
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería
Curso Ingeniería Clínica - 2022

Prof. Franco Simini, Prof. Adj. Isabel Morales, Gustavo da Costa, Jorge Lobo

Informe Práctica 2: "Normas de instalación de agua purificada y proyecto de una unidad de hemodiálisis".

Fecha de entrega: 11 de octubre de 2022

Agustina Ayala

5.405.555-4

María Guadalupe Hidalgo

41.531.889

Mariana González

5.449.130.4

RESUMEN.

Este documento refleja el trabajo de análisis de los estándares de calidad establecidos en Uruguay para un servicio de hemodiálisis, destacándose entre ellos su planta de tratamiento de agua, los requerimientos de la instalación eléctrica y la unidad de hemodiálisis. Dicho ahondaje será luego implementado para el diseño de un servicio de hemodiálisis que funcione las 24hs, teniendo 8 camas para su implementación.

Índice

1. Introducción y objetivo.	3
2. Teoría.	3
2.1. Fisiología del Riñón.	3
2.2. Patologías renales y diálisis.	3
2.3. Situación nacional respecto a pacientes renales.	4
3. Lecturas y actividades previas.	5
3.1. Contaminantes del agua.	5
3.2. Tipos de terapias renales.	6
3.3. Áreas de una unidad de Hemodiálisis.	7
3.4. Máquina de Hemodiálisis.	8
3.5. Esquema de una planta de tratamiento de agua.	10
3.6. Control de calidad del agua y líquidos de diálisis.	11
3.6.1. Sistema de distribución de agua tratada.	12
3.6.2. Control de filtros.	12
3.6.3. Resinas intercambiadoras de iones.	12
3.6.4. Ósmosis inversa.	12
3.6.5. Sistemas germicidas.	12
3.6.6. Control microbiológico del agua.	12
4. Procedimientos y Tareas	13
4.1. Requerimientos de la instalación eléctrica	13
4.2. Diseño de una Planta de tratamiento de agua.	15
4.3. Instrumentación de la unidad de hemodiálisis	17
4.4. Normativa utilizada.	18
5. Conclusiones	18
Referencias	20

1. Introducción y objetivo.

La hemodiálisis es el procedimiento más utilizado a nivel nacional para el tratamiento de la insuficiencia renal. Este proceso consiste a grandes rasgos en el intercambio de solutos entre la sangre del paciente y una sustancia preparada llamada baño de diálisis mediante una máquina de hemodiálisis. El baño de diálisis se forma principalmente a base de agua purificada. Esto induce la necesidad de tratar el agua que va a utilizarse para crear la solución porque el agua corriente es apta para consumo pero contiene una mayor cantidad de toxinas y bacterias de las permitidas para la hemodiálisis, y de utilizarse podría causar la muerte de los pacientes. Ésta práctica tiene como objetivo analizar los parámetros de calidad de una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, y diseñar un Servicio de hemodiálisis que esté disponible las 24 horas con 8 máquinas de diálisis.

2. Teoría.

2.1. Fisiología del Riñón.

El riñón es un órgano simétrico que se ubica detrás del hígado y el estómago. Es el protagonista del sistema urinario, encargado de filtrar la sangre. Los riñones cumplen funciones muy importantes para el buen funcionamiento del cuerpo humano. Estos separan desechos (toxinas) y exceso de agua de la sangre, generando la orina, lo cual puede observarse en la figura: 1. Esta acción permite equilibrar los niveles de sustancias de la sangre como el sodio, el potasio, y el calcio. Además, producen hormonas que ayudan a controlar la presión arterial, así como también estimulan la médula ósea para la producción de glóbulos rojos.[1]

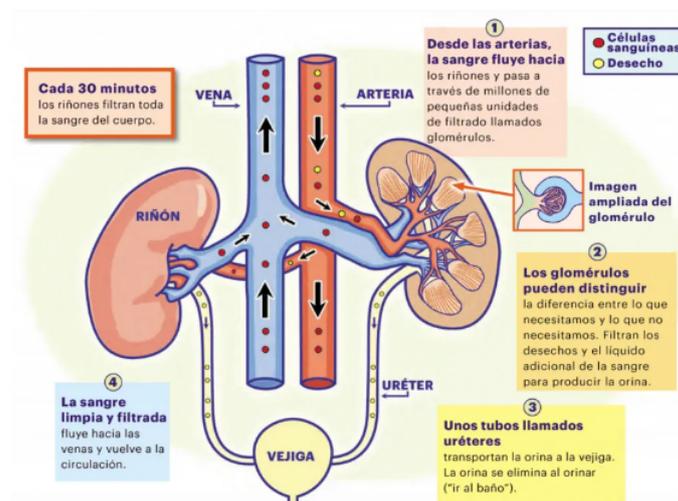


Figura 1: Funciones del riñón. Extraída de: [2].

2.2. Patologías renales y diálisis.

Cuando los riñones comienzan a fallar, sus funciones se reducen produciendo insuficiencia renal. Esto provoca que se eliminen menos toxinas y también agua de la sangre, lo que genera algunos síntomas en los pacientes. Cuando la función renal se ve reducida de forma significativa,

se vuelve necesaria la sustitución de la función de los órganos que están fallando, a través del trasplante de riñón o de la diálisis. Según el Fondo Nacional de Recursos, la diálisis es un procedimiento invasivo mediante el que se extraen productos tóxicos generados por el organismo que se han acumulado en la sangre como consecuencia de algún problema renal. Se distinguen dos tipos de diálisis: hemodiálisis o diálisis peritoneal. [1]

La hemodiálisis, es el procedimiento por el cual se purifica la sangre del paciente extrayéndola y poniéndola en contacto con un líquido especialmente preparado en la máquina de hemodiálisis (baño de diálisis). El contacto entre ambos líquidos se da mediante una membrana semipermeable a través de la cual se realiza el intercambio bidireccional de solutos, de modo que los contaminantes de la sangre son extraídos, y a su vez ésta recibe componentes necesarios para el buen funcionamiento del organismo. Luego del intercambio, la sangre purificada retorna al cuerpo del paciente.[1]

El baño de diálisis por su parte es generado por la máquina de hemodiálisis y su principal componente es el agua tratada. [1]. Es de gran relevancia aclarar que el agua a utilizar en el baño de hemodiálisis no puede ser el agua de uso cotidiano. Esto se debe a que ésta última contiene contaminantes que para el uso diario no afectan la salud, pero de entrar en contacto tan profundo con la sangre y en cantidades elevadas como en el caso de la hemodiálisis, podrían causar la muerte del paciente. El agua corriente brindada por OSE cumple con requerimientos de purificación que la hacen apta para el consumo, pero debe ser tratada más rigurosamente para ser apta para hemodiálisis. Esto hace que sea de vital importancia que las unidades de hemodiálisis cuenten con una planta de tratamiento de agua. [3]

Por otro lado, la diálisis peritoneal consiste en la introducción de un líquido estéril en el abdomen del paciente utilizando el peritoneo como membrana de filtrado de la sangre [1].

