales plásticos implican recovecos y alteraciones bruscas en la linealidad del tubo que implican reservorios y ruptura del flujo laminar. Estas uniones se encuentran tanto en los codos cuando éstos se colocan para cambiar la dirección del tubo, como en las derivaciones a los monitores y llaves. Cuando se opte por algún tipo de material, hay que tener presente cómo realiza las uniones, pegamentos o termo soldados, por la posibilidad de que los pegamentos sean capaces de aportar, con el paso del tiempo y por su degradación, elementos indeseables al agua. Si la opción es acero inoxidable presenta la ventaja de que se pueden utilizar sistemas de desinfección térmica o química y su resistencia a los golpes o tracciones que se puedan hacer sobre él accidentalmente. Es fundamental la forma de realizar las soldaduras en este tipo de tubo, para que no sufran oxidación posterior.

6.2. ELECTRONIVELES DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN.

En el caso del apagado y encendido del sistema de recirculación, los electroniveles que consideramos más aptos para cumplir esta función son los interruptores de efecto Hall ya que estos sensores combinan fiabilidad, velocidad, durabilidad y compatibilidad con diversos circuitos electrónicos para aportar soluciones a las necesidades de nuestra aplicación, además que estos interruptores tienen la ventaja de no sufrir fricción al ser accionados, ya que el único elemento que toma contacto es el campo magnético, permitiendo una vida del sensor más larga con respecto a otro tipo de sensores o flotadores.

El **efecto Hall** consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por una corriente estando dentro de un campo magnético. A este campo eléctrico se le llama **campo Hall**. Este efecto fue descubierto en 1879 por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall.

Cuando por un material conductor o semiconductor, circula una corriente eléctrica, y estando este mismo material en el seno de un campo magnético, se comprueba que aparece una fuerza magnética en los portadores de carga que los reagrupa dentro del material, esto es, los portadores de carga se desvían y agrupan a un lado del material conductor o semiconductor, apareciendo así un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y al propio campo eléctrico generado por la batería (FM). Este campo eléctrico es el denominado campo Hall (EH), y ligado a él aparece la tensión Hall, que se puede medir mediante el voltímetro de la figura. Hay que destacar que este voltímetro no debe cambiar su polaridad, esto es, si mide valores de tensión negativos, no hay que invertir las conexiones.

