



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
UNIDAD DE HEMODIÁLISIS**

Erick Fernando Mazariegos García

Asesorado por el Ing. Julio Roberto Echeverría Reyes

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
UNIDAD DE HEMODIÁLISIS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERICK FERNANDO MAZARIEGOS GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. JULIO ROBERTO ECHEVERRÍA REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

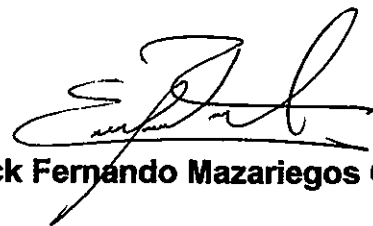
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Sergio Torres Hernández
EXAMINADOR	Ing. Welder Uliser Vargas Pérez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 16 de febrero de 2011.



Erick Fernando Mazariegos García

Guatemala, 4 de Septiembre de 2012

Ingeniero
Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

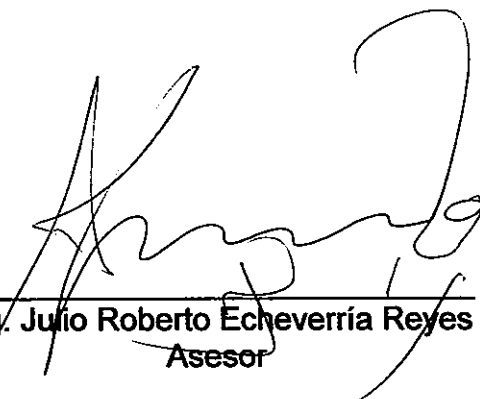
Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que como asesor he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado **"MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS"**, del estudiante ERICK FERNANDO MAZARIEGOS GARCÍA, el cual he encontrado satisfactorio.

Por lo anterior expuesto, solicito darle el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano su colaboración, me suscribo cordialmente.

Atentamente



Ing. Julio Roberto Echeverría Reyes
Asesor

Julio Roberto Echeverría Reyes
Ingeniero en Electrónica, Informática
y Ciencias de la Computación
Colegiado No. 5713

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Complementaria, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS** del estudiante **Erick Fernando Mazariegos García**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

**Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área**



Guatemala, septiembre de 2012 .

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado **MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS**, del estudiante **Erick Fernando Mazariegos García**, procede a la autorización del mismo

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, abril de 2013



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MANTENIMIENTO MECÁNICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Fernando Mazariegos García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Ríos

Decano



Guatemala, 12 de abril de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Berta Elizabeth García Polanco, por darme la vida, siempre cuidar de mí, haberme apoyado incondicionalmente en todo momento y nunca dejar de creer que esto fuera posible. Gracias madre.

Mi hermana

Brenda Elizabeth Mazariegos García, por ser el ejemplo perfecto de una hermana de la cual aprendo y me guío, gracias por todo tu apoyo, esfuerzo, sacrificio y paciencia.

Mi sobrina

Ivanna Sofía Parada Mazariegos, por haber traído felicidad a mi vida y ser esa fuerza y motivo para querer mejorar cada día.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por haberme brindado los conocimientos para formarme como profesional.
Ing. Julio Echeverría	Por ayudarme en la elaboración de mi tesis.
Ing. Julio Ajanel	Por permitirme realizar mis prácticas finales en el Departamento de Mantenimiento del Hospital General San Juan de Dios.
Mis amigos	Por la amistad, cariño y ayuda incondicional mostrada a lo largo de todos estos años, en especial a Mario Roberto Gómez, Edgar Yanuario Laj y Ernesto Zuncar que forman parte importante de esta meta lograda.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS/JUSTIFICACIÓN.....	XV
METODOLGÍA.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Insuficiencia renal.....	1
1.1.1. Fracaso renal agudo.....	3
1.1.2. Insuficiencia renal crónica	3
1.1.3. Enfermedad hipertensiva renal.....	3
1.1.4. Síndrome nefrótico	4
1.1.5. Anomalías tubulares específicas	4
1.2. Hemodiálisis	4
1.3. Conexión de pacientes a equipos.....	5
1.3.1. El catéter intravenoso	6
1.3.2. La fístula intravenosa.....	6
1.3.3. Injerto intravenoso	6
1.4. El riñón artificial	7
1.4.1. Principio de operación	9
1.5. Características óptimas del agua de entrada a la Unidad de Hemodiálisis	14
1.5.1. Calidad del agua.....	14
1.5.2. Razones de la contaminación del agua	14

	1.5.2.1.	Contaminación bacteriana.....	15
	1.5.2.2.	Contaminación pirógena.....	15
	1.5.2.3.	Contaminación química.....	16
1.5.3.		Tratamiento del agua	17
	1.5.3.1.	Sistema de tratamiento de agua para hemodiálisis.....	18
	1.5.3.2.	Equipos de purificación del agua.....	19
2.		DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS.....	23
2.1.		La Unidad de Hemodiálisis Nipro, modelo Surdial	23
	2.1.1.	Especificaciones técnicas.....	24
2.2.		Definición de términos.....	27
2.3.		Descripción por módulos.....	32
	2.3.1.	Módulo del panel de operación	33
	2.3.2.	Módulo de la fuente de poder.....	39
2.4.		Circuito extracorpóreo (panel de la línea de sangre)	42
2.5.		Circuito dializante.....	44
2.6.		Proceso de limpieza.....	49
	2.6.1.	Limpieza externa.....	49
	2.6.2.	Limpieza y desinfección interna	50
3.		PROPUESTA DE MANUAL DE MANTENIMIENTO	53
3.1.		Mantenimiento del equipo de hemodiálisis.....	53
3.2.		Mantenimiento preventivo	53
	3.2.1.	Mantenimiento preventivo por el operador	54
	3.2.2.	Mantenimiento preventivo por el ingeniero mecánico.....	55
	3.2.2.1.	Área de encendido	55
	3.2.2.2.	Revisión de sensores	56

	3.2.2.2.1.	Sensores de presión.....	57
	3.2.2.2.2.	Sensor de fuga de sangre.....	58
	3.2.2.2.3.	Sensor de burbujas.....	60
	3.2.2.2.4.	Sensor de temperatura ...	61
	3.2.2.2.5.	Sensor de la celda de conductividad.....	62
	3.2.2.3.	Ultrafiltración.....	63
	3.2.2.4.	Chequeo de la exactitud del rango de infusión de la bomba de heparina.....	64
	3.2.2.5.	Chequeo de la exactitud del rango de flujo en la bomba de sangre.....	65
	3.2.3.	Mantenimiento por el ingeniero biomédico	67
3.3.		Mantenimiento correctivo.....	67
	3.3.1.	Causas más comunes de las fallas	68
	3.3.2.	Corrección de fallas	69
	3.3.2.1.	Fallas de temperatura	70
	3.3.2.2.	Fallas de presión	71
	3.3.2.3.	Falla en la presión transmembrana	72
	3.3.2.4.	Error en la conductividad del dializante	73
	3.3.2.5.	Fugas de sangre.....	73
	3.3.2.6.	Presencia de burbujas de aire	74
	3.3.2.7.	Falla en el calentador	74
	3.3.2.8.	Fallas en el suministro de agua	74
	3.3.2.9.	Error en el rango del flujo del dializante	75
	3.3.2.10.	Problemas de operación en la bomba de sangre.....	76

3.3.2.11.	Falla en la ultrafiltración	76
3.3.2.12.	Falla de operación en la bomba de heparina	77
3.3.2.13.	Otras fallas menos comunes	77
3.4.	Pruebas mecánicas.....	78
3.4.1.	Bomba de sangre	79
3.4.2.	Bombas viscosas (acetato y bicarbonato)	79
3.4.3.	Bomba de heparina	80
3.4.4.	Conectores para las mangueras de los dializantes	80
3.4.5.	Trampas	80
3.4.6.	Compartimientos hidráulicos	80
3.4.7.	Interface hidráulica-eléctrica.....	81
3.5.	Pruebas electrónicas.....	81
3.6.	Propuesta de mejoras alternativas	82
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES		85
BIBLIOGRAFÍA.....		87
ANEXOS.....		89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Persona recibiendo tratamiento de hemodiálisis	5
2.	Accesos al torrente sanguíneo	7
3.	Máquina de hemodiálisis (riñón artificial).....	8
4.	Diagrama de operación de una máquina de hemodiálisis.....	13
5.	Efectos clínicos de los contaminantes químicos	17
6.	Sistemas de tratamiento.....	18
7.	Sistema de tratamiento de agua.....	20
8.	Unidad de Hemodiálisis Nipro modelo Surdial	24
9.	Panel de operación	34
10.	Fuente de poder	40
11.	Panel de la línea de sangre.....	42
12.	Frente y lado derecho de la máquina	44
13.	Parte trasera e izquierda de la máquina.....	45
14.	Diagrama del circuito chequeador de la corriente de escape.....	56
15.	Disposición de las partes para chequear la exactitud del sensor de presión venosa o arterial	57
16.	Disposición de las partes para chequear la exactitud del sensor de presión del dializante.....	58
17.	Remoción del sensor de fuga de sangre de su base	59
18.	Pantalla que indica la acción de mantenimiento en el modo 1	59
19.	Ubicación y vista frontal del sensor de fuga de sangre	60
20.	Disposición de las partes para medir la exactitud del sensor de temperatura	62

21.	Montaje para chequear la exactitud de la celda de conductividad	63
22.	Montaje para chequear la exactitud de UF	64
23.	Disposición de las partes para medir el rango de infusión de la bomba de heparina	65
24.	Disposición de las partes para medir la exactitud del rango de flujo de la bomba de sangre	66
25.	Pantalla de control con error de operación	69

TABLAS

I.	Condiciones óptimas del agua de entrada a la máquina de hemodiálisis	22
II.	Composición de un líquido de diálisis	32

GLOSARIO

Ácido úrico	Compuesto orgánico, producto de desecho del metabolismo del nitrógeno en el cuerpo humano que se encuentra en la orina en pequeñas cantidades.
Acidosis metabólica	Patología que aparece cuando las pérdidas de bicarbonato plasmático en el dializado son más rápidas que la conversión de acetato en bicarbonato cuando se realiza la hemodiálisis.
Anemia	Enfermedad de la sangre caracterizada por la disminución anormal en el número de glóbulos rojos o en su contenido en hemoglobina.
Bacteria	Organismo de una sola célula, capaz de reproducirse de una forma muy rápida. Están en todas partes, algunas son inofensivas y otras son responsables de producir importantes infecciones.
Biocompatibilidad	Es la buena coexistencia de un órgano que ha sido sustituido con el resto de órganos y sistemas que componen el cuerpo.

Calcio	Elemento mineral que se encuentra en el organismo, que es muy importante para el crecimiento y formación de huesos, coagulación sanguínea, funcionamiento nervioso y muscular, además de la activación de enzimas necesarias en el metabolismo.
Carbohidratos	Sustancias que provienen de los alimentos y son utilizados por el organismo para producir energía, el azúcar es un ejemplo.
Catabólico	Son los elementos que resultan de la fase degradativa del metabolismo, los desechos en las reacciones químicas dentro del organismo.
Cloramina	Compuesto químico utilizado comúnmente en bajas concentraciones como desinfectante secundario en los sistemas municipales de distribución de agua, como una alternativa a la cloración de cloro libre.
Coloide	Sustancia química no dializable, con tendencia espontánea a formar coágulos. Tienen apariencia gelatinosa.
Creatinina	Producto de desecho de los músculos que de forma habitual se elimina por los riñones. En pacientes con insuficiencia renal aumenta su concentración en la sangre, lo cual generará problemas al paciente.

Edema	Hinchazón debida a un aumento excesivo de líquido en los tejidos del cuerpo.
Electrólitos	Sustancias que al disolverse en el agua de las células del cuerpo se rompen en pequeñas partículas que transportan cargas eléctricas. El papel que juegan es el de mantener el equilibrio de los fluidos en las células, los principales son el sodio, potasio, cloro, calcio, magnesio y bicarbonato.
Endotoxina	Toxinas liberadas por la ruptura de las paredes de las bacterias al morir.
Enfermedad políquística renal	Enfermedad de tipo hereditario que desarrolla quistes (vejiga membranosa de contenido líquido) en los riñones.
Gérmes gram negativos	Bacteria que se tiñe de rosado por la prueba de tinción de gram, en este caso son responsables de diferentes tipos de enfermedades.
Glomerulonefritis	Inflamación de los glomérulos.
Glomérulos	Componentes del riñón que actúan como filtros.
Heparina	Anticoagulante que se utiliza en hemodiálisis para evitar coágulos de sangre dentro del dializador.

Hipocalcemia	Afección en la que los niveles de calcio en la sangre se encuentran bajos.
Hongo	Especies del reino vegetal que comprenden gran número de formas, muchas de ellas son patógenas (que causan enfermedades), algunas microscópicas se encuentran en el agua y soluciones.
Hormona	Sustancia que regula el funcionamiento de distintos órganos.
Infección	Invasión del organismo por un microorganismo, con lo que se crea un proceso de enfermedad debido a su presencia y/o proliferación.
Metabolismo	Cambios físicos y químicos que ocurren en el organismo al ingerir los alimentos con la finalidad de producir energía.
Minerales	Substancias inorgánicas necesarias para el normal funcionamiento del organismo, pero tóxicas en altas concentraciones para pacientes con insuficiencia renal.
Nefrona	Unidad del riñón que mantiene el balance químico en el organismo. Hay aproximadamente 1 millón de nefronas en cada riñón.
Nefropatía	Enfermedad de los riñones en general.

Ósmosis	Movimiento de un fluido a través de una membrana semipermeable, para conseguir la misma concentración de una determinada sustancia en ambos lados de dicha membrana.
Parénquima renal	Tejido funcional del riñón formado por la corteza y las pirámides renales.
Pericarditis	Enfermedad producida por la inflamación del pericardio, que es la capa que cubre al corazón.
Potasio	Elemento necesario para que el organismo tenga una función nerviosa, muscular y mantenimiento celular normal, en la insuficiencia renal puede acumularse en exceso y llegar a ser mortal.
Proteína	Sustancias nitrogenadas que se hallan en el organismo y son esenciales para la vida, tienen funciones estructurales y de regulación.
Sodio	Elemento que se encuentra en el organismo y que ayuda a regular el contenido de líquido en el cuerpo. Es un componente de la sal.
Urea	Producto de desecho nitrogenado formado por la transformación de las proteínas en el organismo.

Uremia

Aumento de los productos de desecho dentro del organismo debido a la incapacidad de los riñones para excretarlos.

RESUMEN

La insuficiencia renal, es una enfermedad que afecta al riñón provocando que no pueda realizar las funciones de eliminar desechos, toxinas y fluidos de la sangre, que finalmente llevaran al desarrollo de enfermedades que pueden provocar la muerte. Las máquinas de hemodiálisis suplen de una manera artificial este tipo de funciones.

El propósito del presente trabajo de investigación es dar una visión general del funcionamiento de una máquina de hemodiálisis, haciendo énfasis en el correcto funcionamiento de estas con base en la implementación de un manual de mantenimiento interno y externo, tanto preventivo como correctivo, además de señalar factores que intervienen directamente en su funcionamiento como lo son la calidad del agua de entrada a la máquina y el adecuado uso de suministros.

Para la elaboración de este manual se hizo investigación con base en una máquina de modelo y marca específica, ubicada en el área de Hemodiálisis del Hospital General San Juan de Dios, asistiendo a sesiones de hemodiálisis, chequeo y reparación por parte de personal de la empresa encargada del mismo, observando los procedimientos de operación del equipo, valores fisiológicos del paciente y parámetros médicos involucrados.

Todo ello con el propósito de ayudar tanto a operadores y técnicos, así como a profesionales de la Ingeniería Mecánica y con especialidad Biomédica, además de garantizar al paciente desde el punto de vista mecánico la confiabilidad y seguridad en el desarrollo de la sesión.

OBJETIVOS

General

Proponer los procedimientos necesarios para realizar mantenimiento mecánico, para el funcionamiento de una máquina de hemodiálisis.

Específicos

1. Describir y elaborar procedimientos de mantenimiento, para el correcto funcionamiento del sistema interno de la máquina de hemodiálisis marca Nipro, modelo Surdial.
2. Implementar un manual para controlar los procedimientos necesarios de operación correcta de la máquina de hemodiálisis.
3. Especificar las guías de las pruebas de óptimo funcionamiento.
4. Identificar las fallas más comunes en la máquina de hemodiálisis.

JUSTIFICACIÓN

Cada año aproximadamente 175 adultos por cada millón desarrollan algún tipo de enfermedad renal debido a diferentes causas, esto quiere decir que en Guatemala alrededor de 2 600 personas se suman anualmente a la necesidad de utilizar un riñón artificial. Este tipo de tratamiento tiene un costo elevado por cada sesión en hospitales o sanatorios privados, lo cual hace que mucha gente de escasos recursos se avoque a instituciones públicas que las brindan de una manera mucho más económica o sin costo alguno.

Los problemas económicos, políticos y sociales de la nación afectan al abastecimiento de los recursos utilizados, de allí surge la gran importancia de mantener en buenas condiciones las unidades disponibles para este tipo de tratamiento en las instituciones de salud públicas, mediante la implementación de un adecuado programa de mantenimiento que les permita trabajar de una manera adecuada y continúa, manteniendo los estándares de calidad para el paciente y la institución.

La mayoría de información acerca de este tipo de maquinaria se encuentra restringida a técnicos especializados de las empresas que fabrican y distribuyen las máquinas. Se pretende con esto dar cobertura a estudiantes y profesionales de la Ingeniería Mecánica que se desarrollen en el área de equipo médico, operadores, enfermeros y todo el personal que se vea directamente involucrado en el desarrollo de una sesión de hemodiálisis, con el fin de no poner en peligro la integridad de los pacientes.