2.3. Situación nacional respecto a pacientes renales.

Actualmente en Uruguay más de 3000 personas reciben tratamientos de diálisis crónica, de los cuales el 93 % se realiza hemodiálisis, mientras que el 7 % restante se realiza diálisis peritoneal. Además, 1500 pacientes que viven actualmente, se han realizado trasplante de riñón. Todos los tratamientos son financiados por el Fondo Nacional de Recursos, implicando un gasto anual de 65 millones de dólares.[4]

En Uruguay la diálisis está regulada por el Decreto número 410/008 titulado: "Regulación de la actividad de los centros y servicios de hemodiálisis crónica ambulatoria y diálisis peritoneal". El decreto regula las características que deben tener las unidades de diálisis. Además, el Fondo Nacional de Recursos ha publicado el documento: "Guía para el diseño de la unidad de hemodiálisis", que dicta directrices basadas en el decreto y en la experiencia adquirida en el tratamiento de diálisis. Dicho documento presenta las distintas salas que debe tener la unidad de hemodiálisis y las características que debe cumplir cada una de ellas.[5] [3]

Por último es importante destacar que el agua purificada debe ser evaluada constantemente de modo de asegurar que en ella no haya concentración de toxinas o bacterias que puedan ser dañinas al utilizarla en hemodiálisis.

3. Lecturas y actividades previas.

3.1. Contaminantes del agua.

Se estudiaron los contaminantes habituales del agua. Entre ellos: contaminación bacteriana y endotoxinas en el agua, además de iones asociados al agua purificada para hemodiálisis.

El agua proveniente de las empresas potabilizadoras, incluye muchos contaminantes que pueden ser un gran factor de riesgo a la hora de ser utilizada en diálisis. A continuación se enumeran dichos contaminantes, y su máximo valor permitido dentro del agua potable, y dentro del agua para diálisis.

1. **Cloruros y Cloraminas.** Quedan presentes en el agua luego de eliminar la contaminación bacteriana. Estos compuestos pueden generar anemia hemolítica o hemólisis. En el agua potable hay hasta 250mg/l, mientras que en el agua para diálisis se permite solamente 0.1mg/l.
2. **Pesticidas, materia orgánica e hidrocarburos.** Proviene de desechos industriales. En contacto con la sangre del paciente pueden causar fiebre e hipertensión. Hasta 10µg/l en el agua potable, y 0µg/l en agua para diálisis.
3. **Pirógenos y Endotoxinas.** Los pirógenos provienen de la muerte de bacterias, y las endotoxinas provienen de la secreción bacteriana. También pueden causar fiebre e hipertensión. Se supone que no está presente en el agua potable, y su máximo valor permitido es de 0µg/l en agua para diálisis.
4. **Materia inorgánica.** Se produce por la poca filtración en las plantas de agua. Puede obstruir tubos, y dañar la OI (Ósmosis inversa). En el agua potable hay hasta 10mg/l, mientras que en el agua para diálisis no se permite: 0mg/l.
5. **Calcio y Magnesio.** Estos componentes están relacionados con la dureza del agua. Aquí en Uruguay, la dureza es un factor que varía según las condiciones climáticas y las estaciones del año. Grandes concentraciones de Ca y Mg provienen del pasaje de agua por terrenos calcareos y pozos. En los pacientes provoca el "Síndrome del agua dura", ocasionando náuseas, vómitos y cefaleas. Hasta 500g/l en el agua potable, y de 2g/l a 4g/l es permitido en el agua para diálisis.
6. **Fluoróforos.** Están presentes en el agua potable debido a la erosión de depósitos naturales y fábricas. Su efecto es producir osteomalacia (los huesos se vuelven blandos y deformes). Se considera normal hasta 1,5g/l en el agua potable, y hasta 0,2g/l en el agua para diálisis.
7. **Sodio.** Presente en aguas saladas y manantiales. Provoca hipertensión y sed. Se considera normal hasta 200g/l en el agua potable, y de 70g/l en el agua para diálisis.
8. **Aluminio.** El aluminio es el clarificante durante la potabilización. En el agua potable hay hasta 0,2g/l, mientras que en el agua para diálisis se permiten solo: 0,01g/l. En valores fuera de los indicados, también puede provocar osteomalacia en los pacientes dializados.
9. **Cobre.** Puede causar anemia hemolítica y leucocitas. Proviene de las cañerías de cobre, y del sulfato de cobre que se agrega para matar algas. En el agua potable hay hasta 1g/l, mientras que en el agua para diálisis se permiten solo: 0,1g/l.

10. **Plomo.** Sus valores se limitan en $0,03g/l$ dentro del agua potable mientras que en el agua para diálisis se permiten solo: $5\mu g/l$. En condiciones extrema puede generar la parálisis del sistema nervioso. Los componentes de plomo provienen de tuberías viejas y de desechos industriales.

3.2. Tipos de terapias renales.

La terapia renal sustitutiva o terapia de reemplazo renal es un término usado para abarcar los tratamientos de soporte de la vida para la insuficiencia renal. La terapia de reemplazo renal incluye: hemodiálisis, diálisis peritoneal, hemofiltración, hemodiafiltración y trasplante renal. En este práctico se describirán brevemente las diferencias entre hemodiálisis y diálisis peritoneal.

Las dos técnicas son igual de eficaces. La diálisis peritoneal es una técnica domiciliaria y la hemodiálisis se realiza habitualmente en un centro de diálisis, hospitalario o no, si bien los avances en las técnicas hace que cada vez haya más pacientes que están en hemodiálisis en su domicilio. [6]. A continuación se muestran en la Figura: 2 dos esquemas que representan cada una de las técnicas mencionadas.

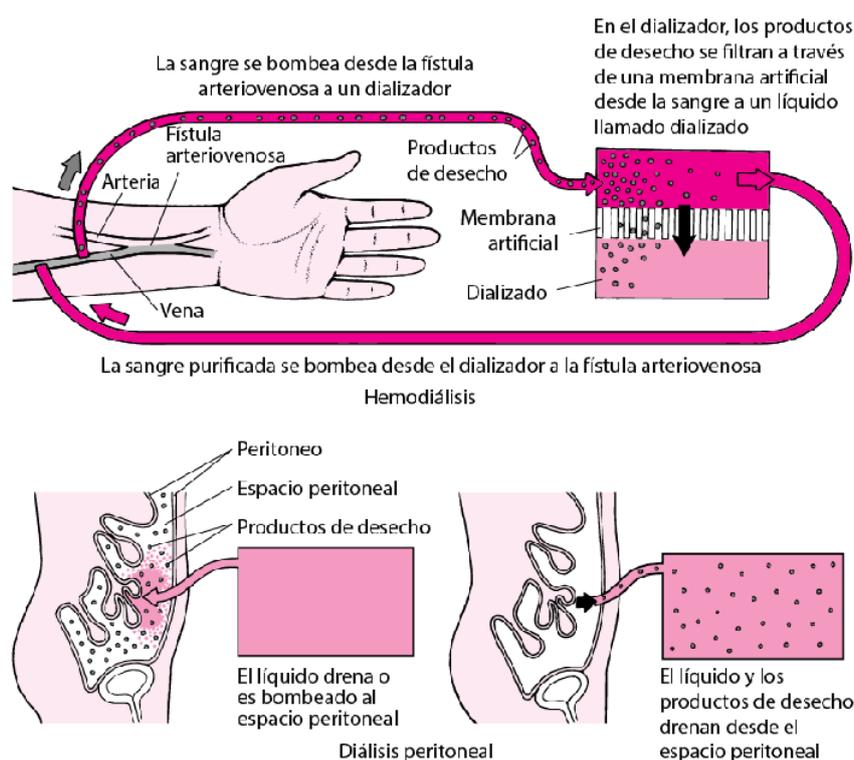


Figura 2: Esquema de los tipos de terapias renales, hemodiálisis y diálisis peritoneal. Extraída de [7].