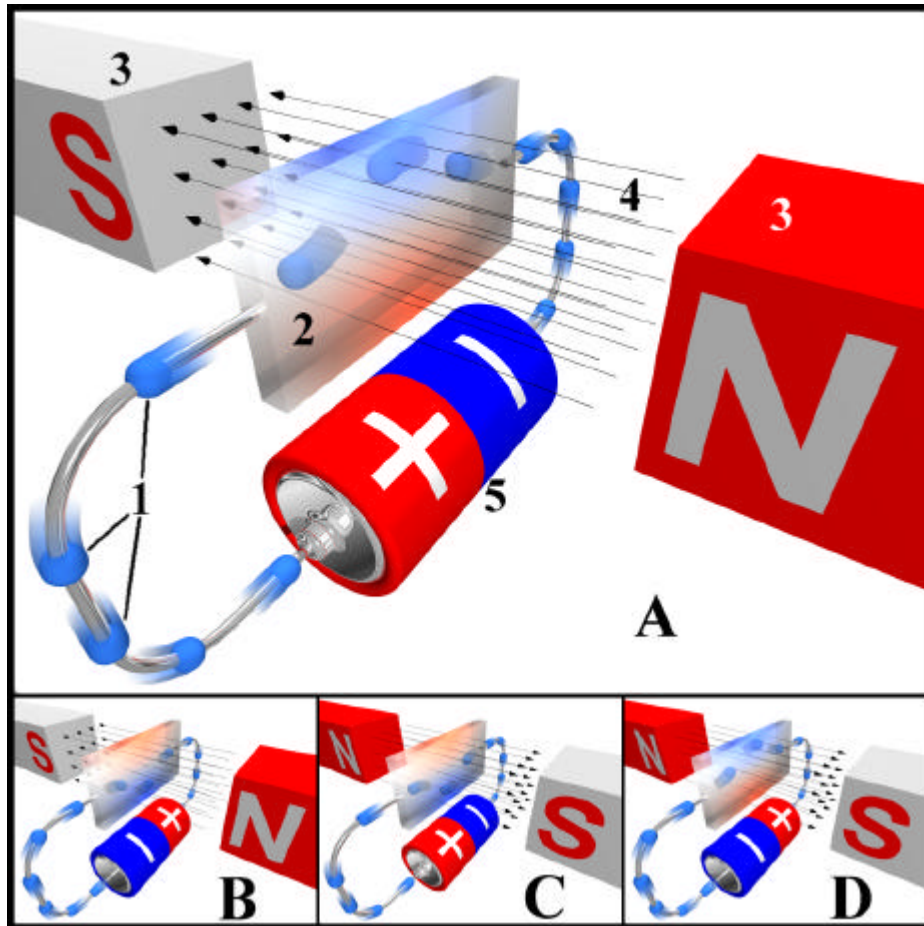


Fig.6.1

En el caso de la figura 6.3.2, tenemos una tableta de un material desconocido y queremos saber cuales son sus portadores de carga. Para ello, mediante una batería hacemos circular por la tableta una corriente eléctrica. Una vez hecho esto, introducimos la tableta en el seno de un campo magnético uniforme y perpendicular a la tableta.

Aparecerá entonces una fuerza magnética sobre los portadores de carga, que tenderá a agruparlos a un lado de la tableta, apareciendo de este modo una tensión Hall y un campo eléctrico Hall entre ambos lados de la tableta.

Dependiendo de si la lectura del voltímetro es positiva o negativa, y conociendo el sentido del campo magnético y del campo eléctrico originado por la batería, podemos deducir si los portadores de carga de la tableta de material desconocido son las cargas positivas o las negativas.

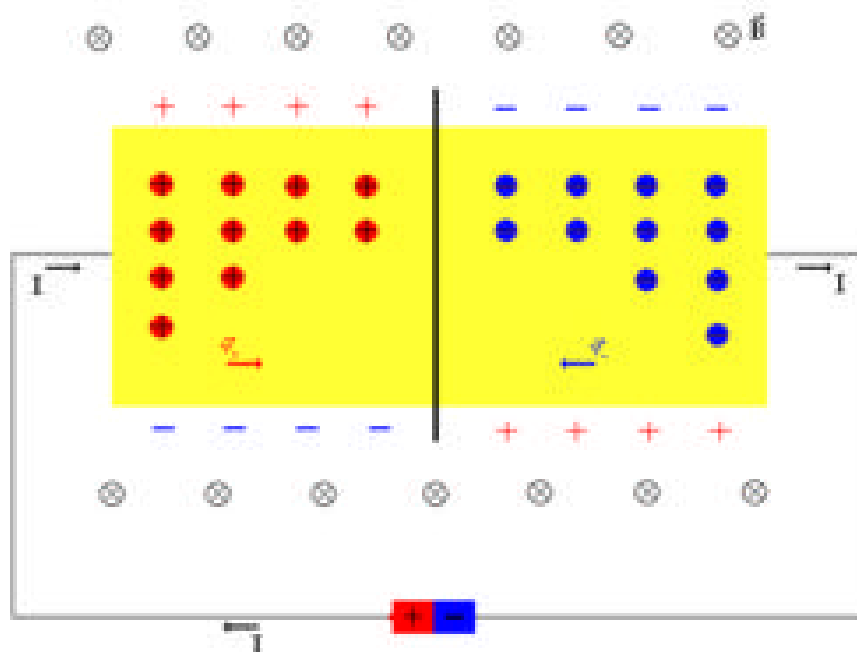


Fig.6.2

Así con la variación de la corriente podemos producir la variación del campo magnético que es quien influye sobre el sensor de efecto hall.

Cabe recordar que el hecho de que este sensor tenga que ser de acero inoxidable brinda una ventaja adicional con respecto a flotadores y electroneveles hechos de otros materiales, ya que el sensor de efecto Hall impedirá, en menor proporción, el crecimiento de bacterias, y por consecuencia impedirá la formación de endotoxinas, evitando de esta forma una contaminación masiva en el agua y en el sistema de recirculación. A continuación presentamos un ejemplo del sensor de efecto Hall utilizado en algunos sistemas de tratamiento de agua.