METODOLOGÍA

Se hará uso del método científico como el proceso universal de investigación, utilizando varias de sus ramas como el método sistémico, de observación científica y analogías en función de obtener los resultados esperados.

Técnicas de investigación:

La investigación será descriptiva y explicativa, por medio de la observación directa con el apoyo de personal de operación y mantenimiento, consulta de manuales existentes de las unidades, evaluación personal del funcionamiento y procedimiento en sesiones de hemodiálisis.

Estrategias para el desarrollo del proyecto:

1. El estudio involucra directamente una maquinaria de modelo específico, con ocasionales aportaciones de máquinas de marca y modelos diferentes, como una forma meramente comparativa de su funcionamiento.
2. La aportación de conocimientos técnicos y científicos se dará con la ayuda de manuales, operadores, técnicos y administradores de la empresa encargada de la importación, distribución y mantenimiento de las máquinas de hemodiálisis, además de personal hospitalario y pacientes.

INTRODUCCIÓN

El equilibrio químico del cuerpo depende en gran parte del funcionamiento de dos órganos llamados riñones. Los riñones sanos eliminan los productos de desecho y el agua sobrante del organismo en forma de orina. Estos productos de desecho son sustancias formadas por la descomposición de las proteínas de los alimentos que comemos y de la actividad muscular.

Toda la sangre del organismo pasa por los riñones cada dos minutos, pero los riñones tienen además otras funciones, fabrican unas sustancias llamadas hormonas que ayudan a la producción de glóbulos rojos, contribuyen a que los huesos estén fuertes y mantienen la presión sanguínea bajo control; la supervivencia depende de estos órganos vitales. Cuando los riñones fallan, los productos de desecho se acumulan y hacen sentir enfermas a las personas. Esta acumulación de productos de desecho se denomina Uremia y se dice que se tiene una insuficiencia renal que puede ser aguda o crónica.

No muchos años atrás la detección de una falla renal era el equivalente a una sentencia de muerte, pero el riñón artificial ha venido a provocar un cambio en esta situación desde 1926 cuando se realizó la primera sesión de diálisis, este reemplazo se da a partir de que el riñón pierde alrededor del 50% de sus funciones. El filtrado de la sangre se hace de una manera artificial y extracorpórea, es decir fuera del cuerpo y se le conoce como Hemodiálisis, es una técnica médica que con la ayuda de una membrana sirve para filtrar los productos de desecho de la sangre. La máquina contiene componentes hidráulicos, mecánicos y eléctricos que necesitan de constante supervisión y mantenimiento. Además depende en gran medida de la calidad de agua que

llega hacia ella, ya que por medio de esta se introducen los componentes que restablecerán el equilibrio del organismo.

Mediante una serie de investigaciones y recopilación de datos directamente de la sala de Hemodiálisis, se fabricará un manual de seguimiento de conservación de la máquina Nipro modelo Surdial, colocada en tres ambientes distintos dentro del Hospital General San Juan de Dios, para el uso del personal involucrado en el Departamento de Hemodiálisis.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Insuficiencia renal

La cantidad de agua en una persona promedio es alrededor del 57% de su peso total, y esta constituye en gran parte los líquidos orgánicos que se encuentran dentro del cuerpo humano, que son muy importantes para el funcionamiento básico corporal, estos a su vez pueden dividirse en líquidos extracelular y líquidos intracelular, que están relacionados directamente con el sistema renal. La función de los riñones es conservar el volumen y composición del líquido extracelular (que se encuentran fuera de las células y está en un proceso de mezcla constante) dentro de unos límites normales, mediante la excreción de líquidos, electrolitos, sales y otros elementos resultantes del metabolismo que son dañinos para el organismo a través de la orina, por medio de la presión del torrente sanguíneo, así como también de mantener una presión arterial normal y fabricar sustancias necesarias para el organismo.

El término insuficiencia renal se aplica a una pérdida de las capacidades del riñón para excretar los residuos, concentrar la orina y conservar los electrolitos, en casos severos se hace necesaria la intervención quirúrgica con los trasplantes de riñones, pero existen casos en los que esto no es posible por problemas asociados a la escasez de donantes, la biocompatibilidad de los órganos y los altos costos que involucran, lo cual va a limitar su aplicación en la mayoría de los pacientes, es entonces cuando se requiere la utilización de la técnica medica conocida como diálisis, palabra que significa depuración y consiste básicamente en un filtrado artificial de la sangre con la ayuda de algún tipo de membrana semipermeable y la infusión de soluciones especiales que

contribuyen a la eliminación de las toxinas, productos de desecho y exceso de líquido. Según el tipo de membrana que se utilice la diálisis se llama hemodiálisis (dializador) o diálisis peritoneal (membrana peritoneal), de estos dos procedimientos la hemodiálisis ofrece menos complicaciones y mayor facilidad de aplicación, la cual es objeto de este estudio.

Los riñones hacen mucho más que eliminar desechos y líquido innecesario, también producen hormonas y equilibran ciertas sustancias químicas del cuerpo. Cuando los riñones dejan de funcionar, se pueden tener problemas de anemia y afecciones que afectan los huesos, los nervios y la piel. Algunas de las afecciones más comunes causadas por la insuficiencia renal son cansancio extremo, problemas en las articulaciones, comezón y el síndrome de las piernas inquietas, el cual le quitará el sueño porque sentirá que brincan y se mueven solas.

Conforme la insuficiencia va siendo más severa, ciertos compuestos cuya excreción depende fundamentalmente de la filtración glomerular, se irán acumulando en la sangre y en todos los líquidos corporales; compuestos nitrogenados tales como la urea, creatinina y ácido úrico; minerales como fosfatos, sulfatos y potencialmente sodio y magnesio, frecuentemente también se acumula agua (sobrehidratación), lo que normalmente dará como resultado un edema que por lo regular puede ser más notable en los tobillos, manos y cara, dificultad al respirar o sobreesfuerzo cardíaco. Además se acumularán sustancias que normalmente son secretadas por las células tubulares como iones hidrógeno (cuya acumulación conducirá a acidosis metabólica) y potencialmente potasio. Los síntomas clásicos de la uremia son malestar general, debilidad, náusea y vómito, que conforme progresa la enfermedad pueden aparecer también prurito, pericarditis, temblor y convulsiones.

Una gran variedad de causas son las que pueden provocar esta disfunción en los riñones, pero las podemos clasificar en 5 diferentes tipos de enfermedades renales:

1.1.1. Fracaso renal agudo

En el que la función renal se interrumpe rápida y casi completamente de una forma inesperada, es más una entidad clínica que patológica, es una situación en la que un paciente pierde la función renal en forma aguda y temporal debido a una circunstancia, objeto o un agente que ha lesionado el riñón. El período de recuperación es gradual, y dura de unos días a varias semanas.

1.1.2. Insuficiencia renal crónica

Con una pérdida progresiva de nefronas hasta que los riñones dejan de hacer su función y describe una disminución crónica importante en el índice de filtración glomerular que generalmente es irreversible. Estos son los pacientes candidatos a la hemodiálisis, las causas son numerosas e incluyen cualquier enfermedad que produce destrucción progresiva del parénquima renal, como la glomerulonefritis crónica, nefropatía diabética, la hipertensión y la enfermedad renal poliquística.

1.1.3. Enfermedad hipertensiva renal

En la que determinadas lesiones vasculares o glomerulares, producen hipertensión pero no insuficiencia renal.

1.1.4. Síndrome nefrótico

Se caracteriza por un incremento de la permeabilidad de los glomérulos, perdiéndose grandes cantidades de proteínas por la orina.

1.1.5. Anomalías tubulares específicas

Tienen una reabsorción anormal o bien una falta de reabsorción de determinadas sustancias.

1.2. Hemodiálisis

Se le llama hemodiálisis a la técnica de hacer pasar la sangre de una manera extracorpórea a través de una membrana delgada sumergida en un líquido diálisis, que es una solución formada por una mezcla en una proporción de 34 partes de agua, 1 parte de ácido y 1,83 de bicarbonato (proporción utilizada específicamente en la máquina Nipro, modelo Surdial), con el propósito de eliminar agua en exceso, urea, potasio, creatinina y otras proteínas cuando los riñones son incapaces de hacerlo en forma normal a través de la orina.

La membrana separa el circuito extracorpóreo en dos partes: el circuito de sangre y el circuito del líquido de diálisis, los glóbulos rojos, glóbulos blancos y las proteínas permanecerán en la sangre, pues el tamaño de estos les impide pasar a través de la membrana y los productos que se desean desechar de tamaño más pequeño se filtran y son difundidos en la solución diálisis. La eficacia de estos tratamientos es muy efectiva, pues una persona normal ingiere alrededor de 12 a 15 litros de agua por semana y aquí se expone al paciente alrededor de 540 litros semanales en sesiones de 4 horas, regularmente 3 veces por semana, aunque la cantidad y el tiempo varían con respecto a las

condiciones del paciente, en todo caso el nefrólogo (médico especialista en riñones) es el que especificará los parámetros para ajustar la unidad de diálisis, el tamaño del dializador, la tasa de flujo de sangre en diálisis, la tasa de flujo del dializado y la duración de las sesiones.

Figura 1. **Persona recibiendo tratamiento de hemodiálisis**



Fuente: kidney.niddk.nih.gov. Consulta: 19 mayo de 2011.

1.3. **Conexión de pacientes a equipos**

Para establecer el acceso al flujo intravenoso se llevará a cabo una cirugía menor con un tiempo prudencial de anticipación hecha por un cirujano vascular, el cual determinara el mejor acceso para las necesidades de cada paciente, las cuales se verán influenciadas por factores como el tiempo que dure la falla renal y la condición que en que se encuentre su sistema circulatorio, pudiendo elegir entre tres modos primarios:

1.3.1. El catéter intravenoso

Consiste en una sonda de plástico con dos orificios, que es insertada en una vena grande del cuello o tórax (cava, yugular o femoral), en el que por un orificio sale el flujo de sangre que entra al circuito de diálisis, y una vez purificado vuelve por el otro orificio. Se utilizan regularmente durante periodos cortos que van de días a varios meses, pues se infectan a menudo ya que este al ser un cuerpo extraño dentro de la vena, provoca una reacción inflamatoria en la pared de la vena, que puede resultar en una cicatriz y un estrechamiento de la vena que puede llegar a obstruirla (estenosis), este acceso a la máquina de hemodiálisis no requiere de agujas.

1.3.2. La fístula intravenosa

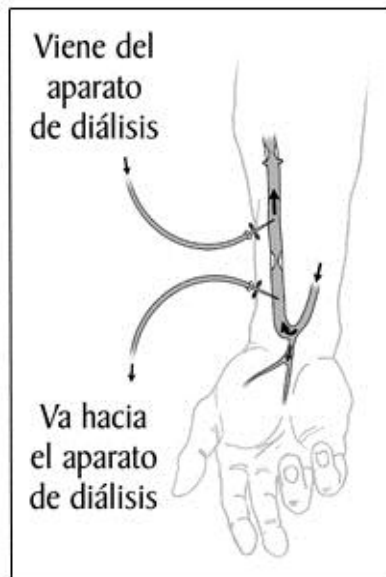
En este caso el cirujano vascular junta una arteria y una vena cercanas, generalmente arriba de la muñeca del brazo menos diestro y así la sangre fluye en una tasa más alta a través de esta. Se deja madurar de 4 a 6 semanas, para poder insertar 2 agujas, una para drenar la sangre y llevarla a la máquina de hemodiálisis y la otra para devolverla. Es el método más utilizado, pues tiene índices muy bajos de infección porque no presenta material extraño en su formación, un caudal más alto de sangre y una larga duración.

1.3.3. Injerto intravenoso

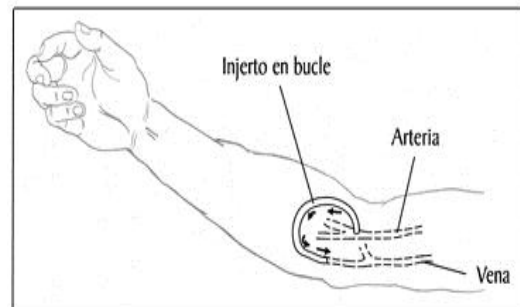
Es parecido a la fístula ya que se une la arteria y la vena, pero por medio de una vena artificial hecha de un material sintético, que consiste en un tubo blando de plástico que queda por debajo de la piel (injerto). Estos se utilizan debido a que los vasos sanguíneos no son adecuados para realizar la fístula, maduran más rápidamente pero tienen riesgo de desarrollar estrechamiento y

como consecuencia la coagulación de los vasos sanguíneos (trombosis). Pueden ser colocados en el muslo, brazo o cuello.

Figura 2. **Accesos al torrente sanguíneo**



Fístula Arteriovenosa



Injerto Arteriovenoso

Fuente: kidney.niddk.nih.gov. Consulta 19 de mayo de 2011.

1.4. **El riñón artificial**

Es la maquinaria encargada de suplir las funciones del riñón. Lo hace mediante el bombeado y mezclado de la sangre con el líquido de diálisis, cuya función principal es la de eliminar los elementos tóxicos para el cuerpo del paciente. Compuesta en su totalidad por componentes neumáticos, electrónicos y mecánicos que en la actualidad podemos encontrar en diferentes marcas y modelos altamente computarizados que monitorean continuamente parámetros críticos de seguridad como:

- Tasa de flujo y presión de la sangre
- Tasa de flujo del líquido de diálisis
- Ritmo cardíaco del paciente
- La conductividad del químico dializante
- Temperatura de la sangre
- Fugas de sangre
- El Ph del agua
- Niveles
- Y la correcta secuencia del procedimiento de diálisis

Cualquiera de estos parámetros que presente una lectura anormal será detectado por medio de una serie de alarmas que indicaran a la persona encargada para su respectiva revisión, a fin de no poner en peligro la sesión o vida del paciente. En tal sentido el mantenimiento del equipo, desarrollado técnicamente constituye una actividad de primera importancia para el buen funcionamiento de un sistema en particular.

Figura 3. **Máquina de hemodiálisis (riñón artificial)**



Fuente: medicalexpo.es. Consulta: 25 mayo de 2011.

1.4.1. Principio de operación

El principio básico del proceso de hemodiálisis es el intercambio de agua y sales entre la sangre y un líquido dializante a través de un filtro hemodializador que está fabricado con un elemento sintético biocompatible llamado membrana semipermeable que elimina los desechos dañinos y los líquidos indeseables. La sangre se bombea a lo largo de uno de los lados de la membrana por medio de una bomba que extrae la sangre del paciente a través de una línea arterial y la lleva al filtro, para luego retornarla al cuerpo por medio de una línea venosa, el flujo de sangre se regula por la velocidad de giro de la bomba y debe controlarse de manera que el flujo corresponda al valor fijado por el médico, así mismo en este circuito sanguíneo se utilizan dos manómetros para medir la presión diferencial a la entrada y salida del filtro, mientras que el dializante se bombea en dirección opuesta y esto proporciona el llamado flujo de contracorriente.

A través de la membrana existe un adecuado gradiente de presión entre la cámara sanguínea y la cámara de líquido dializante, así como una diferencia de concentración que favorece la difusión y eliminación del agua, este gradiente de presión se conoce como presión transmembrana (PMT) y puede controlarse a través de una micro bomba colocada a la salida del filtro en el lado del circuito de líquido dializante. Simultáneamente con el flujo de dializante se extrae sangre de la arteria del paciente y se agrega la solución salina para cebar el sistema y elevar la presión por medio de la bomba, se adiciona heparina para evitar la coagulación, y la sangre fluye hacia la membrana.

Las diferencias de presión pueden causar fugas, y es parte del trabajo del ingeniero el moderar estas presiones y del operador vigilar si hay sangre en el dializado que sale del riñón artificial, aunque actualmente las máquinas de

hemodiálisis son capaces de detectar por si solas y alarman en casos que se presente este fenómeno. Lo que debe apreciarse es que el área real de la membrana es muy grande para permitir una diálisis rápida, un riñón normal tendrá un área de membrana de aproximadamente un metro cuadrado, pero es difícil comparar esto con un riñón humano debido a la naturaleza multifuncional del sistema humano, pero en cualquier caso el riñón humano es mucho más eficiente.

En la mayoría de los casos la solución de diálisis, también conocida como dializante, está formado por agua purificada, es el líquido dentro del dializador que ayuda a eliminar los desechos y líquido innecesario de la sangre, contiene sustancias químicas como sales, glucosa y otro tipo de sustancias que la hacen actuar como si fuese una esponja que contiene el valor osmótico propio del cuerpo en condiciones normales, de esta manera al absorber las toxinas y demás sustancias a eliminar el líquido diluido no absorbe también las sales y los minerales que deben permanecer en el cuerpo del paciente, ya que tanto el líquido como la sangre de éste tienen la misma concentración de sales y minerales, en cualquier caso el médico le dará la solución de diálisis específica para su tratamiento, que se puede ajustar dependiendo de cómo se maneje el tratamiento y de los análisis de sangre.