Diálisis peritoneal. Esta técnica utiliza una membrana natural para filtrar la sangre y limpiarla de impurezas: el peritoneo (membrana que recubre la cavidad abdominal). De esta manera, la sangre se filtra sin salir del cuerpo. El líquido de la diálisis se introduce en la cavidad peritoneal a través de un catéter previamente implantado con una pequeña intervención quirúrgica. Una vez pasado el tiempo en que se produce el intercambio de sustancias a través de la membrana peritoneal, el líquido utilizado se extrae con los productos de desecho.

Hay dos modalidades de diálisis peritoneal: La manual, en la que el paciente se realiza una media de 3 a 5 intercambios al día dependiendo las necesidades del paciente. Y la automática, en la que los cambios los realiza por la noche una máquina llamada “cicladora”.

Hemodiálisis. Esta es una técnica en la que una máquina sustituye las funciones principales del riñón: eliminación de sustancias y de líquido, y regulación del equilibrio ácido-base. En ningún caso la hemodiálisis suple las funciones endocrinas ni metabólicas de estos órganos.

Se trata de un procedimiento de depuración sanguínea extracorpórea; a través de un acceso vascular especial se extrae la sangre del paciente para hacerla pasar a través de un filtro o dializador que contiene una membrana semipermeable con un líquido de diálisis (dializado) de características predeterminadas. Al entrar en contacto ambos fluidos de diferente concentración, se produce un intercambio de tal forma que la sangre retorna al paciente libre de impurezas. Esta técnica puede efectuarse en el hospital, en un centro de diálisis, o en el propio domicilio del paciente.

Su duración depende de las necesidades de cada paciente, pero como la sangre tiene que pasar varias veces a través del filtro, la media es de 4 horas, tres veces por semana. Hay que tener en cuenta que el riñón sano realiza este trabajo las 24 horas del día y todos los días de la semana.

3.3. Áreas de una unidad de Hemodiálisis.

El MERCOSUR establece una serie de recomendaciones para favorecer a los servicios de diálisis en su calificación, en la humanización de la atención y en la reducción y control del riesgo a los usuarios y al medio ambiente [8]. En la Figura 3 se muestra un esquema de las principales áreas que deben conformar una unidad de Hemodiálisis con un máximo de 20 pacientes por turno, basada en las directrices establecidas por el MERCOSUR.

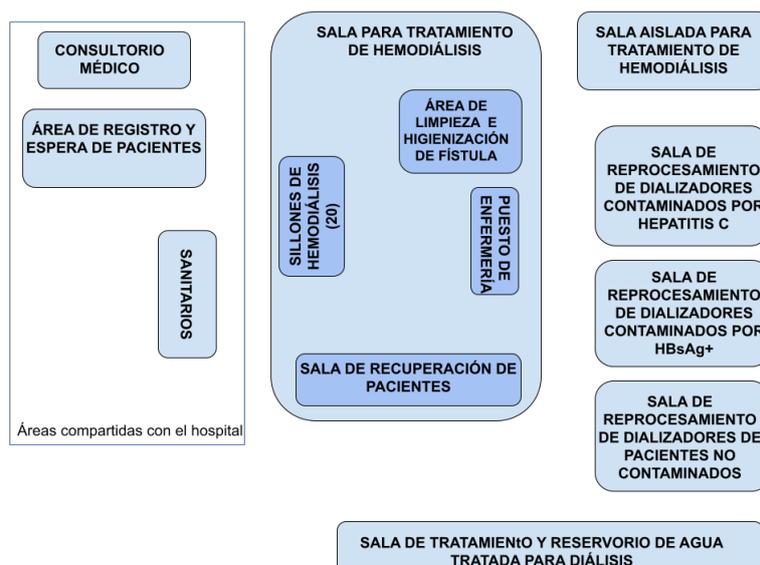


Figura 3: Esquema de las principales áreas que deben conformar una unidad de Hemodiálisis. Basado en las directrices establecidas por el Mercosur en [8].

En primer lugar, se cuenta con dos tipos de salas de hemodiálisis, una general y una aislada.

La segunda se dedica a pacientes que requieran aislamiento según normativas estatales, los cuales tendrán acceso a los recursos necesarios que se detallarán para la sala compartida.

En la sala de tratamiento de hemodiálisis puede verse que el puesto de enfermería se encuentra enfrentado a los sillones de hemodiálisis, esto es porque debe estar ubicado de tal forma que posibilite la visualización total de los sillones, y debe haber uno por cada 25 pacientes por turno. Adicionalmente, cuenta con una sala de recuperación de pacientes porque se recomienda una de éstas cada 20 sillones de diálisis, y también tiene un área de limpieza e higienización de fístula. Ésta última se coloca dentro de la sala de tratamiento de hemodiálisis pero podría estar fuera de ella en un lugar de fácil acceso.

Por otro lado, se conoce como reprocesamiento de dializadores a la práctica de utilizar un mismo dializador en el mismo paciente durante varias sesiones [9]. Dicha técnica puede reducir costos pero debe hacerse con el cuidado suficiente para no perjudicar al paciente, lo que implica que el servicio de hemodiálisis debe contar con salas de reprocesamiento. En la Figura 3 pueden distinguirse tres salas, una para dializadores contaminados con hepatitis B¹, otra para los contaminados con hepatitis C, y la tercera para aquellos de pacientes no contaminados. Dichas salas fueron colocadas alrededor de las salas de tratamiento de hemodiálisis porque deben estar próximas a éstas.

Es importante disponer de una sala exclusiva para el tratamiento y reservorio de agua tratada para diálisis, que además debe ser de fácil acceso para aligerar la operación y mantenimiento de los reservorios. Adicionalmente, la infraestructura debe garantizar que los reservorios estén protegidos contra el contacto con el medio exterior (potencial de contaminantes) y a la incidencia de la luz solar.