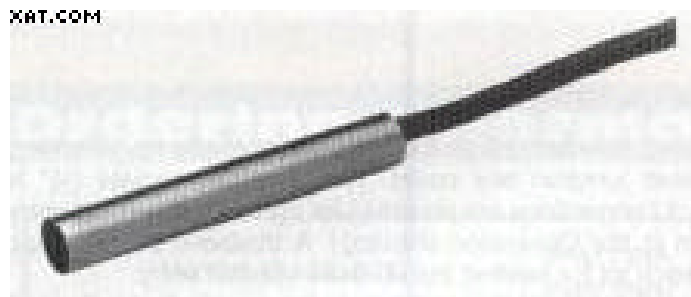


Fig.6.3.

6.3. FILTRO DE LUZ ULTRAVIOLETA.

El término ultravioleta o luz "UV", como usualmente se refiere, es uno de los medios probados para tratar aguas contaminadas biológicamente. El filtro de luz ultravioleta funcionará las 24 horas y solo será utilizado en el caso de que se presente una contaminación inesperada en el tanque o en alguna de las tomas de las máquinas de hemodiálisis, ya que esta contaminación actuará rápidamente y se esparcirá por todo el sistema de recirculación¹.

El ultravioleta es una región de energía del espectro electromagnético que yace entre la región de radiografía y la región visible. UV por sí misma yace en las gamas de 200 nanómetros (1.0 nanómetro (nm) = 10^{-9} metros) a 390 nanómetros. Como los niveles de energía aumentan como los aumentos de frecuencia, las radiaciones x tienen más energía que UV y UV tiene más energía que el espectro luz visible.

El espectro UV se divide en cuatro regiones, que se designa el vacío UV, UV-A, UV-B, y UV-C. Nosotros particularmente nos enfocamos en los tres últimos.

UV-A u onda larga ultravioleta, ocurre entre 325 y 390 nm, es representado por la luz solar. Este rango tiene poco valor germicida.

UV-B u onda media ultravioleta ocurre entre 295 y 325 nm y es mejor conocido para su uso en lámparas. Estas ondas medias también se encuentran en la luz solar y proveen de algún efecto germicida si la exposición es suficiente.

UV-C u onda corta ultravioleta ocurre entre 200 y 295 nm y es donde más ocurre el efecto germicida. La óptima acción UV germicida ocurre en 265 nm.

1. DR. ALEJANDRO TREVIÑO. "TRATADO DE NEFROLOGIA". MEXICO. P.P. 1392.

Dado que la onda corta se filtra naturalmente por la atmósfera de la tierra, rara vez se encuentra sobre la superficie. Para tener ventajas del potencial germicida de UV-C, nosotros debemos buscar medios alternos de producción de luz UV. La producción de radiaciones de energía UV debe por lo tanto de lograr la conversión de energía eléctrica. Esta conversión se realiza con una lámpara de baja presión de vapor de mercurio. La luz UV se produce como resultado de la corriente de electrones al través del vapor ionizado de mercurio entre los electrodos de la lámpara (es de notar que el resplandor azulado dado por la lámpara UV se debe al gas dentro de la lámpara y no tiene acción germicida por sí mismo).

Estas lámparas UV son similares en el diseño a lámparas fluorescentes estándares con unas pocas diferencias notables. Las lámparas UV típicamente se fabrican con cristal duro de cuarzo a diferencia de cristal suave encontrado en lámparas fluorescentes. Este cuarzo permite una transmisión de energía radiada UV de 90%. Las lámparas fluorescentes también contienen un revestimiento delgado de fósforo que convierte el UV a la luz visible.

Los microorganismos comprenden una variedad amplia de estructuras únicas y pueden agruparse en cinco grupos básicos: bacterias, virus, hongos, protozoarios y algas. Definiéndolo fácilmente, un microorganismo se constituye de la pared de célula, membrana citoplásmica y el material genético de célula, ácido nucleico. Es el material genético o DNA (ácido desoxirribonucleico) blanco para la luz UV. Como UV penetra la pared de célula y membrana citoplásmica, ocasiona una reestructuración molecular de DNA del microorganismo que así lo previene de reproducirse. Si una célula no puede reproducirse, se considera muerta.

Debido a la construcción individual de célula, niveles diferentes de energía UV se requieren para la destrucción. Las lámparas UV emiten sobre 90% de su energía radiante en 253.7 nm, que es muy cerca del pico eficiencia germicida de 265 nm.

El grado de destrucción microbiológica es un producto de dos factores, que es la residencia real, o tiempo de contacto del agua está dentro de la cámara de esterilización; y la intensidad, que es la cantidad de energía por unidad de área (calculada por dividir la producción en watts por el área de superficie de la lámpara). Este producto de intensidad y el tiempo es conocido como la DOSIS y se expresa en micro watts, segundos por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$).