Está desionizada con una resina absorbente o de intercambio iónico, que retira los iones de calcio e introduce iones hidrógeno, los iones hidrógeno son neutralizados con los iones oxhidrilo, y el resultado se conoce como agua de alta pureza. La sangre al salir del cuerpo circula por un sistema de tubos y atraviesa el filtro, este circuito tiene una longitud cercana a los 3 metros, en el que la sangre puede enfriarse a niveles de temperatura no aceptables por el cuerpo humano y en tal sentido es importante mantener la temperatura de esta,

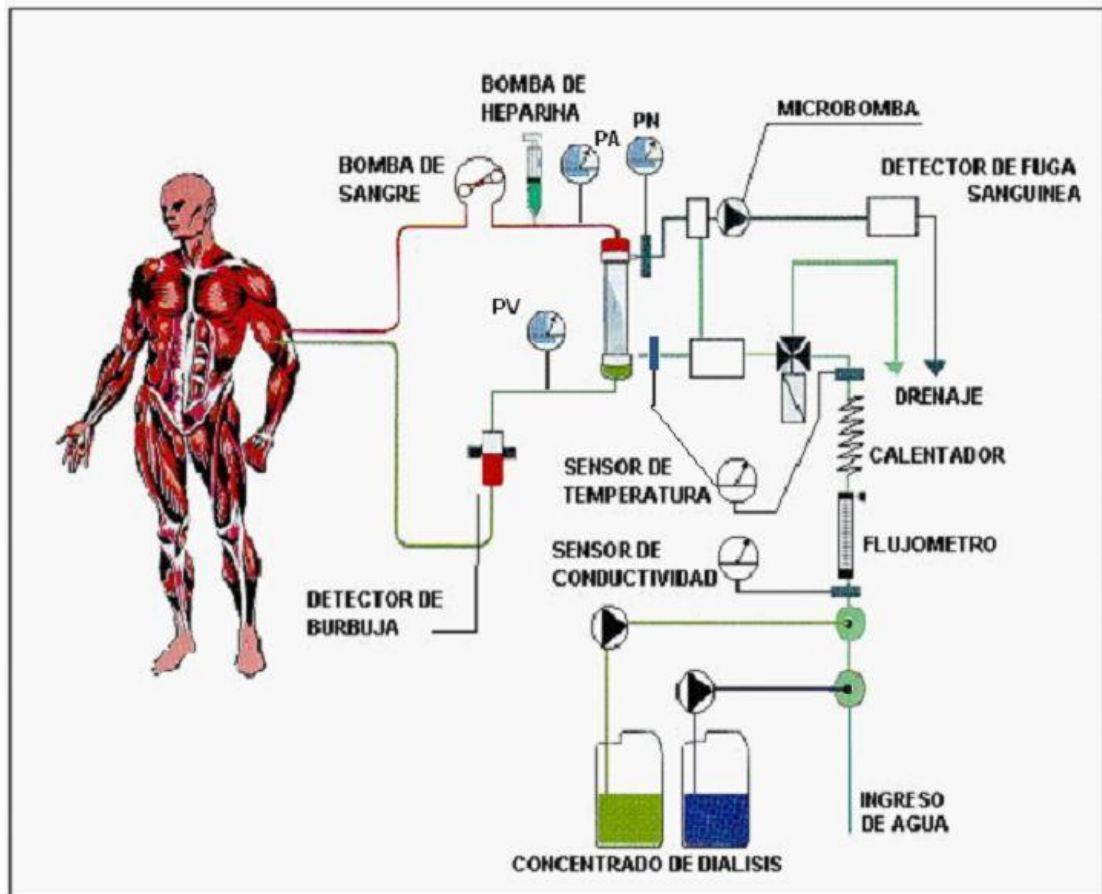
para lo cual se utiliza un calentador eléctrico que eleva la temperatura del líquido dializante y transfiere calor a la sangre a través del filtro.

Las alarmas que componen el sistema en la actualidad poseen la capacidad de detectar estas temperaturas no compatibles con la integridad del paciente, además de otros parámetros como el Ph de la concentración a medida que fluye hacia la celda de diálisis por si algo resultará contraproducente de lo programado por el ingeniero encargado del área, de acuerdo a las especificaciones proporcionadas o propuestas por el médico especialista en el caso, en los casos no compatibles el equipo se alarma y elimina el paso del dializante al paciente mediante un circuito llamado Bypass, que se encarga precisamente de permitir o evitar el paso del dializante dependiendo de las circunstancias que se presenten.

La solución de diálisis se coloca bajo un ligero vacío para acelerar la difusión y eliminar las burbujas de aire, entonces fluye a través del filtro y de allí al drenaje. No se hace ningún intento por volver a utilizar la solución de diálisis, a menos de que se cuente con el equipo adecuado para procesar el dializante contaminado (dializado) ya que hay mucho peligro de infección cruzada. Un detector en la línea verifica la presencia de sangre en el dializante y también cuenta con una alarma. Los escapes de sangre en el dializante son frecuentemente señal de que la membrana empieza a fallar. El siguiente paso es eliminar la espuma y las burbujas en la sangre (un detector de burbujas verifica que no pase ninguna de ellas). Lo principal que hay que recordar es que el dializante no es estéril y el paciente puede resultar lesionado si el flujo se bloquea en cualquier parte del circuito.

Existen alarmas de alta y baja presión, pero al igual que todos los aparatos mecánicos, puede no funcionar cuando se les necesita, el ingeniero encargado del área de Hemodiálisis debe de realizar actividades de adiestramiento al personal de operación y enfermería para los casos en los que la unidad falle, ya sea por alguna falla mecánica o por un corte en la energía eléctrica, en estos casos los operadores responsables deben de proporcionar la presión de manera manual, por lo menos hasta que el paciente pueda ser desconectado y este fuera de peligro. Los detectores de burbujas casi siempre son de dos tipos; los sistemas ópticos que detectan los cambios de transmisión luminosa cuando pasa una burbuja o los de tipo acústico, que detectan el cambio de energía acústica que pasa a través del tubo cuando circula por él una burbuja. El ajuste cuidadoso de estos sistemas y la observación adecuada para detectar burbujas o coágulos evitarán muchas dificultades.

Figura 4. Diagrama de operación de una máquina de hemodiálisis



Fuente: pacienteconhemodilisis.blogspot.com. Consulta: 25 de mayo de 2011.

1.5. Características óptimas del agua de entrada a la Unidad de Hemodiálisis

Con el fin de garantizar el buen funcionamiento de la máquina de hemodiálisis es necesario cumplir con ciertas condiciones preestablecidas del agua de entrada a la unidad.

1.5.1. Calidad del agua

Un paciente promedio sometido a hemodiálisis es expuesto a cerca de 2 200 litros de líquido dializante al mes, de aquí se desprende la importancia de la calidad del agua que es puesta en contacto con el torrente sanguíneo. Las impurezas que son insignificantes en el agua de beber, pueden llegar a ser fatales en cuanto al daño que pueden ocasionar en el paciente y equipo si se encuentran presentes en el líquido de diálisis, esta es la causa de la necesaria eliminación de todos los microorganismos e impurezas que se encuentran en el agua de alimentación. Una deficiente calidad del agua y los accesos al sistema intravenoso, son las causas principales de muerte en los pacientes de hemodiálisis, dejando a las infecciones en un segundo plano, además gérmenes gram negativos que producen endotoxinas, pueden atravesar la membrana de diálisis y provocar efectos negativos en la salud del paciente.

1.5.2. Razones de la contaminación del agua

Existen una gran cantidad de factores por la cual el agua puede presentar contaminantes en su recorrido desde la fuente principal hasta la entrada a la máquina de hemodiálisis, a continuación se numera alguna de ellas:

1.5.2.1. Contaminación bacteriana

El agua que es esencial para todo tipo de vida, es un medio necesario para el crecimiento bacteriano ya que contiene nutrientes y además su estabilidad térmica las provee de un ambiente controlado. El agua favorecerá el crecimiento bacteriano con la más mínima fuente disponible de nutrientes. La contaminación bacteriana se expresa como: Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/ml). Las UFC/ml se determinan mediante la incubación de muestras y la cuenta de las colonias que crecieron en un determinado período de tiempo, asumiendo que cada colonia se deriva de una bacteria. La cantidad máxima permitida de UFC/ml en el agua para hemodiálisis es de 200 y en el líquido de diálisis de 2 000.

1.5.2.2. Contaminación pirógena

Los pirógenos son sustancias que pueden producir fiebre en los mamíferos, son normalmente endotoxinas, compuestos orgánicos que se protegen con células de bacterias durante su crecimiento, o con los residuos de células muertas. El contenido de pirógenos se mide en Unidades Endotóxicas por mililitro (UE/ml). Los pirógenos representan un problema para las sesiones de hemodiálisis, ya que en grandes concentraciones pueden causar daños humanos desde fiebres, estados de *shock* y hasta la muerte. Actualmente se emplea la prueba de la Amebocita Limulus Lisate (LAL). Las endotoxinas empiezan a coagularse en presencia de un extracto de sangre de un cangrejo (Polifemulus Limulus). La prueba LAL puede detectar hasta 0,001 EU/ml. La prueba LAL se emplea solamente si hay una inquietud relacionada con endotoxinas en el agua final.

1.5.2.3. Contaminación química

Además existen agentes externos que le son agregados al agua por medio de la red de distribución o la empresa municipal encargada de proporcionarla. Estos pueden existir por diferentes razones y con diferentes grados de concentración, las cuales hacen inapropiada el agua para la alimentación de equipos de hemodiálisis, y entre ellas se tienen:

- El aluminio que se usa como floculante (elemento químico que sirve para aglutinar partículas en suspensión, provocando así su precipitación) en las aguas municipales.
- Las cloraminas se forman al combinarse el cloro añadido al agua de la red pública como bactericida, con el amonio añadido para reducir el olor y el sabor a cloro.
- El flúor se añade al agua urbana para prevenir la caries en la población.
- Los nitratos pueden aparecer como consecuencia de contaminación bacteriana o derivado del uso de fertilizantes en la agricultura.
- El cobre puede estar en elevada concentración por añadirse al agua de la red pública para eliminación de algas o por liberarse de las tuberías del sistema de distribución si el Ph es muy básico o muy ácido.
- El zinc está relacionado con el uso de hierro galvanizado en el sistema de tratamiento y distribución del agua.
- Los pesticidas utilizados en la agricultura pueden estar presentes en elevadas concentraciones en el agua de la red pública y deben por tanto ser eliminados.

Figura 5. **Efectos clínicos de los contaminantes químicos**

Efectos clínicos de los contaminantes químicos

Signos y síntomas	Contaminante
Anemia	Aluminio, Cloramina, cobre, zinc, formaldehído, nitratos
Enfermedades óseas	Aluminio, fluoruros
Hipertensión	Calcio, sodio
Hipotensión	Bacterias, endotoxinas, nitratos
Acidosis metabólica	Bajo pH, sulfatos
Debilidad muscular	Calcio, magnesio
Nausea y vómitos	Bacterias, calcio, cobre, endotoxinas, bajo pH, magnesio, nitratos, sulfatos, zinc
Deterioro neurológico y encefalopatías	Aluminio
Hemólisis	Cloraminas, cobre, nitratos, formaldehído

Fuente: Curso audiovisual tratamiento de agua para hemodiálisis (Nipro Corp.).

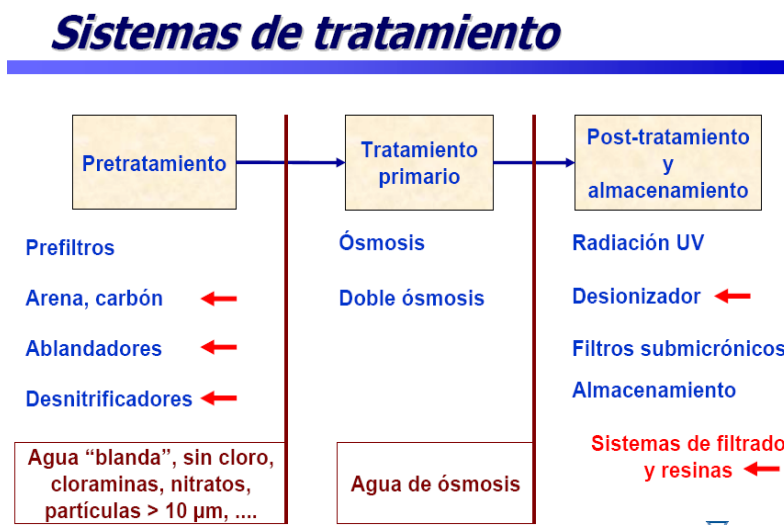
1.5.3. Tratamiento del agua

La composición o calidad del agua que es utilizada en todo el proceso de un tratamiento de hemodiálisis requiere de una primordial y especial atención, ya que al ser el principal vehículo por medio del cual se transmitirán los componentes necesarios para filtrar la sangre del paciente la convierte en el factor clave para el exitoso desarrollo de este y así poder evitar reacciones secundarias negativas en las personas que podrían llegar a contribuir en la aparición de complicaciones adicionales de salud como anemias, náuseas, vómitos, deterioro neurológico, hipertensión y hasta infartos. Por lo cual se hace necesaria la utilización de un tratamiento o método para alterar la composición o el comportamiento de una fuente de agua.

1.5.3.1. Sistema de tratamiento de agua para hemodiálisis

Es el conjunto de elementos que está conformado por los dispositivos de distribución y almacenamiento del agua, que van desde los depósitos, las tuberías, válvulas, mangueras, etc., y los elementos de filtrado o tratamiento del agua, desde la toma municipal principal hasta la entrada a la máquina de hemodiálisis. Este sistema debe de mantener los niveles de contaminantes por debajo de lo permitido, por lo cual se utilizarán varios dispositivos y procesos que se encuentran en serie, en los que se remueven las distintas sustancias. La implementación de este circuito necesitara de un análisis bacteriológico del agua de entrada que se hará en base a la disponibilidad y perfiles de consumo de agua, las características requeridas y las regulaciones necesarias, para dar paso a la implementación que se hará en tres fases: diseño, instalación y la validación por parte de personal y autoridades competentes.

Figura 6. Sistemas de tratamiento



Fuente: Curso audiovisual tratamiento de agua para hemodiálisis (Nipro Corp.).

1.5.3.2. Equipos de purificación del agua

La eliminación de los contaminantes del agua puede hacerse de dos formas:

- Eliminación por filtrado en la que se utilizan
 - Filtros (de profundidad y de superficie)
 - Sistemas de filtrado *crossflow* (ósmosis inversa)

- Eliminación por intercambio, captura o adsorción en las que se utilizan
 - Resinas catiónicas y aniónicas (desnitrificadoras y ablandadoras)
 - Carbón activado

El proceso consta de tres etapas: el pretratamiento o filtrado grueso, el tratamiento primario y el postratamiento o microfiltrado.

Figura 7. Sistema de tratamiento de agua



Fuente: gruposeta.com. Consulta: 15 de febrero de 2011.

- Filtros de sedimentación: se utilizan para remover partículas del agua. Están compuestos de arena. Retienen partículas mayores de 25 micras (una micra es la millonésima parte de un milímetro) estos se ubican al principio del circuito.
- Descalcificadores: contienen resinas de intercambio iónico que intercambian iones de sodio por calcio y magnesio. Se ubican después de los filtros de arena. Previenen el síndrome del agua dura y el deterioro que el depósito de calcio y magnesio produce en los distintos elementos, especialmente en los equipos de osmosis inversa. La eficacia se monitoriza midiendo la dureza del agua después de su paso por la resina. Cuando se agota su capacidad, deben ser regenerados con cloruro sódico concentrado (salmuera).

- Filtros de carbón activado: extraen por adsorción cloro libre, cloraminas, endotoxinas y contaminantes orgánicos. Es el único sistema eficaz para extraer las cloraminas del agua, por lo que se previene el deterioro que estas producen en los equipos de osmosis inversa. Se ubican después de la resina.
- Equipos de osmosis inversa: es el componente principal de los sistemas de depuración de agua para hemodiálisis. La osmosis inversa consiste en la aplicación a una solución dada de una elevada presión hidrostática a través de una membrana semipermeable, con el fin de conseguir la depuración de la misma.
- Equipos de radiación ultravioleta: la radiación ultravioleta se obtiene a partir de lámparas de mercurio. Se utiliza para destruir la bacteria de agua. Es efectiva para desinfectar el agua pero la misma acción bactericida aumenta el contenido del agua en productos de degradación bacteriano, que pueden actuar como pirógenos.
- Membranas de ultrafiltración: son membranas de poro muy pequeño. Son muy permeables y los materiales utilizados para su fabricación son generalmente sintéticos como la polisulfona. Son capaces de eliminar microorganismos, pirógenos, coloides y partículas.

Tabla I. **Condiciones óptimas del agua de entrada a la máquina de hemodiálisis**

Características químicas del agua para diálisis

Nivel máximo permitido (mg/L=ppm)		Nivel máximo permitido (mg/L=ppm)	
Aluminio	← 0.01	Cobre	← 0.1
Arsénico	← 0.005	Fluor	← 0.2
Bario	← 0.1	Plomo	← 0.005
Cadmio	← 0.001	Mercurio	← 0.0002
Cromo	← 0.014	Nitrato (N)	← 2.0
Calcio	← 2.0	Potasio	← 8.0
Calcio como CaCO ₃	5.0	Selenio	← 0.09
Magnesio	← 4.0	Plata	← 0.005
Magnesio como CaCO ₃	16.0	Sodio	← 70.0
Cloro libre	← 0.5	Sulfatos	← 100.0
Coloramina	← 0.1	Zinc	← 0.1

Qué afectan:

Composición del dializado

Tóxicos en HD

Tóxicos en agua potable

Estándares de la AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation), 1990/93/96

Fuente: AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation).

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS

2.1. La Unidad de Hemodiálisis Nipro, modelo Surdial

La descripción y mantenimiento se hará en base a una marca y modelo específico, la Nipro Surdial, de tecnología y fabricación japonesa la cual tiene un tiempo de vida aproximado de 10 años, dependiendo de las condiciones de funcionamiento y tratamiento que se le den. Está indicada en el tratamiento de pacientes con falla renal aguda o crónica, pudiendo ser utilizada en el hospital o en la casa según lo considere el médico por las condiciones que presente el paciente. Cuenta con un sistema para diálisis de perforación de doble y una sola aguja dependiendo del acceso del paciente.