Finalmente, existen áreas necesarias para el vínculo paciente-centro fuera de la sala de tratamiento que favorecen la calidad de la atención. Las mismas pueden ser compartidas con el hospital en el que se desarrolla el servicio en el caso de ser intra-hospitalario. Se requiere de un consultorio médico donde pueda darse el contacto paciente-médico fuera de la sala de tratamiento. Además, el centro debe contar con lugares confortables para la estadía de los usuarios, como áreas de registro y espera de paciente, comedores, y sanitarios para ambos sexos y acondicionados para personas discapacitadas, higiénicos y de fácil acceso.

Es importante destacar que los operarios del servicios también deben tener acceso a áreas de confort privadas, que garanticen un ambiente de trabajo en buenas condiciones, entre ellas se pueden destacar vestuarios y sanitarios.

3.4. Máquina de Hemodiálisis.

En este ítem se detallará el funcionamiento y las partes de una máquina de hemodiálisis, Figura: 4.

La máquina de hemodiálisis cuenta con dos circuitos, el circuito sanguíneo extracorpóreo y el circuito de dializante.

Para comenzar su tratamiento de hemodiálisis, un enfermero o un técnico de diálisis colocará dos agujas en su brazo (fístula). Cada aguja está sujeta a un tubo blando conectado a la

¹HBsAg+ es el antígeno de superficie de la hepatitis B [10]

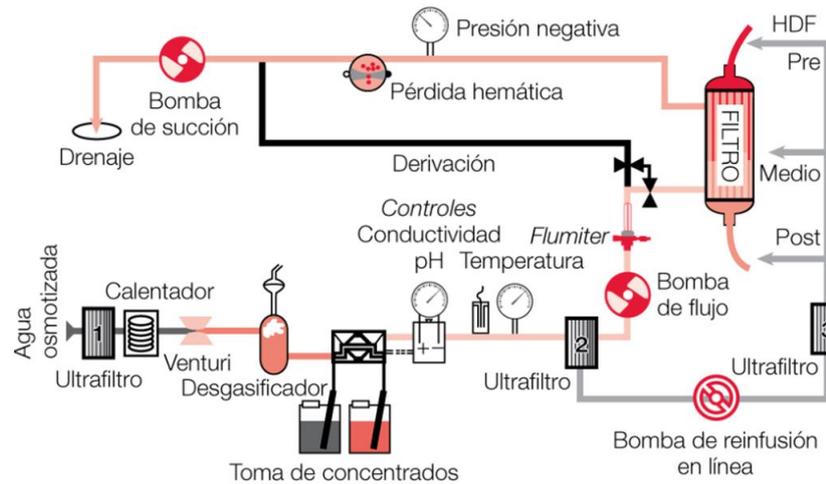


Figura 4: Funcionamiento de la máquina de diálisis. Extraído de: [11].

máquina.

Primero, la sangre del paciente pasa por una bomba de sangre que se encarga de impulsar la sangre por unos rodillos estáticos que comienza a girar para que la sangre fluya de manera correcta durante el proceso. Luego, la sangre pasa por el filtro en donde se encargará de eliminar las toxinas, el exceso de sal y el líquido. Durante estos procesos hay líquido con propiedades anticoagulantes, ya que sería un gran peligro la formación de coágulos en la sangre durante la diálisis.

Como parte de la diálisis, se cuenta con el llamado baño de hemodiálisis o líquido de diálisis que consiste en agua ultra purificada más algunos ingredientes. De este modo, ayuda a eliminar productos de deshecho de la sangre corrigiendo así desequilibrios causados por la insuficiencia renal. Además, se requiere de una membrana semipermeable que separa el líquido de diálisis de la sangre, permitiendo el intercambio de ciertas sustancias entre ellos mediante el proceso de difusión. Este proceso depende de la permeabilidad de la membrana, permitiendo el pasaje de algunas sustancias específicas, en cada sentido, pero no todos los fluidos.

Por último, al salir del filtro la sangre pasa por un detector de aire, para evitar que ingrese aire al paciente y prevenir una embolia. En caso de que se detecten burbujas de aire la sangre pasa por un "Clamp Venoso", el cual es un dispositivo con el fin de eliminar las posibles burbujas de aire que pueden existir.

Dentro del circuito dializante, la máquina es alimentada con agua tratada. Esta agua debe de pasar por un calentamiento. El agua caliente y la solución dializante mezcladas se dirigen al filtro y recorren por un lado el filtro para que cuando la sangre pase se limpie de manera adecuada con las fibras del filtro. Por último, ya que la sangre ha concluido su circuito regresa al paciente completamente limpia. El agua contaminada con impurezas, se desecha por el drenaje.

3.5. Esquema de una planta de tratamiento de agua.

En la Figura 5 se ilustra un esquema de una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, construido en base a las recomendaciones de [12], [13] y [3].



Figura 5: Esquema de planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, según las normas establecidas en [12], [13] y [3].

La etapa de preparación apunta a la eliminación de la mayoría de las partículas en suspensión. En base a [13], el agua que ingresa pasa por una etapa de cloración, donde se le agrega cloro por su poder desinfectante y oxidante. Luego, almacenar el agua en grandes depósitos ayuda a eliminar partículas por sedimentación², y en la parte final de la etapa de preparación se colocan filtros en serie de 500um a 5um para intensificar el filtrado de partículas.

La etapa de pretratamiento debe conseguir la mayor eliminación posible de partículas, la desaparición de las cloraminas y otra materia orgánica, y la disminución de la cantidad de cationes, lo cual busca haciendo uso de uno o más ablandadores, microfiltros y filtros de carbón activado. En el esquema, inicia con un ablandador, el cual apunta a eliminar la dureza del agua, entendiéndose ésta como un alto contenido de Ca^+ y Mg^+ . El ablandador logra su objetivo mediante el intercambio de Mg^+ y Ca^+ por Na^+ en una resina rica en Na^+ . A continuación, se colocan microfiltros para el filtrado de partículas provenientes del ablandador. En la segunda fase de pretratamiento, el filtro de carbón activado se encarga de eliminar cloro, cloraminas y cualquier sustancia orgánica disuelta en el agua. Se calienta el carbón a altas temperaturas (800-1000 °C) en ausencia de oxígeno, logrando en él una superficie microscópicamente porosa, la cuales en contacto con el agua atraerán, capturarán y romperán moléculas contaminantes. Dicho filtro se coloca inmediatamente antes de la etapa de ósmosis inversa porque el agua sin cloro es susceptible a contaminación. La etapa de pretratamiento finaliza con microfiltros para evitar el pasaje de pequeñas partículas de carbón, éstos deben lograr mínimamente 5um de poro.

La etapa de tratamiento tiene como eje central la ósmosis inversa, esto es, un proceso de filtrado mediante el cual, haciendo uso de una membrana semipermeable y aplicando una presión

²Otra opción sería un filtro de arena y antracita

sobre la solución, se logra filtrar principalmente iones, pero también partículas y moléculas no deseadas en el agua que no hayan sido retiradas en el pre-tratamiento. Consiste en aplicar una presión superior a la osmótica para que ejerza una fuerza de empuje en sentido opuesto a la ósmosis ³. En las plantas de tratamiento, el agua circula a una presión superior a la osmótica, lo cual da lugar al proceso de ósmosis inversa. En la Figura 6 puede verse de forma esquemática el proceso de ósmosis y ósmosis inversa.