EFICIENCIA DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

La eficiencia del filtro de luz ultravioleta para eliminar la contaminación biológica es directamente dependiente de las calidades físicas del flujo de agua. A continuación presentamos algunos motivos por los cuales la eficiencia del funcionamiento de la luz ultravioleta se vería afectada.

SOLIDOS SUSPENDIDOS O PARTÍCULAS. Ocasionan un problema de blindaje en que un microbio puede pasar al través del esterilizador sin realmente tener la penetración UV directa. Este blindaje puede ser reducido por la filtración mecánica a por lo menos cinco micras en el tamaño. De este modo nos damos cuenta de que el filtro de luz ultravioleta sería inútil en su funcionamiento si se instala antes del los filtros del pre-tratamiento o antes de la osmosis inversa, ya que si por alguna razón los filtros permitieran el paso de algún sólido los microorganismos podrían evitar su exterminio a través de éstos.

FIERRO Y MANGANESO. En niveles 0.03 ppm de fierro y 0.05 ppm de manganeso ocasionarán manchado sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. El pre-tratamiento evita que exista este manchado en el cartucho.

CALCIO Y MAGNESIO (Dureza). Permitirá formación de incrustaciones sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Este problema especialmente se magnificará cuando el flujo es bajo (o ninguno) los iones de magnesio y calcio se unen con carbonatos y sulfatos para formar acumulación progresiva de incrustaciones dentro de la cámara de esterilizador y sobre la lámpara o cartucho. Se necesita que el filtro suavizador esté trabajando al 100% para evitar las incrustaciones de este tipo en la lámpara.

OTROS COMPUESTOS ABSORBENTES. Algunos compuestos como ácido húmico y fúmico, así como también los taninos reducirán la cantidad de energía UV disponible para penetrar el agua y afectar el material genético DNA, de la célula.

TEMPERATURA. La temperatura es un factor determinante. La temperatura óptima de la lámpara UV debe estar cerca de 40° C (104°F). Los niveles de UV fluctuarán con niveles de temperatura excesivamente bajos o altos. Un cartucho de cuarzo se utiliza para mediar el contacto agua/lámpara, reduciendo fluctuación de temperatura. Un método típico empleado en un sistema sin cartucho de cuarzo, es restringirlo considerando estas fluctuaciones.

VENTAJAS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA.

- El bajo costo de inversión inicial, así como también reducción de gastos de operación cuando se compara con tecnologías similares tales como ozono, cloro, etcétera.
- Sumamente económico, centenares de galones pueden tratarse por centavos de costo de operación.
- Ningún químico para agregar al abastecimiento de agua, ningún subproducto.
- Ningún cambio en el gusto, olor, pH o conductividad ni la química general del agua.
- La operación automática sin mediciones o atención especial.
- La simplicidad y facilidad de mantenimiento, período de limpieza y reemplazo anual de lámpara, sin partes móviles.
- Ninguna manipulación de químicos tóxicos, ninguna necesidad de requerimientos especializados de almacenaje.
- La instalación fácil, dos conexiones de agua y una conexión de energía.
- Más efectivo contra virus que el cloro.
- Es compatible con cualquier proceso de tratamiento de agua.

INSTALACIÓN

Una vez que la aplicación es determinada, la colocación de la unidad UV debería tener consideración especial. El esterilizador debería ponerse tan cerca del punto de distribución como sea posible. Como UV es un proceso físico y no tiene valor residual, es imperioso que todos los puntos de la distribución (tubería) del sistema después del esterilizador sean químicamente tratados para asegurar que el sistema está libre de cualquier contaminación microbiológica.

El esterilizador UV debería ser el último punto de tratamiento. Si el abastecimiento de agua contiene Giardia Lamblia (u otros quistes), una unidad alterna de filtración mecánica debería instalarse en el punto de uso después de la unidad UV.

La única manera positiva para determinar si el esterilizador está funcionando como fue diseñado, es obtener una prueba microbiológica sobre el abastecimiento de agua. Si bien la lámpara se ilumina y parece estar funcionando, factores tales como calidad de agua, vida de la lámpara, y transmisión real, pueden afectar el rendimiento. Se recomienda que analice el agua periódicamente para asegurar que se recibe agua segura bacteriológicamente. Es también imperativo seguir directivas del fabricante sobre la calidad del agua y procedimientos operacionales.