Figura 8. **Unidad de Hemodiálisis Nipro, modelo Surdial**



Fuente: nipro.com.co. Consulta: 15 de junio de 2011.

2.1.1. Especificaciones técnicas

Dimensiones:

Espacio en el piso	45x60 cm
Altura	194 cm
Peso	80 kg (176,36 lb)
Fuente de poder	
Voltaje de entrada	115VAC \pm 10 %
Frecuencia	50/60 Hz
Consumo de poder	1200 W / 20 Amp.

Seguridad eléctrica	Protección clase 1 tipo B con una buena conexión a tierra.
Entorno:	
Suministro de agua	
Demanda de presión de agua	Debe encontrarse dentro de un rango de 0,045 a 0,74 Mpa (0,5 a 7,5 kgf/cm ²)
Tasa de flujo del agua	750 mL/min
Temperatura del agua	Dentro del rango de 17 ~ 30 °C (dentro de 5 ~ 30 °C si el intercambiador de calor es utilizado). Esta no debe fluctuar más allá de ± 1 °C por minuto.
Drenaje	Con una capacidad de al menos 1 500 mL/min. Debe encontrarse sobre el suelo a máximo 60 cm de altura.
Espacios	Se debe dejar espacios que estén expuestos a la presión atmosférica en aproximadamente 5cm en la parte de arriba, 10 cm a los lados y 20 cm en la parte frontal y posterior, con un puerto de ventilación de al menos 20 cm.
Temperatura ambiente	15 ~ 35 °C.
humedad	35~80% (libre de condensación de rocío).
Temperatura durante la transportación o almacenamiento	Si hay fluidos dentro (5 ~ 50 °C) Si no hay fluidos dentro (-10 ~ 50 °C)

Presión atmosférica	De 765 a 1062 kPa durante su uso, transporte y almacenamiento.
Calidad del agua	De acuerdo con la American National Standard for Hemodiálisis System RD 5, 1981, Section 3.2 aprobada por la AAMI.
Interiores:	
Presión del concentrado	La presión máxima de +100mmHg y mínima de -100mmHg
Flujo del dializante	Mínimo 300 ml/min, máximo 600 ml/min.
Temperatura del dializante	30 ~ 40 °C
Conductividad del dializante	130 ~ 160 mmol/L
Detector de fuga de sangre	Sensor óptico
Detector de burbujas	Sensor ultrasónico
Bomba de sangre	0.30 ~ 500 ml/min
Sensor de presión	-200 ~ 400 mmHg
Desinfección	Química
Bomba de jeringa	0 ~ 9,9 ml/h
Monitores de seguridad	Burbuja de aire Falta de energía Presión venosa Presión transmembrana Presión del dializante Fuga de sangre Conductividad del dializante Temperatura del dializante Bajo suministro de agua

Parada de seguridad de bomba de sangre

Auto chequeo de posición de conectores

Auto chequeo de circuito cerrado

Auto chequeo de funciones.

Preparación del dializante

SCV (sistema de control viscoso) que está dividido por 2 membranas en 3 compartimientos.

2.2. Definición de términos

A continuación se definen algunos términos que se encuentran involucrados en forma directa en el funcionamiento de la unidad de hemodiálisis, lo cual hace necesario su previo conocimiento para comprender de manera correcta lo concerniente al proceso de diálisis.

Acetato o ácido concentrado para hemodiálisis

Es la sal requerida para preparar el dializante ácido acético.

Aclaramiento

Cantidad de productos de desecho en la sangre que son eliminados por la diálisis en un tiempo determinado. Se expresa en mililitros por minuto (ml/min).

Antiséptico

Agente químico que detiene el crecimiento y reproducción de las bacterias y virus, pero no necesariamente los destruye como lo haría un desinfectante.

Líquido bicarbonato para hemodiálisis

Es la sal requerida para preparar el dializante de bicarbonato.

Bypass

Técnica médica que consiste en crear una ruta alternativa para el flujo sanguíneo, que se encuentra perjudicado por algún problema puntual o de contaminación.

Cebado

Se refiere a llenar de líquido la tubería de aspiración, para facilitar la succión del líquido, evitando que queden bolsas de aire en el interior. En este caso es el proceso de cebar el dializador con una solución salina.

Ciclo

Periodo de tiempo necesario para realizar la introducción del dializante, tiempo de permanencia del líquido de diálisis y salida del dializado. Es importante la medición de volúmenes de líquido durante este período.

Concentración

Es la cantidad de sustancia en una solución, en este caso se le llama a la formación de una concentración de Sodio en el dializado, derivado de la medición de la conductividad del dializante.

Concentrado para hemodiálisis

Se le llama así a la solución formada por el ácido concentrado y el bicarbonato. Es una solución acuosa no estéril con una composición electrolítica similar a la del líquido extracelular normal, que es controlada por la máquina de Hemodiálisis para sacar de la sangre del paciente el exceso de líquido y los productos de desecho.

Desinfección

Es el proceso que ocurre en la línea del dializante al hacer pasar un desinfectante (sustancia capaz de eliminar la mayoría de los microorganismos con los que entra en contacto como bacterias, hongos, virus), que es un diluido de hipoclorito de sodio o ácido paracético, a través de los conductos de este.

Dializador

Es el dispositivo que contiene la membrana de diálisis a través de la cual se producen los intercambios entre la sangre y el líquido dializante, además donde los desechos metabólicos y el exceso de fluido son removidos.

Dializado

Es el líquido que contiene las sustancias nocivas de la sangre (urea, creatinina, etc.).

Dializante

Es una solución que está compuesta por varios tipos de sales muy similar a la del plasma, que es utilizada para remover los desechos metabólicos y equilibrar la concentración electrolítica en la sangre a través de la membrana del dializador.

Difusión

Paso de sustancias de una zona donde están a mayor concentración a otra con menor concentración (separadas por una membrana semipermeable), hasta igualar las concentraciones en ambas zonas.

Enjuague ácido

Proceso de enjuague de la línea del líquido de diálisis, por medio de diluir ácido acético a través de este.

Estéril

Totalmente libre de microorganismos vivos.

Flujo de diálisis

Velocidad a la que pasa el dializante por el circuito interno de la máquina de Hemodiálisis al dializador durante la diálisis.

Flujo sanguíneo

Velocidad a la que sale la sangre del paciente y es bombeada a través del dializador.

Línea arterial

Tubo que se utiliza en hemodiálisis por el que pasa la sangre desde el cuerpo del paciente al dializador.

Línea venosa

Tubo que se utiliza en hemodiálisis por el que pasa la sangre que retorna desde el dializador al cuerpo.

Línea de sangre

Se refiere al circuito usado para hacer circular la sangre de manera extra corpórea a través del dializador.

Membrana

Fina capa de tejido o material, frecuentemente una capa externa o recubrimiento de un órgano o grupo de órganos.

Membrana semipermeable

Material que permite que traspasen sólo los fluidos y las partículas de tamaño pequeño. En la hemodiálisis, la membrana es artificial y está elaborada habitualmente con derivados de la celulosa (celofán, cuprofán, etc.) o con otras sustancias más complejas (poliacrilonitrilo, poliamidas, polisulfona, etc.).

Presión del dializado PD

Es la presión en la entrada al dializador, que está determinada por referencia de la presión medida en la línea del dializador por el sensor de presión.

Presión arterial

Se refiere a la presión en la cámara de goteo arterial, esta es determinada por el sensor de presión que está conectado a la cámara a través de la línea de detección.

Sal

Es un compuesto químico formado por cationes (iones con carga positiva), enlazados a aniones (iones con carga negativa). Son el producto típico de una reacción química entre una base y un ácido, se encuentran dentro del organismo y son necesarias para los procesos del metabolismo.

Sifón de retorno

Es el flujo de retorno del dializado, que va en dirección de la máquina debido a la presión en la línea de drenaje del dializado, que está por encima de la presión de la máquina.

Ultrafiltración

Extracción de agua al paciente.

Tabla II. **Composición de un líquido de diálisis**

Sodio	136 - 146 mEq/l
Potasio	0 - 3 mEq/l
Cloro	96 - 115 mEq/l
Amortiguador (acetato o bicarbonato)	35 - 40 mEq/l
Magnesio	1 - 1,5 mEq/l
Calcio	2,5 - 3,25 mEq/l (5 - 6,5 mg/dl)
Glucosa	200 - 250 mg/dl

Fuente: Rockwell Medical.

2.3. Descripción por módulos

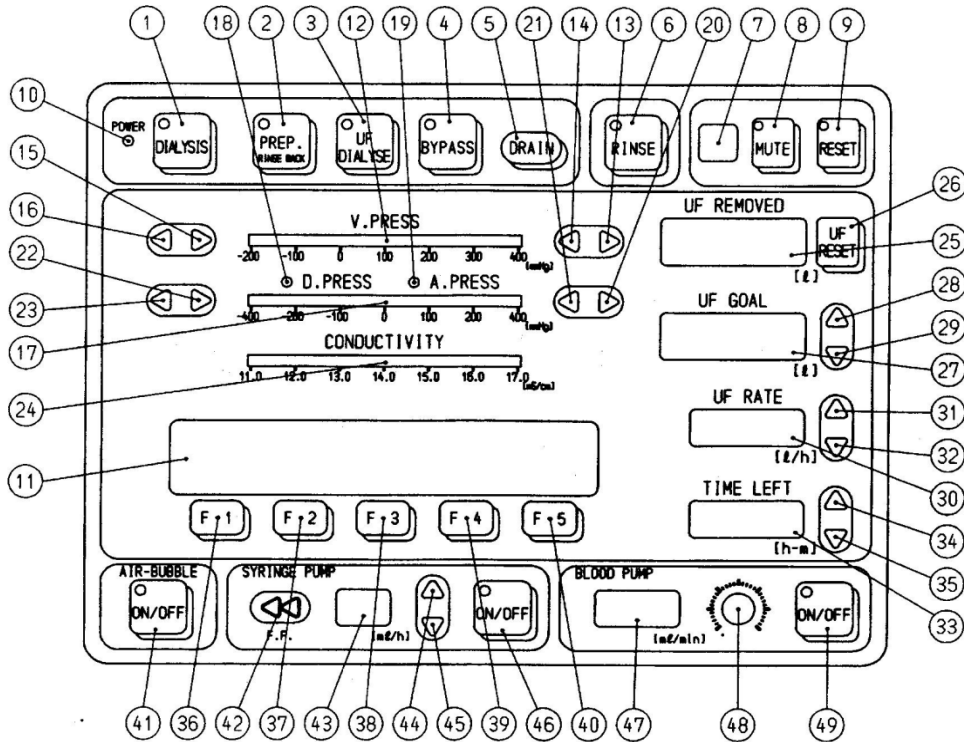
Hasta el momento se ha hecho énfasis en la unidad de hemodiálisis de una manera general y aislada, ahora se hará referencia en forma específica de los componentes físicos que la conforman, las funciones que realizan y el propósito de estas en el circuito de hemodiálisis. Se analizará de una manera detallada el riñón artificial instalado en el área de hemodiálisis del Hospital General San Juan de Dios, que cuenta con 3 salas de 2 y 4 unidades respectivamente, de modelo y marca mencionados anteriormente. La unidad se encuentra dividida para una mejor comprensión en módulos, de los cuales los de principal interés son:

- Módulo para el manejo de la sangre (circuito extracorpóreo)
- Módulo dializante (entrada y salida de los diferentes líquidos y químicos)
- Módulo del panel de operación
- Módulo de la fuente de poder

2.3.1. Módulo del panel de operación

En la parte frontal de la máquina, en su lado superior se encuentra colocado un panel digital con diferentes interruptores, escalas, monitores audibles y visibles, además de varias luces tipo led que indican el funcionamiento de los diferentes componentes y alarman de cualquier eventual procedimiento o proceso de peligro. El panel de control está conformado por los siguientes dispositivos:

Figura 9. Panel de operación



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial

1. Este es el interruptor principal, se utiliza para comenzar el proceso de la diálisis. Cuando el sistema se está preparando y da su autorización para comenzar el proceso, esto se indica por una pequeña luz indicadora de color verde colocada en el mismo interruptor el cual es de color blanco.
2. Con este interruptor se comienza la preparación del dializante, además de la purga de aire del sistema. El interruptor es un cuadrado de color azul, el cual contiene además una luz indicadora de color verde, que se enciende cuando el proceso de preparación se ha completado, cuando la preparación se encuentra en proceso esta luz indicadora es intermitente.

3. Con la activación de este dispositivo se inicia el proceso de ultrafiltración, indicado por una luz verde intensa en el interruptor.
4. Este interruptor llamado de Bypass, es utilizado para bloquear el paso del dializante hacia el dializador, al hacerlo de forma manual realizando presión sobre las mangueras esta acción se indica por medio de una luz verde en el interruptor, cuando la operación se realiza de forma automática se indica por la luz parpadeante o intermitente.
5. Presionando este interruptor se comienza la acción de vaciado del líquido dializado del dializador.
6. Cuando se presiona este interruptor se inicia el proceso de enjuague de las líneas de fluido que constituyen la máquina, este proceso es indicado por una luz verde en el indicador. El interruptor es de color verde.
7. Esta es una luz indicadora de condición de color verde de forma cuadrada un poco más pequeña que los anteriores interruptores. Su función es indicar en qué condición de operación se encuentra la máquina por medio del despliegue de diferentes colores, por ejemplo cuando se encuentra en el proceso de ultrafiltración es de color verde, en caso de alguna alarma de actuación la luz será de color rojo.
8. Cuando existe una condición en que una alarma se ha dado, el led de este interruptor se enciende y un sonido indicador nos lo hace saber para corregir el problema. Al presionar el interruptor el sonido y la luz de interruptor se apagan para no ocasionar molestias al o a los demás pacientes.

9. Cuando se ha dado una condición de alarma y esta se ha detectado, este interruptor también se activa y se enciende la luz en él, luego de que se ha desactivado el sonido indicador de la alarma, al presionar este interruptor la condición de alarma es liberada y puesta de nuevo a sus parámetros iniciales, y se apaga la luz indicadora que se encuentra en él.
10. Este pequeño led de color verde nos indica que la máquina se encuentra encendida.
11. Esta es una pantalla alfanumérica de fondo amarillo, en la cual se puede visualizar parámetros como la temperatura y presión del dializante, presión venosa y arterial, condiciones de alerta, etc., para un buen monitoreo de estos.
12. Barra gráfica que nos muestra los valores existentes de la presión venosa, los límites de valores altos y bajos de la presión se muestran por diferentes colores, la medida de la presión se dan en mmHg.
- 13 y 14. Estos dos botones de incremento y descenso son utilizados para variar el rango de la presión venosa superior en rangos que sean aceptables para el proceso de hemodiálisis.
- 15 y 16. Botones con funciones similares a los anteriores, solamente que estos varían el rango de la presión venosa inferior.
17. Esta barra gráfica es utilizada para mostrar la presión arterial o la presión del dializante, el valor superior e inferior de estas presiones se muestran por diferentes colores, según aumenten o disminuyan en rango estos valores. Estos valores se muestran independientemente uno del otro.

- 18 y 19. Acá hay dos pequeñas luces que indican en cual función se encuentra la barra gráfica indicadora. La primera indica que se encuentra en los parámetros de lectura de la presión del dializante y en la segunda se muestra los valores de la presión arterial.
- 20 y 21. Estos botones se utilizan para incrementar o disminuir los valores superiores de la presión del dializante y la presión arterial según la función en que se encuentren.
- 22 y 23. Idénticas funciones a las anteriores, solamente que acá se varían los valores inferiores de las presiones.
24. Barra gráfica que muestra la conductividad del dializado, y que cambia de color según la posición que se encuentre dentro de la escala de medición, la cual se da en mmol/L.
25. Esta pantalla alfanumérica indica el volumen total de ultrafiltración que ha sido removido del paciente.
26. Este interruptor posiciona a los parámetros de inicio la pantalla indicadora de volumen total de la ultrafiltración.
27. Pantalla alfanumérica que nos indica el porcentaje obtenido de volumen de ultrafiltración, en base al objetivo fijado en la sesión de hemodiálisis.
- 28 y 29. Estos botones sirven para incrementar o disminuir la cantidad de volumen de ultrafiltración, que se ha fijado como objetivo remover en la sesión.