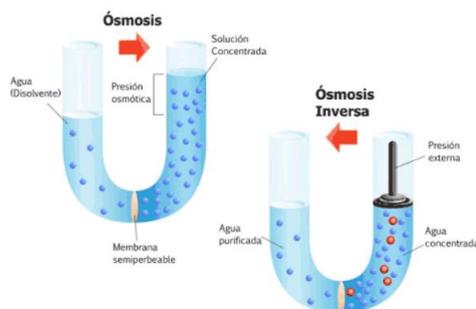


Figura 6: Ósmosis y ósmosis inversa. Extraído de [14]

Para finalizar, es importante resaltar que el objetivo del tratamiento es tener un agua con la mejor calidad posible para hemodiálisis. El esquema descripto solo es una base, podría agregarse que haya redundancia en la instalación para que el mantenimiento de una parte no afecte el abastecimiento del agua, y además podría haber etapas posteriores a la ósmosis inversa que garanticen la calidad del agua en caso de fallas en la etapa anterior como generadores de ozono, luz ultravioleta y más filtros.

3.6. Control de calidad del agua y líquidos de diálisis.

Los controles de calidad buscan evaluar la calidad del agua de modo de asegurar que esté en el estado correcto y tenga la cantidad de componentes apta para su uso. Esto se debe a que de no tener los valores necesarios de calidad, comprometería la salud de los pacientes.[12]

Se hacen mediciones diarias de la dureza del agua, sus contenidos de cloro libre y total y su resistividad (o conductividad), cuyos valores aceptables están delimitados por la normativa. Mensualmente se debe medir la cuantificación bacteriana y semestralmente el contenido de aluminio. Todos los resultados obtenidos deben ser registrados en un libro de seguimiento (o similar), asociados a la fecha en la que se hicieron las verificaciones.[12]

Por otra parte, debe verificarse que todos los elementos que forman parte del proceso de tratamiento de agua funcionen correctamente. Estos son:

- Sistema de distribución
- Filtros
- Resinas intercambiadoras de iones
- Ósmosis inversa

³La ósmosis es el proceso por el cual un solvente pasa a través de una membrana semipermeable, de una solución diluida a una concentrada, hasta igualar la diferencia de concentraciones a ambos lados de la membrana. [14]

-
- Sistema germicidas
 - Microbiología del agua
 - Bacteriología del agua
 - Endotoxinas en el agua

A continuación se presentan las verificaciones que se realizan en cada caso.

3.6.1. Sistema de distribución de agua tratada.

La resistividad o conductividad del agua en el sistema debe ser medida continuamente mediante un conductivímetro o resistivímetro. A su vez, este debe incorporar una alarma, de modo que si la resistividad del agua es menor a cierto valor umbral se active. Es importante que la lectura del instrumento esté adaptada a la temperatura del agua.[12]

3.6.2. Control de filtros.

Los filtros deben ser lavados periódicamente con una frecuencia determinada según el flujo del agua de la red y su calidad. Se controla además el aspecto externo de los filtros y su caída de presión, siendo su valor determinante para decidir el cambio de los filtros. Para filtros de partículas que son no lavables se debe evaluar la caída de presión diariamente y cambiarse con mayor periodicidad. Filtros de carbón activado deben cambiarse cuando se detecte la presencia de cloramidas en el agua o de no ser posible medir esta situación, cada seis meses.[12]

3.6.3. Resinas intercambiadoras de iones.

En el caso de las resinas intercambiadoras de iones tanto descalcificadores como desionizadores se evalúa su funcionalidad realizando mediciones en el agua tratada. Se miden diariamente su dureza, sus niveles de pH, Ca y su conductividad y a partir de los resultados se realizan correcciones. [12]

3.6.4. Ósmosis inversa.

Se evalúa la efectividad de la ósmosis inversa diariamente midiendo el caudal de agua, el porcentaje de rechazo, la presión de funcionamiento y la conductividad del agua filtrada.[12]

3.6.5. Sistemas germicidas.

Deben revisarse periódicamente las lámparas de radiación ultravioleta midiendo su radiación y su tiempo de funcionamiento. [12]

3.6.6. Control microbiológico del agua.

Deben realizarse controles al menos una vez al mes. Deben tomarse muestras y ser procesadas procurando la máxima sensibilidad mediante el uso de volúmenes grandes. Las muestras deben sembrarse precozmente en medios de cultivos pobres, a temperatura ambiente, por períodos largos. Se busca detectar la formación de circuitos de biopelícula bacterianos, detectándose en recuentos de más de 1000 UFC/ml. Estos deben ser eliminados del agua.[12]

Está definida la metodología óptima para el cultivo de bacterias en el agua de diálisis. A continuación se describen algunas de sus características. La muestra a utilizar debe ser recogida a través de un punto de acceso al circuito, previamente desinfectado. Se debe recoger al menos 1ml de líquido en un recipiente estéril y libre de endotoxinas. Se debe mantener la muestra a cuatro grados Celsius y sembrarse antes de las 24hs de la obtención en medios de cultivo pobres de nutrientes. Se debe incubar a temperatura ambiente y realizar lecturas tardías, a las 48-72 hs y a los 5-7 días. Por último se debe cuantificar el número de colonias por milímetro de muestra y determinar el microorganismo.[12]

Los controles bacterianos del agua deben realizarse en distintos puntos del sistema de tratamiento, es decir, en el agua de la red, en la entrada y salida del circuito de distribución y en las tomas de agua del circuito de diálisis. Se busca asegurar que en ninguna parte del proceso se tienen bacterias involucradas. [12]

Por otra parte, el cultivo del agua no suele ser representativo de sus niveles de endotoxinas, que son las que tienen efectos más negativos en la salud. Para su medición el método más utilizado es la prueba del LAL, que permite la cuantificación. Se realizan medidas tanto en el agua tratada como en las tomas de las máquinas de diálisis y en el líquido de diálisis predializador. [12]

4. Procedimientos y Tareas

4.1. Requerimientos de la instalación eléctrica

La instalación eléctrica de la unidad de hemodiálisis debe ser tal que brinde seguridad y confort tanto para el paciente como para el personal de salud, y no debe introducir obstáculos para brindar un servicio de calidad. A continuación se listan una serie de puntos importantes que debe cumplir la instalación eléctrica, basados en las recomendaciones del Fondo Nacional de Recursos, que se basan en el Reglamento de Baja Tensión de UTE [15].