COMENTARIOS

En primer lugar, al haber incursionado en este tema de tesis nos dimos cuenta de que no solo teníamos que conocer asignaturas que cursamos a lo largo de nuestra carrera, sino que también debíamos conocer conceptos básicos de otras materias impartidas en diversas licenciaturas, como en nuestro caso la facultad de medicina. Ya que para comprender estos conceptos nos vimos en la necesidad de investigar el origen y significado de la hemodiálisis y realmente nos resultó sorprendente conocer el proceso por el cual atraviesan las personas que padecen la enfermedad de insuficiencia renal. Con toda esta experiencia aprendimos a valorar la salud que tenemos, ya que podemos afirmar que es un proceso doloroso, puesto que está de por medio una invasión a nuestro cuerpo. Sin mencionar las consecuencias físicas que conlleva el no tomar suficiente agua o simplemente por no tener buenos hábitos alimenticios.

En segundo lugar, conocimos todos los contaminantes que contiene el agua potable y las enfermedades que éstas pueden provocar en caso de no tener una excelente calidad de líquido para diálisis.

También tuvimos la oportunidad de asomarnos un poco a uno de los tantos campos que estudia la medicina, uno de estos campos es el funcionamiento de los riñones.

Todos estos comentarios son con una perspectiva social. Ahora vamos a hablar desde la perspectiva de la ingeniería. El punto más importante es una aplicación de tantas con las que cuenta la ingeniería, ya que no solo son circuitos, instalaciones eléctricas, programación, máquinas síncronas, transformadores, cimientos, etc. Claro, todas son totalmente útiles es solo que hay que hacer mención de la *ingeniería biomédica*.

Por otro lado, observamos que la implementación del equipo de producción de líquido de diálisis con un sistema de recirculación para los tratamientos de hemodiálisis cumple con las normas de calidad AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation), y así mismo aseguramos la prolongación de vida de los equipos, gracias a este sistema de recirculación, puesto que estamos evitando el desperdicio de litros y litros de agua potable, la cual tiene un grado considerable de pureza.

Cabe hacer mención que dicho equipo es asequible para cualquier nosocomio que cuente con este servicio.

GLOSARIO.

Agua altamente purificada o ultra pura: Se define como agua altamente purificada o ultra pura la que su conductividad máxima es $1,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, medida a 20°C ; el carbón orgánico total máximo es $0,5 \text{ mg/l}$; nitratos máximo $0,2 \text{ ppm}$; tiene menos contaminación bacteriana de $10 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$, determinado por filtración con membrana, con al menos 200 ml de agua altamente purificada y menos de $0,25 \text{ UE/ml}$.

Agua de aporte o bruta: Se entiende como agua de aporte al agua que se va a tratar, bien si procede de la red municipal, se capta de un pozo o se recibe en camiones cisterna.

Agua de rechazo o “concentrado”: Es el agua que no ha pasado a través de las membranas de ósmosis y que lleva la práctica totalidad de las sales y de los contaminantes.

Agua estéril: Es el agua libre de organismos vivos y esporas. Se define como con una probabilidad de $1 \cdot 10^{-6} \text{ UFC/ml}$ y $< 0,03 \text{ UE/ml}$.

Agua pretratada: Es el agua sometida a todos los procesos previos a su llegada al equipo de ósmosis o tratamiento.

Agua purificada: Es el agua destinada a la preparación de medicamentos o de líquidos de diálisis que no deben ser necesariamente estériles y exentos de pirógenos.

Bacterias heterótrofas: Bacterias que desde el punto de vista metabólico dependen para su desarrollo de la utilización de compuestos orgánicos. Este es un grupo muy amplio y diverso que incluye especies simbiotes, saprofitas y patógenas. El término heterótrofo se utiliza comúnmente como nombre genérico para las bacterias del agua con escasos requerimientos nutricionales.

Bacterias quimiosintéticas: Aquellas capaces de sintetizar sus nutrientes y de obtener energía a partir de compuestos inorgánicos.

Bidón tampón: Bidón instalado al inicio de una planta de tratamiento de agua para facilitar su control. Su función no es la de almacenar agua, sino la de estabilizar el proceso y no depender de la presión de alimentación del agua de aporte.