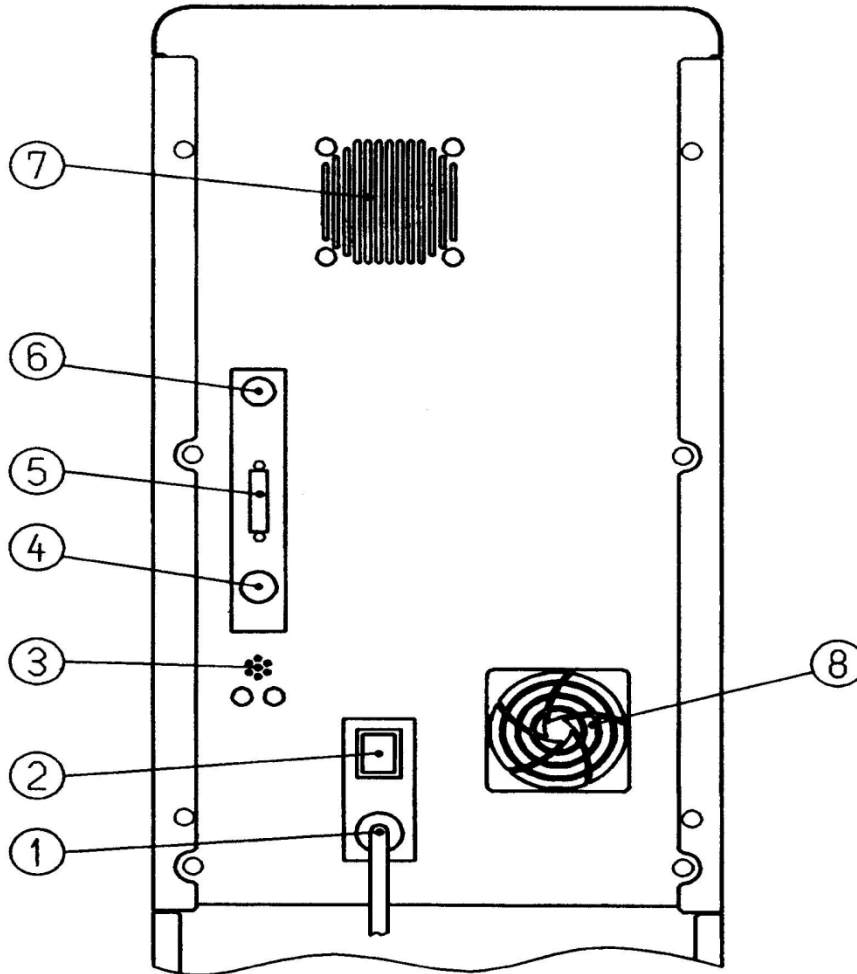
- 30, 31 y 32. Pantalla digital alfanumérica que indica el rango en que se encuentra la ultrafiltración, junto con los botones que sirven para incrementar o disminuir su rango.
33. Pantalla digital que indica el tiempo restante para completar el proceso de hemodiálisis.
- 34 y 35. Botones que sirven para incrementar o disminuir el tiempo restante de la sesión.
- 36, 37, 38, 39 y 40. Estos interruptores de colores verdes y numerados del F1 al F5, son utilizados para ajustar diferentes parámetros a utilizar durante el proceso como por ejemplo, el enjuague. Cuando los parámetros se ajustan aparecen visibles en la pantalla colocada por encima de ellos.
41. Interruptor de color blanco utilizado para accionar el detector de burbujas, cuando este se acciona se indica por medio de una pequeña luz de color verde situada dentro de este.
42. Este interruptor activa la operación en forma rápida de la bomba de la jeringa que contiene heparina, para darle un mayor rango a la operación de infusión de la jeringa.
43. Pantalla que indica el rango en que se encuentra el flujo de la bomba de jeringa que contiene la heparina.
- 44 y 45. Estos interruptores se utilizan para incrementar o disminuir el flujo de la bomba de jeringa.

46. La función de este interruptor es la de activar la bomba de la jeringa. Cuando esta se ha iniciado es indicado por medio de una pequeña luz verde situada sobre este.
47. Pantalla que muestra el rango de flujo en que se encuentra la bomba de sangre.
48. Control para ajustar el volumen del rango de flujo de la bomba de sangre.
49. Interruptor que sirve para encender o apagar la operación de la bomba de sangre, esta función se indica por medio de una luz en el interruptor.

2.3.2. Módulo de la fuente de poder

Este módulo es tan importante como cualquier otro ya que es el que proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de los demás módulos y dispositivos interiores de la unidad.

Figura 10. Fuente de poder



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

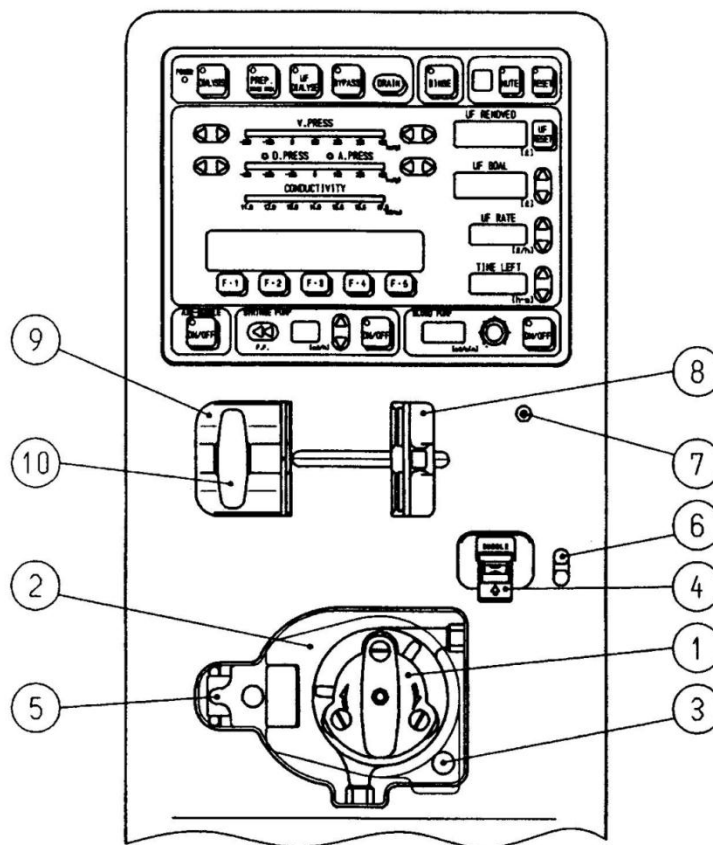
1. En esta figura se encuentra colocado el cable que se utiliza para proveer de energía eléctrica a la unidad. Debe de ser de un mínimo de 3 centímetros de diámetro para la correcta conducción del amperaje y voltaje necesario, además de tener cierta longitud recomendable que dependerá de las conexiones de toma de voltaje y corriente.

2. Interruptor que enciende los diferentes módulos y dispositivos internos de la máquina, proveyéndolos de energía por medio de la salida de un circuito regulador y rectificador de corriente alterna a directa.
3. En este sitio se encuentra una bocina, la cual emitirá un sonido fuerte audible a gran distancia en el caso de que ocurra algún error de funcionamiento en la máquina o procedimiento realizado por el operador (alarmas).
4. Este puerto proporciona una salida de poder de 24 voltios de corriente ya rectificada, para conectar algún dispositivo adicional que se requiera utilizar en la máquina o durante la sesión.
5. Puerto para conectar varias máquinas juntas o para obtener información interna de parámetros de funcionamiento e historial diversos.
6. Este es un interruptor de emergencia, utilizado para colocar manualmente el flujo de la bomba de sangre en caso de que ocurriera una falla en el sistema de alimentación eléctrica.
7. En la parte interna de la máquina se encuentra colocado un ventilador, el cual nos provee de un flujo de aire para mantener estable la temperatura interior de los dispositivos que conforman la fuente de poder.
8. Esta es una toma de aire hacia la fuente de poder, la cual está protegida por un filtro de aire, utilizado para remover y evitar la introducción de polvo o partículas extrañas que puedan provocar daño en el funcionamiento de los componentes internos.

2.4. Circuito extracorpóreo (panel de la línea de sangre)

En este módulo se maneja todo lo referente a la extracción y retorno de la sangre del paciente, se encuentra justo debajo del panel de operación sobre la parte frontal de la unidad y consta principalmente de los siguientes elementos.

Figura 11. Panel de la línea de sangre



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

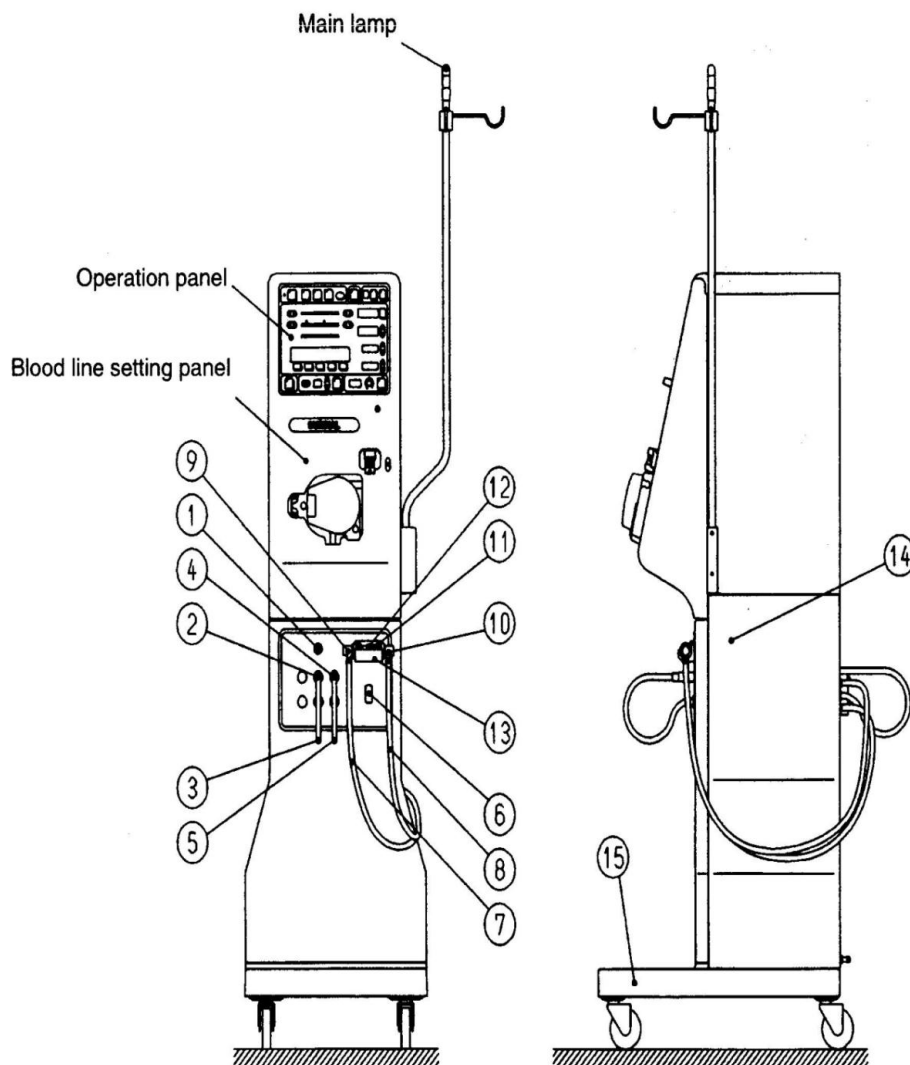
1. Este es el rotor de la bomba de sangre, que se utiliza para entregar la sangre al circuito o línea de sangre.

2. Una cubierta de plástico transparente protege al mecanismo de rotación de la bomba, que además sirve como interruptor ya que al abrir está cubierta la bomba se detendrá automáticamente.
3. Este interruptor sirve para poder abrir la cubierta del mecanismo de la bomba para hacer observaciones sin que esta se detenga.
4. Aquí se encuentra colocado el dispositivo que es utilizado para la detección de burbujas en la línea de sangre que generalmente es un sensor ultrasónico.
5. En este lugar se encuentra posicionada una abrazadera, cuyo objetivo es cerrar la tubería de la línea de sangre, para detener el flujo de esta en caso de cualquier emergencia por mal funcionamiento.
6. Este pequeño dispositivo sirve para sujetar el tubo de la línea de sangre, para que pase de una forma totalmente horizontal sobre el detector de burbujas.
7. En este lugar se encuentra colocado un puerto o conexión, en el cual se puede introducir el valor que se desee de la presión en la línea de la vena.
8. Mecanismo utilizado para avanzar el embolo de perforación de la jeringa que contiene la heparina.
9. y 10. Sujetadores de la jeringa y de la palanca de la jeringa respectivamente.

2.5. Circuito dializante

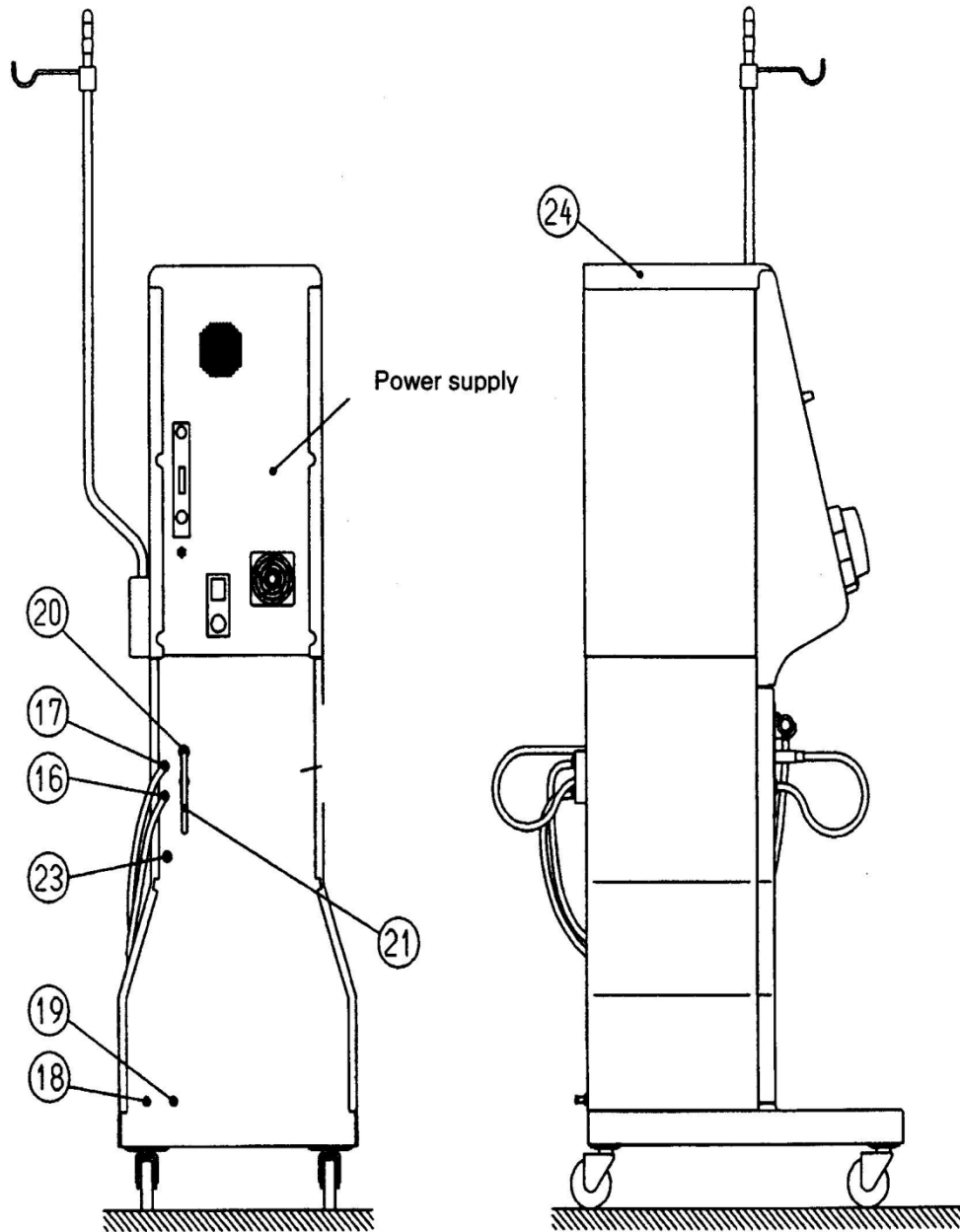
Se puede observar en las siguientes vistas la construcción total de la máquina, haciendo énfasis en el módulo de entrada de los dializantes que contiene una lista numerada para una mejor identificación de sus componentes:

Figura 12. Frente y lado derecho de la máquina



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

Figura 13. Parte trasera e izquierda de la máquina



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

1. Esta es una conexión o puerto que se utiliza para tomar muestras de dializante (cultivo) con el fin de realizarle alguna prueba en particular o identificar microorganismos que puedan estar infectando al líquido de diálisis.
2. Aquí se localiza una conexión o puerto en donde se introduce el conector que trae el contenido de concentrado ácido.
3. Esta es una manguera con conector de color rojo que se introduce en la conexión descrita anteriormente, la cual por medio de succión es la encargada de trasladar la mezcla de concentrado A (ácido concentrado) que se utilizara en la operación de hemodiálisis.
4. y 5. Con funciones idénticas a las anteriores, con la única diferencia que ahora el contenido será el concentrado B (bicarbonato), necesario para fabricar la mezcla que se utilizará en el dializador, para diferenciarlo se emplea el color azul en el conector.
6. En esta parte se encuentra localizado un medidor de flujo, el cual indica la cantidad de líquido dializante que entra en el compartimiento del dializador.
7. Conector con manguera que es utilizado para el retorno de la mezcla de dializado, la cual ya ha sido utilizada en el proceso y que contiene las impurezas removidas de la sangre del paciente y va directo a la tubería de drenaje. Es de color transparente y generalmente de color azul en el conector.

8. Este conector con manguera es el encargado de proveer de dializante fresco al sistema dializador, es de color transparente y de color rojo en el conector.
9. y 10. Se encuentran localizados los puertos o conexiones en donde se acoplaran las mangueras para el retorno del dializado utilizado y la fuente de agua fresca tratada respectivamente.
11. 12. y 13. Es la conformación del circuito del Bypass, el primero es el conector utilizado para acoplar el bypass al circuito de entrada y salida del dializador cuando los puertos 9 y 10 están conectados y realizando sus funciones durante el proceso de hemodiálisis, el siguiente es un dispositivo sujetador para verificar si la conexión es segura y el tercero es el sostenedor de este circuito para mantenerlo fijo al exterior de la máquina.
14. En esta parte dentro del módulo exterior de la máquina se encuentra colocada una válvula que sirve para regular el flujo del dializado que pasa a través de la aguja conectada al paciente y por ende en el circuito cerrado.
15. Acá se encuentra localizada una extensión del soporte inferior de la máquina, en la cual podemos colocar los recipientes con el contenido de las soluciones de concentrado ácido y bicarbonato. Además de contar con cuatro ruedas para facilitar el traslado de la máquina.
16. Acá se encuentra un puerto o conexión que viene del dializador con la solución que ya ha sido utilizada, y por consiguiente con las impurezas desechadas del cuerpo.