- La instalaciones deben asegurar un suministro de energía ininterrumpido, principalmente en los sectores críticos. Entre ellos se pueden destacar, las tomas de las máquinas de hemodiálisis, las bombas de impulsión del circuito de agua tratada, los sectores del sistema de tratamiento de agua que requieran suministro eléctrico, las tomas de heladeras donde se almacenan fármacos, y la iluminación de la unidad de hemodiálisis, áreas técnicas, la sala de tratamiento de agua, las salas donde se encuentra el grupo electrógeno y los pasillos de evacuación.
- En función del punto anterior, debe contar con un sistema de respaldo que debe activarse en menos de un minuto y tener una duración mínima de 4hs.
- Las partes activas⁴ de la instalación estarán alejadas de los lugares donde las personas habitualmente se encuentran o circulan, y se interpondrán obstáculos fijos, seguros y resistentes a esfuerzos mecánicos previstos, que eviten el contacto accidental. Para la protección de las personas contra contactos accidentales, se considera una zona alcanzable con la mano, aquella que está a una distancia límite, desde el punto donde pueda estar la persona parada, de:

⁴Partes activas de la instalación: las que habitualmente están a una tensión no nula.

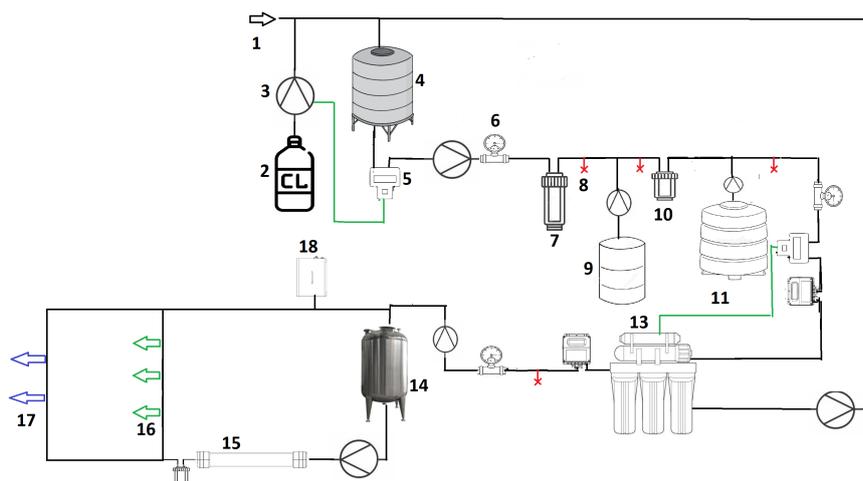
-2.7m hacia arriba.
-1m hacia los laterales.
-1m hacia abajo.

- Las partes activas de la instalación estarán aisladas con materiales que limitan la corriente de contacto a valores inferiores a 1mA y cuyas propiedades perduran en el tiempo.
- Cada aparato eléctrico debe estar aterrado y todos sus elementos metálicos deben ser resistentes a la corrosión.
- El circuito de puesta a tierra deberá ser continuo, permanente, tener la capacidad de carga para conducir la corriente de falla y deben respetar el umbral de tensión de seguridad.
- Los dispositivos de corte deben evitar llevar o mantener las masas a un potencial peligroso en relación a la tierra o a otra masa vecina.
- Los accesorios y tomas de las máquinas de diálisis deben ser blindados para evitar los daños por salpicaduras de agua o soluciones de diálisis.
- Asimismo, los circuitos eléctricos deben estar separados de los de agua, y debidamente protegidos ante eventuales salpicaduras de agua o solución de diálisis.
- Emplear un transformador como método de aislamiento para alimentar los equipos, evitando poner en riesgo tanto al paciente como al personal en caso de fallas. El transformador no deberá tener una tensión secundaria superior a 220V.
- Debe contar con un monitor de detección de fugas colocado dentro de la sala en un lugar visible y de fácil acceso, que enciende una señalización óptica roja y acústica cuando se detecte una pérdida de aislamiento capaz de originar una corriente de fuga superior a 5mA en instalaciones de 220V, y además indica con una luz verde el correcto funcionamiento.
- Las protecciones contra sobre-corrientes de todos los circuitos y equipos deben estar coordinadas, buscando evitar que la falla en uno de los circuitos interrumpa la alimentación de otros sistemas.
- Todas las partes metálicas accesibles deben estar unidas a una barra equipotencial mediante conductores de cobre aislados e independientes. La impedancia entre las partes metálicas y la barra no debe superar los 0.1Ω y la diferencia de potencial no deberá exceder los 10mV eficaces en condiciones de funcionamiento normal.
- La barra equipotencial se une a la puesta a tierra de protección de la instalación mediante un conductor de cobre aislado de sección no menor a $16mm^2$.
- Para los conductores de equipotencialidad y puesta a tierra deben utilizarse los colores verde-amarillo.
- Todo el sistema de protección deberá funcionar con idéntica fiabilidad independientemente de si la fuente de alimentación es la habitual o la de respaldo.
- Debe contar con un tablero general propio de suministro eléctrico donde se subdividen los circuitos. Estará ubicado en un lugar accesible, con buena ventilación. Además debe estar sobredimensionado para eventuales ampliaciones y debe considerar un factor simultaneidad 1 para todos los equipos de hemodiálisis.

- Debe contar con un tablero derivado fácilmente accesible desde la sala de hemodiálisis que incluya la protección contra sobre-corrientes, el transformador de aislamiento y el monitor de fugas.
- Las máquinas eléctricas deberán tener dispositivos de seccionamiento que impidan su funcionamiento intempestivo.
- La iluminación de la sala de diálisis debe satisfacer tanto las necesidades de comodidad del paciente como las del personal para brindar el servicio. Se utilizará una iluminación uniforme de la sala de hemodiálisis regulable desde el control de enfermería, complementada con iluminación propia en cada sillón.
- No se utilizarán lámparas o tubos expuestos que puedan diseminar fragmentos de vidrios u otros elementos en caso de estallamiento o rotura.

4.2. Diseño de una Planta de tratamiento de agua.

La planta de tratamiento de agua para hemodiálisis diseñada se muestra en la figura 7. La misma alimenta una sala de hemodiálisis con 6 sillones en servicio las 24hs, y está basada principalmente en las recomendaciones dadas por la fuente [13].



- 1- Entrada de agua de aporte
- 2- Tanque de cloro
- 3- Bomba
- 4- Tanque de almacenamiento de agua clorada
- 5- Medidor de cloro
- 6- Manómetro
- 7- Filtro de zeolita
- 8- Toma de agua
- 9- Tanque de metabisulfito de sodio
- 10- Microfiltro
- 11- Tanque de antiincrustante
- 12- Medidor de conductividad
- 13- Ósmosis inversa
- 14- Tanque de almacenamiento de agua tratada
- 15- Filtro UV
- 16- Tomas de los monitores de hemodiálisis
- 17- Tomas de la sala de reprocesamiento
- 18- Generador de ozono

Figura 7: Planta de tratamiento de agua para hemodiálisis diseñada.