Biofilm: Colonias de bacterias asentadas sobre las superficies de los circuitos hidráulicos, protegidas por un ecosistema de precipitados minerales y una matriz polisacárida mucosa extracelular, que se reproducen y generan en lugares de estancamiento. Su presencia se asocia a fuerte contaminación bacteriana >1000 UFC/ml. Es fuente activa de endotoxinas y otros derivados bacterianos biológicamente activos. Es resistente a la mayoría de los desinfectantes.

Caudal nominal: Es el caudal que produce un equipo de ósmosis inversa en condiciones ideales.

Conductividad Es la densidad de corriente dividida por la amplitud del campo eléctrico e inversa de la resistividad. La concentración de electrolitos en el agua se relaciona de forma directa en la conductividad eléctrica de la solución. Se mide en $S \cdot cm^{-1}$

Cloraminas: Productos formados por la combinación del cloro libre con amonio. El amonio puede proceder de la descomposición vegetal, otros contaminantes orgánicos o aportado por los responsables de la potabilidad del agua para desinfectarla. Son extremadamente oxidantes y tóxicas para los pacientes en hemodiálisis.

Cloro libre: Cloro molecular disuelto.

Descalcificador o "ablandador": Dispositivo para reducir la dureza del agua, mediante la eliminación del calcio y magnesio por intercambio iónico con cationes ligados a resinas.

Desinfección: Proceso de destrucción de microorganismos, que reduce su número, pero no los elimina. La esterilización reduce el número hasta un nivel seguro, dado que la eliminación total es virtualmente imposible. Puede ser química o térmica.

Desionizador. Dispositivo para reducir los iones libres en el agua, mediante lechos dobles o mixtos de resinas catiónicas y aniónicas.

Endotoxina: Sustancia pirógena y biológicamente activa, lipopolisacárida, liberada de la pared celular externa bacteriana gram-negativa. Se miden en Unidades de Endotoxina UE/ml o en Unidades Internacionales UI/ml, que actualmente son equivalentes.

Esponjamiento de un lecho: Es el incremento de volumen aparente de un lecho al ser sometido a un lavado a contracorriente.

Exotoxina: Proteínas con capacidad pirogénica secretadas por los microorganismos.

Filtro de carbón activado: Filtro empleado para eliminar del agua cloro, cloraminas y sustancias orgánicas, por medio de la adsorción de la estructura micro porosa del carbón activado.

Filtro de cartucho: Esta formado por un cilindro de material poroso que al pasar el agua a través de él retiene las partículas de menor tamaño que el del poro.

Filtro de cartucho bobinado: Es un filtro de cartucho formado por un alma rígida perforada en el que el material poroso esta formado por un cordón que puede ser de algodón, polipropileno u otro similar y que dependiendo del tipo de hilo, del numero de hilos por vuelta y de la presión del bobinado se obtiene mayor o menor capacidad de filtrado. Pueden retener partículas entre 1 y 100 μm .

Filtro de cartucho plisado: Es un Filtro de cartucho formado por un alma rígida perforada en el que el material poroso es de poco espesor y mucha superficie, "una especie de papel" y doblado en zigzag, sellado por ambos extremos y unidos al alma. La capacidad de filtrado lo determina la porosidad del material filtrante. Pueden retener partículas y bacterias de hasta 0,2 μm .

Filtro de lecho: Filtro compuesto por un recipiente lleno de un material rígido granulado de tamaño homogéneo, que retiene las partículas en los espacios libres. Para eliminar las partículas retenidas hay que hacerle lavados a contracorriente.

Lavado a contracorriente: Proceso a que se somete un filtro de lecho consistente en introducir el agua por la parte inferior a un caudal ascendente para esponjar el lecho y permitir la eliminación de las partículas retenidas. Para el correcto lavado la velocidad del agua debe ser ligeramente superior a la velocidad de fluidificación para conseguir un esponjamiento del lecho en un 10% al menos.

Lavado a corriente: Proceso a que se somete un filtro de lecho consistente en introducir el agua por la parte superior y eliminar el agua utilizada en el lavado a contracorriente, que no ha sido filtrada.

Lipopolisacáridos (LPS): Endotoxinas compuestas por lípidos y azúcares (polisacáridos).

Microfiltro: Filtro que es capaz de eliminar partículas menores a 1 μ m de diámetro. (0,1-0,3 μ m según la AAMI).

Nanofiltración: retiene compuestos orgánicos con pesos moleculares entre 300 y 1000 D. retiene algunas sales y trabaja a menos presión que la OI.