17. Este es un puerto igual al anterior, con función similar pero totalmente opuesta, ya que en este se provee de nuevo dializante al circuito dializador.
18. Conexión o puerto que sirve para conectar la tubería o manguera que proveerá del agua purificada a la máquina, para así formar la mezcla de líquido dializante junto con los concentrados ácido y bicarbonato.
19. Esta conexión es utilizada para conectar la manguera que va hacia la tubería de drenaje, que vaciara el dializado utilizado en el proceso de purificación.
20. y 21. Esta es la conexión y conector, para inyectar el contenido de alguna concentración desinfectante o ácido acético, para efectuar la operación de enjuague y desinfección.
22. Se tiene en este sitio colocado un dispositivo sensor, para la detección de cualquier fuga de sangre que ocurra dentro del circuito, o alguna filtración de esta en el líquido dializante, lo cual por lo regular puede ser un indicador de que la membrana en el dializador ya está fallando.
23. En este sitio se encuentra colocada una válvula de regulación de flujo, la cual es utilizada para graduar el rango en que fluye la solución que se utilizará para cebar la máquina.
24. En la parte superior de la máquina se encuentra colocado un cajón o bandeja que es utilizado para mantener el tipo de herramientas que son útiles para maniobrar los diferentes conectores, conexiones o dispositivos utilizados durante el proceso y en caso de alguna emergencia.

2.6. Proceso de limpieza

Este por lo general es realizado por el operador de la unidad y se divide en 2 fases, externa e interna.

2.6.1. Limpieza externa

Utilizar un trapo o tela suave mojada con agua tibia para remover los restos de sangre y sustancias orgánicas que pueden haber quedado después de la sesión en la carcasa exterior de la máquina. Luego se hace una segunda limpieza por medio de un blanqueador diluido al 5 %, teniendo cuidado de no utilizar desinfectantes que contengan sustancias orgánicas solventes como thinner y benceno, especialmente dimetil, benzoil o amoniaco, para prevenir daño corrosivo en la pintura o que rompan los policarbonatos de la misma, además de no utilizar grandes cantidades de líquido ya que pueden llegar a penetrar en los componentes eléctricos.

Limpiar y desinfectar las entradas en los puertos de las líneas venosa y arterial para prevenir infecciones cruzadas entre los pacientes, teniendo el cuidado que ningún fluido se introduzca en ellas ya que pueden dañar los sensores de presión.

Tras un período prolongado de utilizar los conectores del dializante concentrado y los puertos de enjuague, los solutos presentes en el concentrado se pueden aislar y formar cristales perjudiciales que pueden provocar la falla de la unidad, se necesita limpiarlos con un trapo mojado con agua tibia y sacarlos fuera de su sitio para que sea más fácil su limpieza. No se debe utilizar desinfectantes como diluidos de cloruro de sodio (NaClO), ya que estos pueden

generar cloro de descomposición espontánea y aunque este no es perjudicial para el cuerpo humano pueden provocar daños a los componentes eléctricos.

Se debe remover además el polvo existente en las líneas de fluidos en el exterior con un paño mojado, si el exterior de estas es contaminado con cualquier clase de concentrado, removerlo para prevenir cualquier formación de óxido o moho, esto después de haber desconectado el conector principal de electricidad.

* Todos estos procesos de limpieza deben de ir acompañados por sus respectivas medidas en seguridad personal, como la utilización de guantes de látex y mascarillas como prevención ante posibles infecciones.

2.6.2. Limpieza y desinfección interna

La unidad de hemodiálisis Nipro Modelo Surdial tiene incorporado un sistema múltiple de limpieza y desinfección programado internamente para valores comunes de flujo y cantidad de concentrado que pueden ser variados tanto en sus valores como en cantidad de tiempo, dependiendo de las condiciones que se presenten. Para todos los programas de limpieza o desinfección interna las líneas del dializante pueden ser conectadas a las derivaciones y las bocas de las mangueras colocadas en los puertos apropiados. Los ciclos de limpieza pueden ser interrumpidos por cualquiera de las mangueras conectadas a los puertos de la máquina.

La línea de fluidos interna puede ser desinfectada ejecutando la opción de desinfección/enjuague en el panel de operación después de haber llevado a cabo la acción de enjuague. Esta desinfección debe llevarse a cabo cada vez que se termina una sesión, ya que si no se realiza por un largo período, el

interior de la máquina se puede contaminar con la proliferación de microorganismos que pueden ser introducidos al cuerpo del paciente, poniendo en peligro su vida.

Se recomienda el uso de hipoclorito de sodio en una concentración menor o igual al 5%, teniendo cuidado en no excederse de este porcentaje ya que la línea de fluido puede verse dañada por corrosión. Si el concentrado necesita ser diluido, se deberá utilizar el agua especificada por la AAMI. No se debe dejar la solución dentro de las líneas por un período muy prolongado, ya que la concentración se puede reducir por evaporación, pudiendo causar un insuficiente desempeño en la desinfección. Luego de conectar ésta a la máquina si la concentración se encuentra en un rango de 1 000 partes por millón el tiempo de desinfección puede llevar entre 50 a 60 minutos, o si se encuentra a 300 partes por millón el tiempo puede variar en 6 a 24 horas en el modo 7 de mantenimiento, atendiendo en no excederse ni estar por debajo de los niveles de ppm especificados anteriormente para un buen desempeño del desinfectante.

Se necesita ejecutar un enjuague de agua por 30 minutos o más después de la desinfección, el tiempo sin embargo es proporcional a la concentración utilizada en el desinfectante y el rango en el flujo, ya que si quedan restos del desinfectante dentro de la máquina, incluso en pequeñas proporciones la vida del paciente puede verse amenazada. Es recomendable chequear la cantidad de restos de desinfectante utilizando papel prueba o un reagente.

Cuando se utiliza el dializante bicarbonato, depósitos de sal de calcio se forman internamente en las líneas de fluidos creando una especie de sarro que puede obstruirlas. Estos depósitos pueden causar la proliferación de microbios y un mal funcionamiento en los componentes de la unidad y por lo tanto se

necesita removerlos inmediatamente, esto se logra ejecutando la acción de enjuague ácido en el modo enjuague. Para esto se utiliza ácido acético en una concentración de hasta el 30 % en caso que sea necesario, con agua de osmosis especificada en la AAMI en su disolución. El tiempo de operación debe ser un poco más de 30 minutos en el modo 7 de mantenimiento.

3. PROPUESTA DE MANUAL DE MANTENIMIENTO

3.1. Mantenimiento del equipo de hemodiálisis

Todo equipo o maquinaria de cualquier tipo necesita del correcto cuidado y conservación de sus elementos. En este capítulo se dan las recomendaciones de las acciones a seguir para mantener a la unidad de hemodiálisis funcionando en buenas condiciones, dentro de una calidad que ya está previamente establecida por medio de normas, estándares, procesos y protocolos que han sido diseñados en base a criterios aprobados internacionalmente y sobre todo de acuerdo a las necesidades de los hospitales en América Latina, tratando de hacer énfasis en el Mantenimiento Preventivo Programado (MPP) el cual es de vital importancia para mantener su funcionamiento de una manera continua, confiable y eficiente.

3.2. Mantenimiento preventivo

Este se refiere a las distintas actividades que se desarrollan para la correcta operación y servicio que incluyen la limpieza, el adecuado manejo del equipo, inspecciones sistemáticas, control de parámetros técnicos y la detección y corrección de las fallas iniciales antes de que ocurran daños en operación de la unidad; además del reemplazo de algunas piezas o conjuntos, al cumplirse cierto número en horas de trabajo o de haber transcurrido determinado tiempo.

Esta clase de mantenimiento puede dividirse en dos niveles por su complejidad, los cuales serán realizados por el operador y un ingeniero mecánico con conocimientos en este tipo de maquinaria o un ingeniero especializado en el área de biomédica.

3.2.1. Mantenimiento preventivo por el operador

Además de ser el encargado en conectar el paciente a la unidad y la programación para la correcta secuencia durante la sesión, el operador debe poseer conocimientos mínimos referentes a la conservación de los componentes que conforman la máquina, ya que entre sus funciones se encuentran la limpieza y desinfección de las líneas de fluido y remover posibles depósitos de calcio mediante un enjuague con ácido acético; es además el encargado de la limpieza externa y verificar que no existan problemas como fugas o goteras, en particular en los puertos que conforman la fuente de fluidos y el drenaje, que no se encuentren sustancias químicas extrañas dentro del entorno cercano a la máquina y cerrar la válvula principal de la fuente de agua cuando la unidad no esté operando.

También debe corroborar en una forma sencilla el buen funcionamiento de los componentes internos en la máquina mediante el uso del modo Test (prueba), que auto diagnostica parámetros de buen funcionamiento en la bomba de sangre, la abrazadera de oclusión, el detector de burbujas, los sensores de presión venosa y arterial, etc., y para esto el operador debe verificar antes que:

- La cubierta en la bomba de sangre esté cerrada.
- No se encuentre conectado algún objeto al detector de burbujas.
- No exista en contacto algún objeto a los sensores de presión arterial o venosa y que estos no estén expuestos a la presión atmosférica.

- Que la máquina se encuentre en el proceso de espera para diálisis, ya que solo en este modo se activara el sistema de prueba.
- Y por supuesto ningún paciente esté conectado en ese momento a la unidad.

Todo lo anterior se recomienda se efectúe antes y después de cada sesión, exceptuando el enjuague con ácido acético el cual se llevará a cabo 1 o 2 veces por semana dependiendo de la cantidad de sesiones que se hayan efectuado.

3.2.2. Mantenimiento preventivo por el ingeniero mecánico

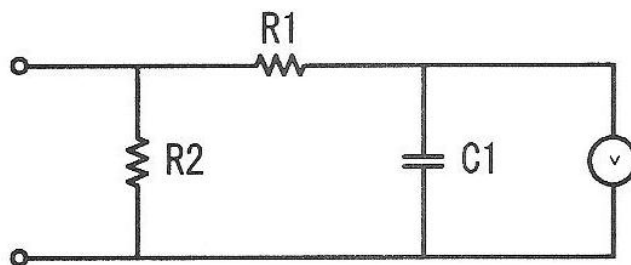
Este chequeo y mantenimiento de los componentes se recomienda llevarlo a cabo anualmente o cuando se cumplan 500 horas de funcionamiento, las cuales pueden ser verificadas en el modo de mantenimiento 8 en la función frecuencia de servicio. Teniendo cuidado en desinfectar las líneas de fluidos internas antes de la realización de estas tareas para evitar cualquier riesgo de infección y entre ellas se tienen:

3.2.2.1. Área de encendido

Con la ayuda de un multímetro digital, por su nivel en despliegue de valores pequeños en la escala, se chequea que la resistencia de protección a tierra entre la conexión de tierra propia de la máquina y la tierra física sea de menos de $0,1 \Omega$ para evitar riesgos de corto circuito entre los componentes, además se debe medir el valor de la corriente de fuga a tierra, la cual no debe exceder los 0,5 miliamperios, esto se logra colocando el medidor entre la conexión a tierra del cordón de la toma principal de electricidad de la máquina y tierra en serie cuando esta se encuentra operando. Adicionalmente se verifica

que no exista corrosión, pérdidas, goteras, filtraciones o falsos contactos entre cada uno de los conectores y componentes que se utilizan en este módulo. Se debe limpiar el filtro de polvo en la entrada de aire del panel, aunque se recomienda su cambio cada determinado tiempo. Además es recomendable comprobar la resistencia del conector de alimentación de la máquina a la línea de voltaje, esta prueba se puede realizar tirando del cable con fuerza y percatándose de que no se suelte con facilidad y que no presente rajaduras en su forro.

Figura 14. **Diagrama del circuito chequeador de la corriente de escape**



$R1=10k\ \Omega$
 $R2=1k\ \Omega$
 $C1=0.015\mu F$

Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

3.2.2.2. **Revisión de sensores**

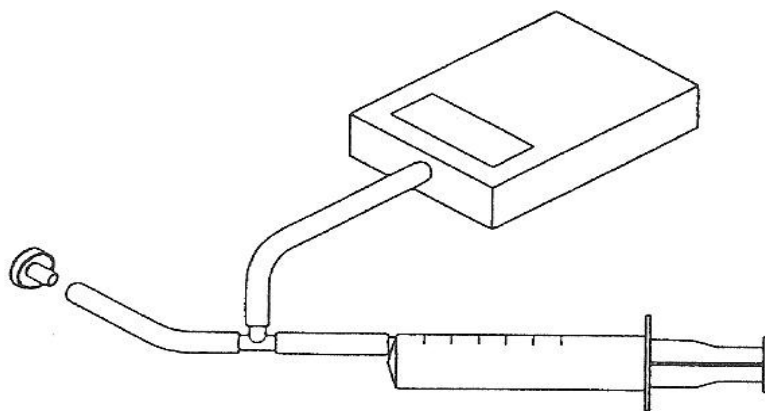
Este paso está orientado principalmente a la limpieza de estos, la revisión de sus conexiones eléctricas y condiciones de trabajo, es importante que se realicen las respectivas calibraciones en cada uno de estos. Estas calibraciones se realizan principalmente en cuanto a su sensibilidad a través de un voltaje o una frecuencia, la lectura de las condiciones en que se encuentra

cada sensor se muestra en la pantalla de operación en el modo de mantenimiento.

3.2.2.2.1. Sensores de presión

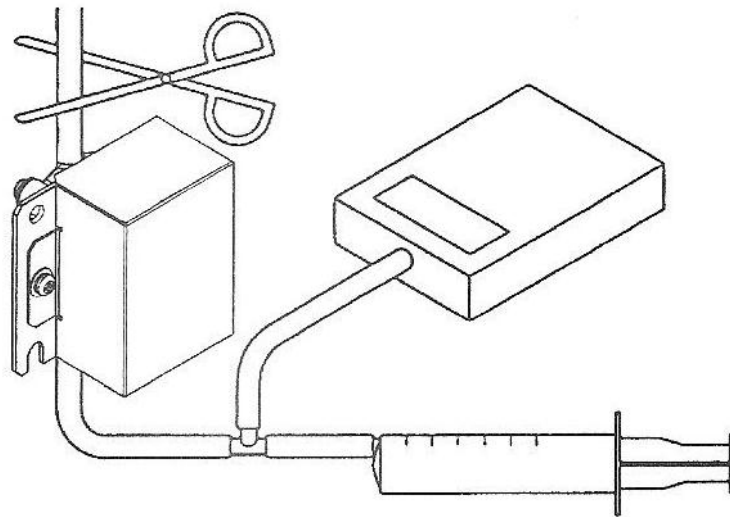
A través de un conector con tres vías, una extensión de un tubo de silicón que se conectará al sensor de presión con un manómetro calibrado y una jeringa que le suministrará presiones de referencia de 0 milímetros de mercurio y +300 milímetros de mercurio respectivamente, las presiones desplegadas por el manómetro deben de encontrarse en rangos de ± 2 milímetros de mercurio y ± 8 milímetros de mercurio, caso contrario estos se calibran por medio de un medidor de presión en milímetros de mercurio y si la acción resulta negativa se procede a reemplazarlos. Esto se realiza para los sensores colocados en las líneas arterial, venosa y del dializante teniendo cuidado en hacerlo de la manera como se indica a continuación:

Figura 15. **Disposición de las partes para chequear la exactitud del sensor de presión venosa o arterial**



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

Figura 16. **Disposición de las partes para chequear la exactitud del sensor de presión del dializante**

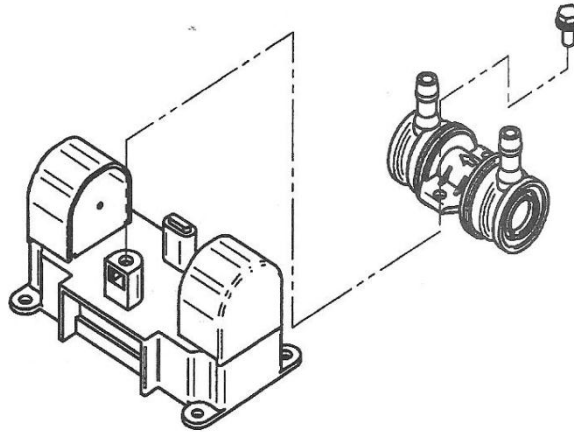


Fuente: Manual de Operación Nipro Surdial.

3.2.2.2.2. Sensor de fuga de sangre

Primeramente se realiza una inspección visual removiendo el sensor de su lugar quitando el tornillo o cartucho que lo sostiene, se necesita confirmar que no exista polvo en la superficie o en las partes de vidrio y que no se haya acumulado polvo y suciedad dentro del cartucho, de lo contrario limpiarlo con agua o algún desinfectante liviano.

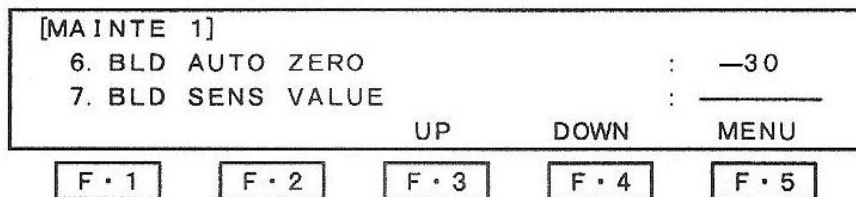
Figura 17. **Remoción del sensor de fuga de sangre de su base**



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

Dentro del modo de mantenimiento interno de la máquina en el numeral 6 se despliega la expresión BLD (Blood Leak Detector) Auto Zero, este es un detector de fuga de sangre con valores exactos, si se tiene por ejemplo un valor indicado de -150 partes por millón durante el proceso de preparación, es necesaria una revisión y ajuste de este, teniendo siempre el cuidado de desinfectar los conductos internos mediante un enjuague previo con agua antes de la calibración.