Al agua bruta que ingresa se le agrega cloro por su poder desinfectante y antioxidante, y luego se almacena la solución en el tanque de almacenamiento de agua clorada. El agregado de cloro se hace mediante una bomba controlada por un medidor de cloro colocado a la salida del tanque, con lo cual se busca que el agua a la salida del mismo tenga una concentración de entre 1.5-1.8 ppm de cloro. El medidor, cada dos horas le envía una señal a la bomba (cable verde en la figura 7) en base a la lectura realizada para ajustar la dosificación de cloro.

Se tiene un caudal de agua bruta igual a 25000L/hr, la bomba tiene un caudal nominal de 500mL/hr, el tanque de cloro tiene una solución de hipoclorito con 100gr de cloro por litro. Dicho diseño asume que habrá que inyectar entre 1.2 y 2 ppm de cloro activo al agua bruta, lo que permite trabajar en el entorno del valor de funcionamiento de la bomba.

El tanque de agua clorada es de 2000L. Para su dimensionamiento se considera la recomendación de tener una reserva de agua clorada para dos turnos de hemodiálisis y además para lavado y desinfección. Estimando que cada monitor de hemodiálisis consume 500mL/min, sabiendo que se tendrán 6 en uso por turno, que un tratamiento dura 4hs, y agregando un sobredimensionamiento para desinfección, lavado y respaldo, se desarrolla el planteo de la ecuación 1.

$$L_{tanque} = 6 * 2 * (500 \frac{mL}{min} * 60min * 4hs) / 1000 + sobredimensionado = 2000L \quad (1)$$

Se elige un filtro de zeolita en lugar de un filtro de arena, porque éste alcanza poros de entre 3 y 5 micras, mientras que el de arena oscila entre 50-100 micras [16].

Se opta por la inyección de metabisulfito de sodio en lugar del filtro de carbón activado por el hecho de que en Uruguay se contamina. Dicha elección permite ahorrar en costos elevados de análisis de contaminación y desinfección. Por otro lado, se pierde el filtrado de materia orgánica que afecta negativamente las membranas de la ósmosis inversa, lo cual se busca mitigar con el agregado de un microfiltro a continuación.

Para eliminar la dureza del agua se le agrega anti-incrustante. El beneficio que aporta es que “aumenta el tamaño” del Ca+ y Mg+, de forma que al llegar a la ósmosis no queden incrustadas en ella, sino que sean rechazadas y posteriormente drenadas.

Previo a la etapa de ósmosis se coloca un manómetro para controlar la presión del agua en dicho punto del circuito, un sensor de cloro que si detecta un nivel superior a cero envía una señal (cable verde en la figura 7) al equipo de ósmosis para apagarlo y así evitar que se dañe por la presencia de cloro, y también se coloca un medidor de conductividad que en conjunto con el medidor de conductividad a la salida de la etapa de ósmosis permitirá evaluar la eficacia de la misma. Dado que la ósmosis esencialmente se encarga de rechazar iones, su eficacia se calcula como: $E = \frac{C_e - C_s}{C_s} * 100$, donde C_e es la conductividad del agua pre-tratada (dada por el primer sensor) y C_s es la conductividad del agua tratada (dada por el segundo sensor) [13].

El equipo de ósmosis utilizado está compuesto de tres membranas iguales. Sabiendo que cada membrana tiene un rendimiento nominal del 50 %, esto es, en cada paso se obtiene la mitad de agua filtrada y la otra mitad se drena, entonces el sistema tendrá un rendimiento total del 87,5 %. En la figura 8 se muestra un esquema de la etapa de ósmosis, donde se indican los porcentajes de agua drenada y filtrada sobre el total de agua pre-tratada a la entrada del mismo.

A continuación, se vuelve a conectar un manómetro para controlar la presión del agua y la bomba se encarga de impulsarla al interior del tanque de almacenamiento de agua tratada. Este último también es de 2000L.

A la salida de tanque de agua tratada se coloca una bomba que impulsará el agua al sistema de distribución. Antes de llegar a las cañerías el agua pasa por una lámpara ultravioleta donde se neutralizará el ozono agregado al agua que retorna al tanque de agua tratada desde el sistema de distribución como forma de tratamiento bacteriológico (18 en la figura 7). Adicionalmente, a la salida del filtro UV se coloca un microfiltro para eliminar continuamente residuos presentes en el agua tratada, como las endotoxinas que surgen por el tratamiento bactericida.

También se colocaron tomas de agua (símbolo 8 en la figura 7) en diferentes puntos del circuito que permiten tomar muestras para analizar el funcionamiento de las etapas.

Finalmente, es importante destacar que el sistema es un circuito cerrado, de forma que el agua tratada se dirige al sistema de distribución y la que no fue utilizada retorna al tanque de agua tratada pasando por el tratamiento bacteriológico que hace la inyección de ozono. El agua se mantiene en circulación, evitando puntos muertos que favorezcan la proliferación de bacterias.

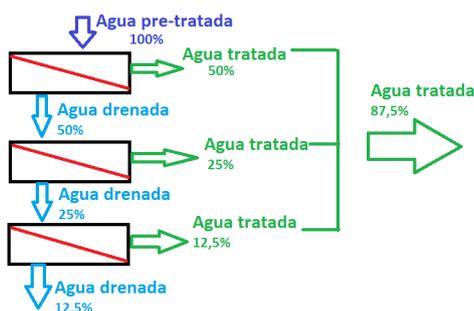


Figura 8: Esquema de funcionamiento de las membranas del equipo de ósmosis.

4.3. Instrumentación de la unidad de hemodiálisis

A continuación se describen los equipos biomédicos necesarios para equipar la unidad de hemodiálisis [8], [15].

1. Antes del procedimiento, la primera vez, el cirujano determina el mejor lugar para colocar su acceso vascular. Un buen acceso debe tener buen flujo sanguíneo. Para ello es recomendable contar con un **ecógrafo de efecto doppler** o realizar una venografía para revisar el flujo sanguíneo en el posible sitio de acceso.
2. Dado que se cuenta con **8 máquinas dializadoras**. Se utilizarán 6 por turno y 2 serán destinadas para respaldo en caso de emergencia. Por cada máquina dializadora se agregará 1 sillón reclinable y ajustable que cuente con el máximo confort para el paciente durante su tratamiento.
3. Es necesario que se cuente con: **2 aparatos de presión**. Se requiere uno por cada cuatro pacientes por turno. En este caso se elige trabajar con esfigomanómetros, ya

que este dispositivo es fácil de utilizar y es capaz de medir la presión arterial. Se debe controlar la presión del paciente antes de comenzar el procedimiento, y ante la presencia de algún síntoma. Tener baja presión arterial aumentaría la resistencia vascular periférica en los lechos esplánico y de la piel, y la frecuencia y contractilidad cardíaca. A su vez, la disminución del retorno venoso. Así como también tener una presión arterial alta puede ser un gran riesgo. Todo esto afectaría de manera notable el proceso de la hemodiálisis. Los valores normales de presión arterial que debe tener el paciente son de: 120/80mmHg.