Permeado o “filtrado”: Fluido que ha pasado a través de una membrana de ósmosis inversa.

Pirógeno: Sustancia que induce fiebre. Los pirógenos externos (endotoxinas / exotoxinas) inducen pirógenos internos, citoquinas, que son mediadores en la inducción de fiebre e inflamación. Sustancias capaces de activar a las células mononucleares de la sangre.

Resina: Cationes, aniones o mezcla fijada a gránulos, en los lechos de intercambio iónico como los de los descalcificadores y desionizadores.

Resistividad: Resistencia de un medio al paso eléctrico. Es la inversa de la conductividad. A menor número de electrolitos mayor resistividad. Una resistividad de 1M Ω /cm es lo mismo que una conductividad de 1 microS/cm.

Tiempo de contacto: en ingles Empty Bed Contact Time “EBCT”. Tiempo de contacto del agua con el lecho de carbón activado.

Unidades formadoras de colonias (UFC): Unidad de medida de bacterias viables. Refiere el número de colonias bacterianas que se han desarrollado en un medio de cultivo. Se expresa en UFC por mililitro de líquido.

Ultrafiltro: Filtro de membrana (polisulfona, poliamida) empleado para eliminar los componentes microbianos del agua de diálisis, en el post-tratamiento del agua de diálisis o más comúnmente en los líquidos de diálisis. Algunos ultrafiltros retienen ET por adsorción. También se usa como sinónimo de dializador.

Ultravioleta: Radiación ultravioleta utilizada para eliminar microorganismos.

Venteo: Entrada y salida de aire que se produce cuando varía el volumen de un líquido almacenado en un bidón rígido. Puede estar dotado de un filtro de 0,2µm para que ese aire entre en las debidas condiciones.

Volumen aparente de un lecho: Es el volumen que ocupa un lecho cuando se esponja con un lavado contracorriente.

ABREVIATURAS.

AAMI: Association for the Advancement of Medical Instrumentation:

www.aami.org

CDI: Desionizador eléctrico continuo o electrodesionizador.

CQ: Citoquinas o Interleuquinas

DI: Desionizador.

EBCT: TCL.

HD: Hemodiálisis.

LAL: Limulus Amebocito Lisado.

LD: Líquido de diálisis.

LPS: Lipopolisacáridos / Endotoxinas.

MHD: Monitor o maquina de HD.

OI: Osmosis inversa.

ppm: Partes por millón.

PTM: Presión transmembrana.

R2A: Medio de cultivo R2A de Reasoner

Test LAL: Analisis de Lisado de Amebocito de Limulus.

TCL: Tiempo de contacto con el lecho, en ingles: Empty Bed Contact Time (EBCT)

TDS: Sólidos totales disueltos.

TSA: Bacto Tryptic Soy Agar, Difco = CASO Agar, medio B

UE: Unidades de Endotoxinas = UI : Unidades internacionales de endotoxinas.

UFC: Unidades formadoras de colonias.

USP: United States Pharmacopoeia.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Botella García J. Manual de Nefrología Clínica. España, 2001.
- ❖ Bonnie Schom, E. A. Grassman. Calidad del agua en Hemodiálisis. 1992.
- ❖ Rodríguez Benítez P. Tratado de Hemodiálisis. Barcelona, 1999.
- ❖ Becker B. N. Chloramines an aggravating factor in the Anaemia. EDTA, 1977.
- ❖ Pérez García R. Tratamiento del Agua Para Hemodiálisis. España, 1996.
- ❖ Perez Sheriff M. Guía de Programación y diseño de Unidades de Hemodiálisis. Ministerio de Sanidad y consumo. 1986.
- ❖ Dr. Alejandro Treviño Becerra. Tratado de Nefrología. México, 2003.
- ❖ Dr. Peña José Carlos, Méndez Francisco. Nefrología Clínica. México, 1991.
- ❖ Hernando Avendaño L. Nefrología Clínica. España, 2003.
- ❖ Hernández A, Tejerina F, Martínez L. Microfiltración, Ultrafiltración y Ósmosis Inversa. Universidad de Murcia, 1990.
- ❖ Dr. García de la Puente, Dr. Villegas Patiño, Dr. Saltzman. Nefrología Clínica. México, 2001.
- ❖ Valderrábano F. Insuficiencia Renal Crónica. Madrid, 1990.
- ❖ AAMI Standard and recommended practices. Dialysis. 2001 Edition.