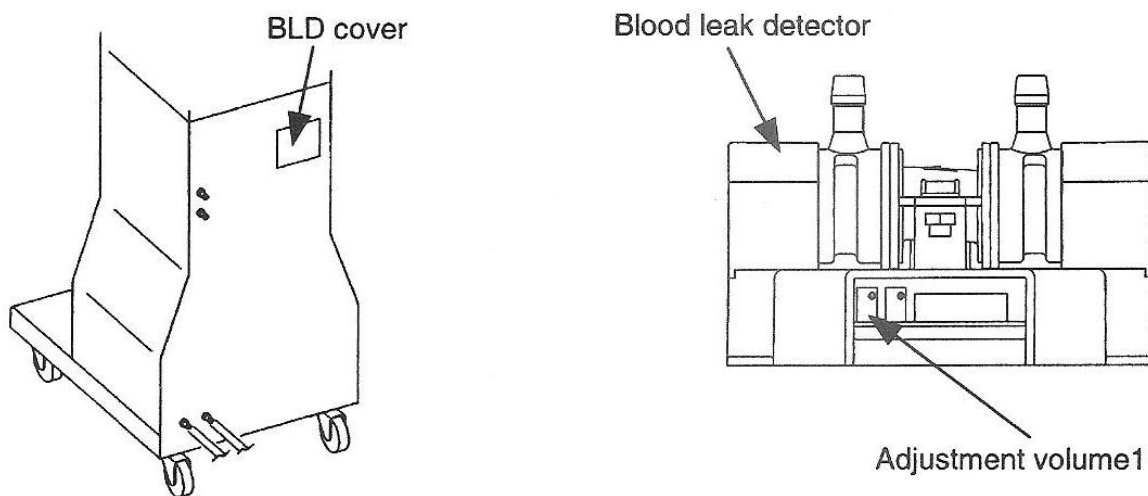
Figura 18. **Pantalla que indica acción de mantenimiento en el modo 1**



Fuente: Manual de Operación Nipro Surdial.

Para este ajuste y revisión primeramente se presiona el interruptor PREP que cambia al proceso de preparación en la máquina, luego se dejan transcurrir 5 minutos y se ajusta la función VOLUME 1, que se encuentra justo debajo del sensor, a favor de las manecillas del reloj teniendo sumo cuidado de no girarlo demasiado ya que este ajuste es muy sensible, a un valor que este comprendido entre -40 a -30 ppm (partes por millón) en el numeral 6, verificando que no existan burbujas dentro del cartucho o el sensor.

Figura 19. **Ubicación y vista frontal del sensor de fuga de sangre**



Fuente: Manual de Operación Nipro Surdial.

3.2.2.2.3. **Sensor de burbujas**

Para chequear este sensor se conecta la línea de sangre y el dializador a la máquina para cebarlos con una solución salina, luego se enciende la bomba de sangre que operara con una tasa de flujo de 200 mililitros por minuto, luego se acciona el interruptor del sensor de burbujas y se verifica que la alarma de burbuja no se encuentre accionada en la pantalla principal, a continuación se

inyectan 0,05 mililitros de aire por medio de una micro jeringa para presurizar la sección entre la cámara de goteo de la línea venosa y el sensor, teniendo cuidado que el volumen inyectado no se divida en segmentos, luego se verifica si se acciona la alarma de Burbuja en la pantalla cuando esta pasa a través del sensor y se observa si se llevan a cabo las siguientes funciones de alarma:

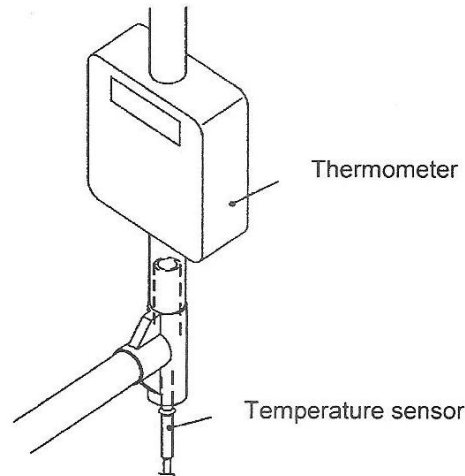
- Un sonido audible que indique la presencia de la burbuja
- El cierre de la abrazadera que ocluye el paso en la línea de sangre.
- y la detención de la bomba de sangre

Existe un método sencillo alternativo que consiste en llenar de agua la línea de sangre que va hacia el sensor de burbuja, luego se enciende el interruptor del sensor y chequea que la alarma de burbuja no esté presente, seguidamente se presiona el sensor con un dedo en forma suave y se verifica que la función de burbuja se accione y observar si se llevan a cabo las funciones de alarma mencionadas anteriormente.

3.2.2.2.4. Sensor de temperatura

Se saca una derivación en el conducto de fluido y se coloca un termómetro en un lugar cercano al sensor, que no sobrepase los 50 centímetros y se chequea la diferencia entre las mediciones del termómetro y la de temperatura desplegada en el modo de mantenimiento 1, y esta no debe tener una diferencia mayor de $\pm 0,8$ °C en cada uno de los 3 sensores colocados en la máquina. Para chequear los valores de baja temperatura se coloca la máquina en el proceso de enjuague con agua y para verificar los valores de alta temperatura se harán en el proceso final de preparación.

Figura 20. **Disposición de las partes para medir la exactitud del sensor de temperatura**

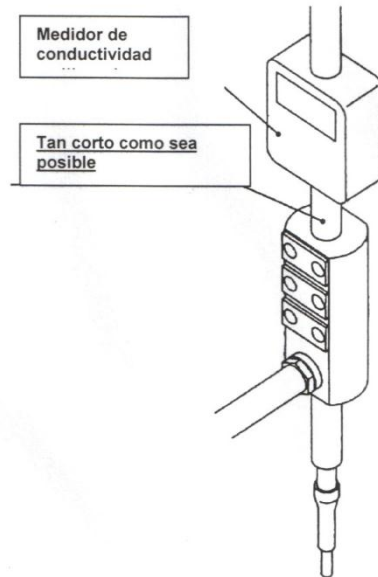


Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

3.2.2.2.5. Sensor de la celda de conductividad

Se coloca nuevamente un tubo extra de silicón en la línea de fluido y se introduce un medidor de conductividad electrónico lo más cercano posible, a no más de 60 centímetros de distancia de la celda de conductividad, se prepara la solución en el modo diálisis, y se verifica un valor estable de conductividad en la pantalla que se indica en el modo diálisis o bien en el modo de mantenimiento 1 y esta debe estar en un rango de incertidumbre que no sobrepase los $\pm 0,2$ milisiemens por centímetro. Esta celda de conductividad es un dispositivo electrónico cerrado y por lo tanto no puede realizarse un mantenimiento como tal, entonces al dar una lectura fuera de los valores aceptables se procede a la sustitución de esta.

Figura 21. **Montaje para chequear la exactitud de la celda de conductividad**

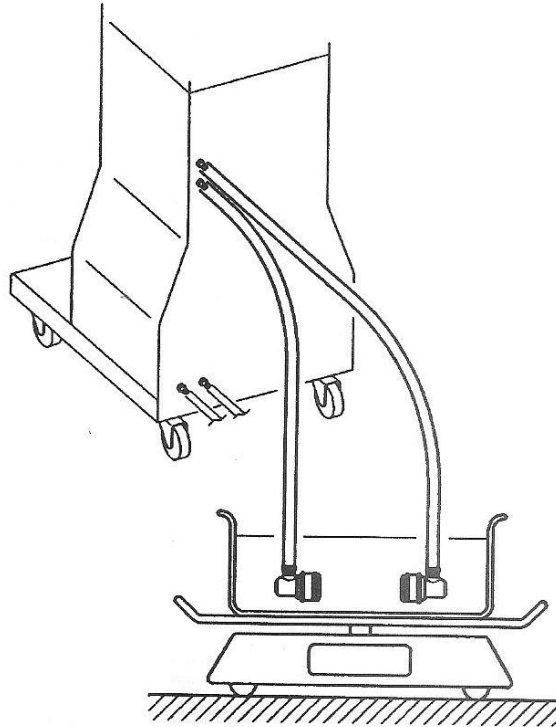


Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

3.2.2.3. Ultrafiltración

Para corroborar el volumen de ultrafiltración, se colocan las líneas de UF dentro de un recipiente que se colocará sobre una balanza electrónica, seguidamente se le da avance a una jeringa que conectamos al puerto de entrada de la presión venosa para presurizarla a un valor de +50 milímetros de mercurio y mantener esta presión, luego se opera la máquina en el modo de Diálisis en un rango de UF y de Meta de UF igual a 1 litro por hora. Luego de que el proceso se ha completado verificamos la diferencia en el peso de UF medida por la balanza y la Meta de UF y esta debe encontrarse dentro de un rango de ± 30 gramos.

Figura 22. **Montaje para chequear la exactitud de UF**



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

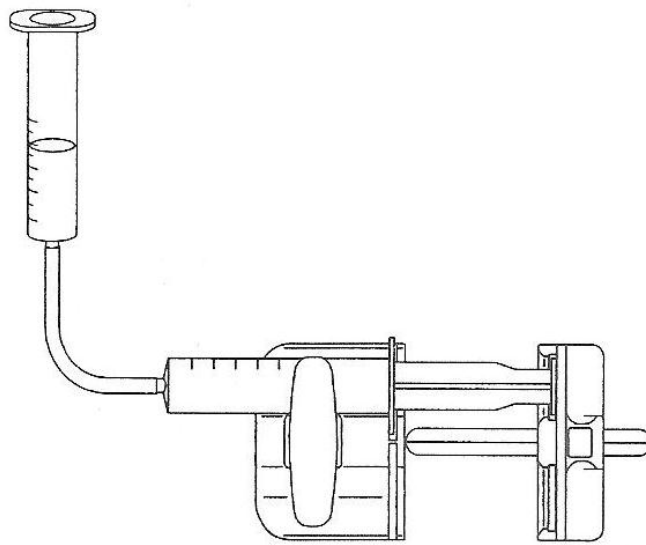
3.2.2.4. Chequeo de la exactitud del rango de infusión de la bomba de heparina

Por la acción propia del movimiento en la bomba esta se puede salir del lugar en donde se ha fijado, por lo que se recomienda verificar esto por medio de una llave inglesa hexagonal de 2 milímetros y fijarla correctamente.

Se necesita chequear el correcto funcionamiento de esta midiendo el rango de infusión al cual trabaja y para esto se conecta una jeringa a la jeringa de la bomba como se muestra en la siguiente figura; se fija un rango en flujo de 9,9 mililitros por hora y se deja operar la bomba durante una hora. El flujo en la

operación debe variar a lo sumo entre ± 1 mililitro, en caso contrario esta se graduará en el bolo de la jeringa, de no ser así se procede a su reemplazo inmediatamente.

Figura 23. **Disposición de las partes para medir el rango de infusión de la bomba de heparina**



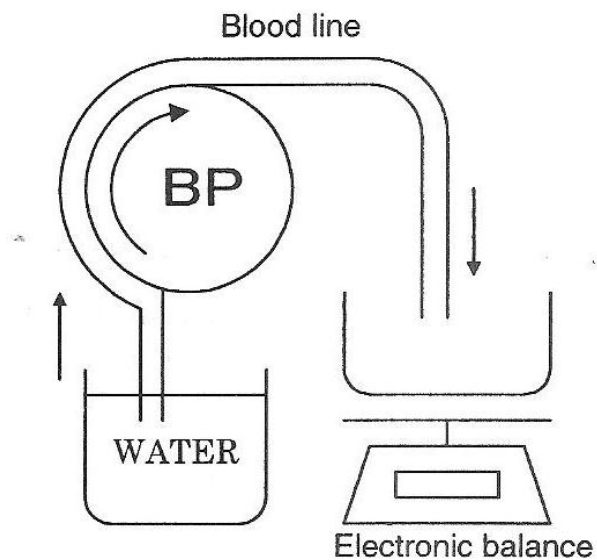
Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

3.2.2.5. Chequeo de la exactitud del rango de flujo en la bomba de sangre

Para chequear la exactitud en que se encuentra la tasa de flujo en la bomba, se pueden utilizar una balanza electrónica o un recipiente que contenga valores en medición de volumen en escala pequeña. Primeramente se coloca un tubo extra de silicón y un dializador conectados a la máquina para cebarlos con agua, luego se coloca la bomba con un flujo de 100 mililitros por minuto y se acciona el interruptor para apagado de la bomba, se coloca agua dentro de

un recipiente en el cual introducimos la línea arterial que va hacia la bomba y el otro lado va hacia el recipiente vacío que se encuentra encima de la balanza electrónica o bien al recipiente graduado conectado a la línea venosa de la máquina, luego se acciona la bomba y se deja pasar un tiempo prudencial de al menos 3 minutos registrados con suma precisión por un cronómetro, los rangos de medición en la balanza o el recipiente graduado no deben exceder en un porcentaje $\pm 10\%$ del volumen medido. De estos dos métodos la balanza electrónica es la que ofrece mayor confiabilidad ya que las medidas del recipiente graduado tomadas en forma visual pueden producir valores ambiguos que pueden dar errores en la medición.

Figura 24. **Disposición de las partes para medir la exactitud del rango de flujo de la bomba de sangre**



Fuente: Manual de operación Nipro Surdial.

3.2.3. Mantenimiento por el ingeniero biomédico

Existen algunos mantenimientos de las líneas de fluidos, la sección de interface de datos y componentes digitales que por sus características implican el conocimiento de principios eléctricos, químicos, médicos, electrónica médica y ultrafiltración que solo puede llevarlas a cabo un Ingeniero especializado en Biomedicina con conocimientos teóricos y técnicos en este tipo de unidades; entre ellas se encuentra el reemplazo de los componentes del filtro GVS en la línea principal de agua, el reemplazo de los componentes en las válvulas electromagnéticas, componentes digitales y electrónicos, cambio de parámetros internos o de algún componente interno averiado de la bomba de sangre. Sin embargo esta clase de mantenimiento escapa al alcance y propósito de esta investigación, por ser efectuado de manera legal únicamente por personal de la empresa manufacturera en base a un manual de servicio interno.

3.3. Mantenimiento correctivo

Este se aplica principalmente por la falta de organización y aplicación de un mantenimiento preventivo y los pocos conocimientos del personal de operación que incurren en malos manejos y procedimientos que dañan los componentes de la máquina. Básicamente consiste en reparar, reconstruir, modificar o reemplazar ciertas partes y componentes de la máquina por signos de deterioro o por una falla total, el encargado de realizar estas acciones es el ingeniero mecánico o el ingeniero especialista en biomedicina. Con el objetivo de proporcionar una información más completa se presentan las posibles causas de fallas específicas y como proceder ante ellas.

3.3.1. Causas más comunes de las fallas

Además del necesario cambio de algún componente interno o externo que ha dejado de funcionar por llegar al final de su tiempo de vida activo, una de las causas por la que se debe aplicar un mantenimiento correctivo es debido a la descalibración o modificación de algunos parámetros de operación internos de la máquina por parte de los operadores o las malas condiciones de pureza y flujo del agua de entrada a la máquina, ya que una presión arriba de su rango normal puede dañar los reguladores y válvulas de entrada a la máquina.

Un mal suministro eléctrico puede ser la causa de múltiples fallas, como el sobrecalentamiento de los motores, el corto circuito de los fusibles, reguladores y componentes de las tarjetas electrónicas, de entre ellas la más común es la de entrada y distribución de voltaje.

Por un uso constante y prolongado entre sesiones pueden producirse fallos en la barra térmica y la tarjeta que controla la temperatura.

Si la bomba de sangre no tiene condiciones de lubricación apropiada, se pueden producir desgastes en el rotor y por lo tanto resistencia a la libertad de giro y sobrecalentamiento del mismo.

Los puertos de presión arterial y venosa se encuentran en contacto directo con el sistema de diálisis y su transductor, que en condiciones normales permite el paso de aire (burbujas) pero no de líquido, si se presenta una invasión de líquido o sangre en el sistema es señal que el puerto se ha dañado y esto puede crear un corto-circuito en su tarjeta de control, aunque entre el puerto, el transductor y la tarjeta existe un protector adicional.

3.3.2. Corrección de fallas

Cuando se verifica que una máquina tiene fallas de funcionamiento, esta debe ser deshabilitada de servicio y lo más conveniente es observar si se encuentra activada alguna de las alarmas del panel y proceder directamente a corregirla. Cualquier error de funcionamiento es detectado por la máquina y se anuncia por medio de una alarma (luz indicadora estable o intermitente acompañada de sonido) y un mensaje en la pantalla de operación que contiene todas las especificaciones de este fallo, como el número de error, el nombre de la alarma, el parámetro de funcionamiento fuera de rango y de acuerdo con la severidad de esta, los procesos o componentes que se detienen por seguridad del paciente. Existen hasta 69 diferentes tipos de alarmas simples y combinadas, entre las principales por la frecuencia en que se pueden presentar y la importancia de estas se tiene:

Figura 25. Pantalla de control con error de operación



Fuente: Departamento de Hemodiálisis Hospital San Juan de Dios.