4. Carro de **emergencia cardiovascular** que cuenta con: un **Monitor de ECG portátil** y un "**DEA**" (Desfibrilador electrónico automático). La mayoría de las personas con insuficiencia renal también tienen una enfermedad cardíaca. Esto sucede porque en general tienen otros problemas de la salud, incluidos la presión arterial alta (como ya se mencionó anteriormente), la diabetes, la anemia, los problemas de colesterol y los problemas minerales y óseos. Estas afecciones fuerzan al corazón a que funcione con mayor esfuerzo. Cuando se fuerza al corazón, este comienza a engrosarse y a aumentar de tamaño. En consecuencia, es de vital importancia estar atento a cualquier cardiopatía que pueda surgir, así como también es importante monitorizar los valores cardíacos fisiológicos durante el procedimiento.
5. Carro de **reanimación pulmonar**. Equipado con **ventilador pulmonar mecánico** y tomas de oxígeno con sus medios de administración. En caso de no contar con un ventilador mecánico, puede sustituirse por un Aspirador portátil. El carro de reanimación es necesario porque puede ocurrir que por algún motivo, el paciente tenga un paro respiratorio, o una obstrucción pulmonar durante la diálisis. Y de hecho en algunos casos puede ser aún más grave. Por ejemplo: un paciente con insuficiencia renal crónica tiene un patrón respiratorio que se caracteriza por ser profundo y forzado, usualmente se asocia con acidosis metabólica severa. Lo cual implica que se debe actuar con inteligencia y eficacia para poder recuperar la capacidad respiratoria del paciente en una situación tan delicada.

Además el lugar deberá contar otros elementos que complementan la unidad como son las fístulas arteriovenosas para los pacientes, los carros de curaciones, medicamentos para atención de emergencias y material completo de intubación.

4.4. Normativa utilizada.

La normativa utilizada para justificar el desarrollo de esta práctica fueron los decretos 410/008: Regulación de la actividad de los centros y servicios de hemodiálisis crónica ambulatoria y peritoneal", y 406/988: Reglamento de seguridad e higiene ocupacional. Seguridad laboral". Ambos fueron extraídos de la página web de IMPO, normativa y avisos legales del Uruguay. Además, parte de la información presentada se basó en las "Directrices para la organización y funcionamiento de los servicios de diálisis" del MERCOSUR. Respecto a los requerimientos de la instalación e eléctrica presentados, estos siguen las exigencias presentes en el Reglamento de baja tensión de UTE, vigente desde Enero del 2004.

5. Conclusiones

El agua utilizada en hemodiálisis debe ser tratada para que no genere efectos nocivos sobre los pacientes. Esta pasa por una etapa de pre-tratamiento donde se le inyecta cloro, anti-incrustante y metabisulfito de sodio, y se pasa por algunos microfiltros, y luego una etapa

de tratamiento basada principalmente en la ósmosis inversa.

Es necesario que el circuito de distribución de agua tratada sea circular y no tenga puntos muertos que pueda favorecer la proliferación de bacterias. Se le agrega una inyección de ozono como tratamiento bacteriológico en el punto de retorno del circuito de distribución y una lámpara UV en conjunto con un microfiltro para neutralizar el ozono agregado y filtrar endotoxinas producidas por la lámpara. Además se hacen controles habituales para la evaluación de la calidad del agua, de modo de poder detectar la presencia de bacterias y toxinas en caso de haberlas.

La instalación eléctrica debe ser ininterrumpida y segura tanto para el paciente como para el personal del servicio.

La unidad de hemodiálisis debe contar con los elementos necesarios del servicio como las máquinas de diálisis, sillones y también debe tener acceso a elementos para brindar atención de emergencia como desfibrilador, monitor cardíaco, ventilador pulmonar mecánico, tomas de oxígeno, material completo de intubación y carro de curaciones. Así como también aparatos de presión y medicamentos.

Referencias

- [1] “Insuficiencia renal.” Consultada el 09/10/2022. (), dirección: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/insuficiencia-renal>.
- [2] Consultada el 09/10/2022. (), dirección: <https://especialidades.sld.cu/nefrologia/espacio-publico/que-funciones-realizan-los-rinones>.
- [3] FNR, *Guía de gestión de calidad del Agua para Diálisis*. dirección: http://www.fnr.gub.uy/sites/default/files/publicaciones/FNR_guia_dialisis.pdf.
- [4] “10 de marzo - Día Mundial del Riñón: “Cerrar la brecha del conocimiento para lograr una mejor atención en salud renal.” Consultada el 09/10/2022. (), dirección: <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/noticias/10-marzo-dia-mundial-del-rinon-cerrar-brecha-del-conocimiento-para-lograr#:~:text=Se%5C%20estima%5C%20que%5C%20el%5C%20diez,con%5C%20un%5C%20trasplante%5C%20renal%5C%20funcionando..>
- [5] “Decreto número 410/008, regulación de la actividad de los centros y servicios de hemodiálisis crónica ambulatoria y diálisis peritoneal.” Consultada el 09/10/2022. (), dirección: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/410-2008>.
- [6] “Hemodiálisis y diálisis peritoneal.” Consultada el 24/09/2022. (), dirección: <https://fundacionrenal.com/contenido/hemodialisis-y-dialisis-peritoneal-2/>.
- [7] “Ilustraciones. Comparación de la hemodiálisis y la diálisis peritoneal.” PAGINA NO ENCONTRADA Consultada el 24/09/2022. (), dirección: <https://www.msmanuals.com/es/hogar/multimedia/figure/comparaci%C3%B3n-de-la-hemodi%C3%5Cnewline%A1llisis-y-la-di%C3%A1llisis-peritoneal>.
- [8] MERCOSUR, *Directrices para la organización y el funcionamiento de los servicios de diálisis MERCOSUR/GMC/RES. N° 11/08*.
- [9] Consultada el 24/09/2022. (), dirección: <https://hemodialysis.tech/dializadores-en-la-hemodialisis-reproceso-para-que-sea-seguro-para-el-paciente-y-economicamente-viable-punto-de-vista-para-mexico/#:~:text=El%20reprocesamiento%20de%20los%20dializadores,2010%2C%20inciso%205.3.8.4..>
- [10] Consultada el 24/09/2022. (), dirección: <https://es.wikipedia.org/wiki/HBsAg>.
- [11] “Sociedad Española de Nefrología, Nefrología al día.” Consultada el 24/09/2022. (), dirección: <https://www.nefrologiaaldia.org/es-articulo-monitores-hemodialisis-266>.
- [12] García, Rafael, Rodríguez y Patrocinio, “Tratamiento del agua para hemodiálisis, Nefrología al día,” en vol. 1, cap. 19.
- [13] J. Lobo, *Hemodiálisis*.
- [14] Consultada el 25/09/2022. (), dirección: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>.
- [15] FNR, *Guía para el diseño de la unidad de hemodiálisis*, 2007.
- [16] Consultada el 5/10/2022. (), dirección: <https://adasa.com.mx/blog/arena-silica-vs-zeolita/>.