3.3.2.1. Fallas de temperatura

Existe alguna condición que excede el rango de temperatura medible en alguno de los 3 sensores colocados en la máquina y se reconoce por medio de los Errores de Operación E02, E03 y E04 que vienen acompañado de un sonido audible a gran distancia intermitente 7 veces de 1 segundo aproximadamente cada uno, que se puede dar durante cualquiera de los procesos de enjuague, purga de aire, de preparación, de diálisis, espera de diálisis y recuperación. Las líneas de fluido continúan funcionando.

Los errores de operación E05 y E06 corresponden a temperaturas por encima y debajo del límite de operación del dializado (30~40 °C), y se pueden dar en combinación con el error E04. El error E05 se puede presentar durante los procesos de preparación, final de preparación, diálisis y recuperación, viene acompañado de un sonido continuo, se activa automáticamente la función de bypass y se apaga el calentador. El error de funcionamiento E06 se presenta únicamente durante el proceso de diálisis y viene acompañado de un sonido intermitente 3 veces de aproximadamente 1 segundo cada uno, accionando automáticamente la acción de bypass. Estas se pueden presentar ante todo por cuatro causas principales:

- Problemas con la modificación de los parámetros previamente establecidos.
- Daño en las barras térmicas.
- Daño en la tarjeta electrónica que controla la temperatura.
- Que el agua de alimentación se esté proporcionando a una temperatura que se encuentre fuera del rango permitido.

3.3.2.2. Fallas de presión

Esta clase de error se encuentra presente en 12 diferentes tipos de alarmas que van a estar comprendidas entre E07 y E18, dependiendo de la línea de flujo en que se encuentre.

Los errores de operación E07 y E08 para el dializante, E11 y E12 para la línea venosa y E15 y E16 para la línea arterial, corresponden a valores de presión por arriba y debajo respectivamente de los límites extremos de operación permisibles en la máquina que son +400 milímetros de mercurio y -400 milímetros de mercurio. Se pueden dar durante todos los procesos de enjuague y son reconocidos por un sonido audible en 7 tiempos intermitentes de 1 segundo cada uno, y durante los procesos de purga de aire, espera de diálisis, diálisis, preparación, fin de la preparación y recuperación, estos se distinguen por un sonido continuo. Se detiene el proceso de UF en las 3 líneas y las bombas de sangre y heparina se detienen durante un periodo de 2 segundos al igual que la CLV (abrazadera de sujeción en la línea venosa).

Los errores de operación E09 y E10 para el dializante, E13 y E14 para la línea venosa y E17 y E18 para la línea arterial corresponden a valores de presión por arriba y debajo respectivamente de los fijados por el operador para el dializante y se pueden presentar durante los procesos de espera de diálisis, diálisis, fin de preparación, preparación y recuperación, que se distingue por un sonido continuo y se presenta el cese de los mismos procesos nombrados anteriormente.

En caso en que únicamente se encuentre encendida la alarma de presión venosa, puede deberse a una mala conexión del puerto correspondiente. Otra posible causa es que el brazaletes que se encuentra en el brazo opuesto al de

colocación de la fístula en el paciente o este colocado de una manera inapropiada. Un caso menos común es la descalibración del módulo correspondiente.

Las alarmas que se encuentran en la línea arterial se pueden presentar por diferentes causas, entre las que se pueden mencionar una mala colocación en la fístula en el brazo del paciente y que no esté proporcionando la cantidad requerida de sangre y por lo tanto la presión de su flujo, su transductor interno de sangre puede tener alguna falla de presión y por lo tanto alarmar. Otra causa puede ser que el puerto de entrada de este alarme al sistema por estar principalmente mal conectado.

3.3.2.3. Falla en la presión transmembrana

El error E19 se refiere a un fallo en los valores de flujo de las bombas de la línea venosa y del dializante que son los que proporcionan la presión transmembrana, estos se encuentran por arriba de los límites fijados a la alarma y se presenta durante el proceso de diálisis o recuperación, es distinguible por medio de un sonido agudo continuo y que detiene el proceso de UF.

Los casos de alarma en el monitor se presentan cuando la tarjeta electrónica se encuentra descalibrada, y esta se puede presentar por varias razones como por ejemplo que la tarjeta debe de estar calibrada de acuerdo a la altura geográfica a la cual se va a instalar el equipo ya que la afecta la presión atmosférica. Se puede activar además por factores de alimentación del líquido dializante, tales como una presión fuera de rango permisible, la sobrecarga a la que es sometido el filtro a la hora de extracción del líquido del paciente en caso de que se le demande una gran cantidad en poco tiempo.

3.3.2.4. Error en la conductividad del dializante

Las alarmas identificadas con el número de error en pantalla como E20 y E21 se presentan cuando los valores en la conductividad del dializante se encuentran por encima y debajo respectivamente, de los valores fijados como límites en la alarma, y se presentan únicamente durante el proceso de la diálisis, y se identifican por medio de un sonido continuo. Además entra en servicio la función del bypass. Esta por lo regular se presenta cuando el líquido dializador no tiene la concentración adecuada de electrolitos

3.3.2.5. Fugas de sangre

Cuando existe un error en el sensor de fuga de sangre (E22), es porque se ha detectado un valor real de fuga de sangre en el proceso de preparación o final de preparación, o un valor de fuga de sangre durante los procesos de diálisis o recuperación, señalando la alarma de enjuague. Se identifica por medio de un sonido continuo y la detención de la línea de fluido.

El error E23 corresponde a un valor por encima de los límites impuestos a la alarma del sensor de fuga de sangre, y se puede presentar solamente durante el proceso de diálisis e identificarlo por un sonido continuo. Se detiene el proceso de UF y se activa la función de bypass.

Esta se puede presentar cuando el sistema se encuentra mal calibrado, el transductor se encuentra sucio o por la presencia real de sangre en el líquido dializante, lo cual puede ser un indicativo de que el filtro dializador se encuentra dañado y se hará necesario el cambio de este. Como medida preventiva se puede realizar una limpieza al transductor.

3.3.2.6. Presencia de burbujas de aire

El error E24 se activa cuando se detectan burbujas dentro de las líneas de flujo durante todos los procesos de enjuague y purga de aire, es reconocible por un sonido intermitente de 7 veces y durante los procesos de diálisis, diálisis en espera, preparación, final de la preparación y recuperación por un sonido continuo. Cuando esta alarma se activa también se detiene el proceso de UF. Esto se puede deber a movimientos del paciente durante la sesión, una mala manipulación del catéter o bien las líneas de flujo del dializante.

3.3.2.7. Falla en el calentador

Cuando existe un aumento de temperatura del calentador (E25), fuera de los límites que este puede soportar, la función de LS1 se puede observar en el lugar que ocupa el calentador. Se da durante los procesos de preparación, final de preparación, diálisis y recuperación, distinguible por un sonido continuo, y la función de calentamiento se apaga automáticamente.

3.3.2.8. Fallas en el suministro de agua

Cuando no existe suficiente presión en el suministro principal de agua, se despliega en pantalla el error de funcionamiento E26, que durante el proceso de enjuague es reconocido por un sonido intermitente en 7 tiempos, y que en los procesos de preparación, final de la preparación, diálisis y recuperación el sonido es continuo. La línea de fluidos se paraliza.

3.3.2.9. Error en el rango del flujo del dializante

El error E27 corresponde a un deficiente suministro de dializante, luego de 85 segundos de esto se cambia a la cámara de cambio y se define con un sonido continuo que se puede presentar en los procesos de preparación, final de la preparación, diálisis y recuperación. No detiene ningún otro proceso.

El error E28 corresponde a un paro en el suministro de flujo de dializante, luego de esto en 20 segundos se cambia a la cámara de cambio, y se puede dar en el proceso de enjuague con agua, se distingue por un sonido intermitente 7 veces, y en los procesos de preparación, fin de la preparación, diálisis y recuperación por medio de un sonido continuo. Se detienen los flujos en la línea de fluidos.

Esta es tal vez la alarma más común y la más difícil de solucionar, ya que se puede presentar por un gran número de causas, pero las más comunes suelen ser:

- Flujo insuficiente de agua
- Fallas en el sistema de osmosis inversa
- Además esta alarma puede activar a otras, ya que puede alarmar sobre una temperatura fuera de rango, una invasión de aire al circuito de diálisis, etc. Entonces si encontramos varias alarmas activadas a la vez, es esta la que debe ser corregida primeramente, ya que pueden ser corregidas las otras en caso de que hubiesen sido activadas por esta.

3.3.2.10. Problemas de operación en la bomba de sangre

Cuando se despliega el error E30 existen algún problema de sobrecarga, rotación en la dirección incorrecta o una velocidad de rotación anormal en la bomba de sangre, que se puede presentar durante cualquier proceso de enjuague que es identificable por un sonido intermitente de 7 tiempos, o durante los procesos de purga de aire, espera de diálisis, preparación, final de la preparación, diálisis y recuperación, por medio de un sonido continuo, aunque no se detiene ningún proceso.

El error E31 corresponde a una detención de la bomba de sangre que se da únicamente durante el proceso de diálisis por medio de un sonido continuo y que detiene el proceso de UF. Esto se puede deber a que se abrió la cubierta de la bomba, se activó el interruptor de apagado, o se ha programado a cero el volumen de rango de flujo.

3.3.2.11. Falla en la ultrafiltración

Se presenta principalmente por una mala conexión entre el circuito dializador y la máquina, en particular la que se encarga de proporcionar la presión para la extracción del líquido al paciente y la tarjeta controladora de UF. Todas las alarmas que se han presentado hasta el momento son capaces de parar la bomba de sangre a través del circuito dializador, es decir inhabilitar la bomba de sangre, por lo cual es de gran importancia atenderlas de forma inmediata.

3.3.2.12. Falla de operación en la bomba de heparina

Se puede presentar por que se ha terminado la heparina en la jeringa o se ha obstruido el flujo de esta hacia el torrente sanguíneo, por alguna oclusión externa en la línea.

3.3.2.13. Otras fallas menos comunes

Luego vienen una serie de alarmas que no suelen presentarse con mucha frecuencia, pero que de todos modos se deja un registro de algunas de ellas:

El error E32 corresponde a un error en la posición de CLV, y se da como consecuencia de una posición anormal del sujetador. Este detiene cualquier proceso de enjuague en que se encuentre y la purga de aire, se identifica por medio de un sonido audible 7 veces de 1 segundo aproximadamente cada uno. La espera de diálisis, la preparación, final de preparación, diálisis y recuperación, el cual podemos identificar por medio de un sonido continuo.

El error E33 y E34 indica que existe una anormal viscosidad dentro de las bombas A y B respectivamente y que ocasionara que la línea de fluidos se detenga por seguridad. Esta situación detiene el proceso de enjuague y se corrobora por medio de un sonido audible de siete tiempos, y en los procesos de preparación, final de preparación, diálisis y recuperación, con un sonido continuo.

El error E35 indica que el volumen de extracción de la bomba esta fuera de operación de límites aceptables, el cual genera la detención de la línea de fluido. Cuando se encuentra en el proceso de enjuague se detecta por una

alarma audible de siete tiempos y en los procesos de preparación, final de preparación, diálisis y recuperación por un sonido continuo.

Los errores que corresponden a E36, E37, E38 y E39 cierran el circuito de las bombas A y B respectivamente debido a una fuga o gotera, que se puede deber a una presión negativa insuficiente dentro de las cámaras A y B, debido a que no llega a tiempo la puesta de presión o a que la presión negativa esta fluctuando de una manera anormal. Este solo se da durante el proceso de enjuague con agua, y se detecta por medio de una alarma audible de 7 tiempos.

Los errores E40 al E 43 tienen las mismas características que las anteriores, solamente que acá la que falla es la presión positiva de las cámaras.

La mayoría de las alarmas de error se pueden ser poner nuevamente a los valores iniciales presionado simplemente el interruptor de mudo y continuar (reset) luego de haber solucionado el problema, algunas vuelven automáticamente a la normalidad cuando se ha solucionado y otras pueden ser liberadas desde el modo de mantenimiento.

3.4. Pruebas mecánicas

Estas se realizan con el fin de comprobar físicamente el desgaste y deterioro que han tenido los componentes durante el tiempo anterior de funcionamiento de la máquina.

3.4.1. Bomba de sangre

Para revisar este dispositivo se debe de seguir una rutina con los pasos de la siguiente forma: remover la grasa que se encuentra entre los engranes para evitar que estos se maltraten, (en caso de que esté presente algún elemento sólido que pueda afectar la integridad física de los engranes) y exista menor fricción entre ellos, en este punto se debe tener mucho cuidado sobre todo con la contaminación de algún elemento electrónico, al final debe de ser cambiada por grasa nueva y no dejar el motor sin grasa lubricante. Calibrar el diámetro interno del conducto por el cual se hará pasar el circuito dializante, es decir la porción del circuito dializante que estará en contacto con los rodillos del motor.

3.4.2. Bombas viscosas (acetato y bicarbonato)

Se necesita verificar la proporción de 34:1 de agua con respecto al dializado y se verifica primeramente que no existan goteras o fisuras en las entradas de alimentación, una evaluación de las válvulas y luego seguir los siguientes pasos:

- A. Revisión de las conexiones a la bomba para verificar si no presentan algún tipo de problemas.
- B. Además de los carbones de los motores al igual número de horas de trabajo, revisar resortes, empaques, segmentos de plástico y mangueras, las cuales es recomendable su cambio cada 4 000 horas.
- C. Finalmente chequear el estado de las conexiones eléctricas de los motores al sistema, especialmente que el aislamiento sea el adecuado.

3.4.3. Bomba de heparina

Desmontar el cojinete de la bomba, este debería moverse libremente a través de su conducto y no deberá mostrar resistencia alguna, esta es una revisión sencilla.

3.4.4. Conectores para las mangueras de los dializantes

Acá se realiza la revisión del estado físico de los empaques de las mangueras de interface entre los recipientes contenedores de las soluciones dializantes y la máquina.

3.4.5. Trampas

El estado general de las trampas arterial y venosa del sistema, además de realizar su calibración con respecto a la bomba de sangre en el caso de la trampa arterial, es decir que se calibra con la bomba en función del diámetro y frecuencia de calibración de la misma (flujo de sangre que este impulsará).

3.4.6. Compartimientos hidráulicos

Para realizar acciones preventivas al sistema hidráulico, se debe realizar una revisión minuciosa de la vía principal de la toma de agua y verificar si esta no presenta fisuras o goteras, que tras una revisión puede ser que solo requiera reparación o si se encuentra en muy malas condiciones será necesario sustituirla. Dentro del sistema hidráulico de la máquina se cuenta con 3 bombas son:

- La bomba de ultrafiltración
- La bomba de ácido o acetato
- La bomba de bicarbonato

Se debe además realizar una inspección a los empaques y las mangueras que alimentan a estas bombas para determinar si no se encuentran dañadas o presentan fisuras. Es recomendable que los empaques y las mangueras se cambien por nuevas por cada 500 horas de trabajo, para mantener el sistema en óptimas condiciones de funcionamiento.

3.4.7. Interface hidráulica-eléctrica

Acá se realiza la revisión de todos los sensores y sus respectivas conexiones con los controles de las bombas a sus monitores de control, al igual se revisan las conexiones de las bombas impulsoras de los diferentes líquidos con sus respectivas tarjetas de control.

3.5. Pruebas electrónicas

Una de las rutinas de mantenimiento preventivo más importante, es la revisión electrónica de la máquina ya que de ello depende de manera muy directa su buen funcionamiento. La máquina consta de una serie de módulos electrónicos para diferentes actividades. Estos se calibran con valores patrones de voltaje y frecuencia, cada una de las etapas tiene un punto donde se pueden calibrar (potenciómetro) y son muy importantes ya que de una buena calibración depende su sensibilidad, el tiempo de funcionamiento y su frecuencia, que son los parámetros a controlar durante el proceso de la hemodiálisis y así disminuir las molestias del paciente.

El riñón artificial cuenta con un microprocesador que indica cuando todos los parámetros se encuentran en buenas condiciones o en caso contrario indica cuál de los componentes en los módulos debe de ser revisado o reemplazado, para realizar este procedimiento se lleva a cabo la activación del botón de test, y si fuera el caso de que alguno de los parámetros se encuentre fuera de los rangos permitidos, el equipo nos indicará específicamente cual es este parámetro que hay que modificar.

3.6. Propuesta de mejoras alternativas

A manera de mejorar el funcionamiento del Departamento de Hemodiálisis del Hospital General San Juan de Dios además de la implementación del manual de mantenimiento de la Unidad de Hemodiálisis, es necesario realizar al menos mensualmente un análisis microbiológico del agua de entrada a las unidades, la capacitación del personal existente, modificar y ampliar los espacios físicos y un adecuado manejo de los desechos médicos, además de ser posible adquirir equipo de monitoreo y reanimación de pacientes.

CONCLUSIONES

1. El principal problema encontrado dentro del Departamento de Hemodiálisis del Hospital General San Juan de Dios, es que a las unidades no se les aplica de una manera constante y programada el mantenimiento preventivo, debido en gran parte a la falta de presupuesto y solo se realizan reparaciones forzadas sobre la marcha. Esto sin contar con el poco tiempo disponible para ello debido a la gran demanda en sesiones que se tiene por parte de los pacientes y las pocas máquinas con que se cuenta.
2. La gran mayoría de los operadores y personal de enfermería involucrado en el funcionamiento y mantenimiento de las máquinas, carecen de todo conocimiento en cuanto al manejo adecuado de este tipo de equipo, lo que los hace manipular a veces de forma involuntaria los parámetros ya establecidos que por consiguiente generaran un mal funcionamiento y desperfecto de las máquinas, provocando así pérdidas de tiempo y dinero para la institución.
3. La seguridad en torno al paciente y al personal es un tema importante, el cual no debe de pasarse por alto, por lo que hay que aumentar la seguridad del equipo médico y evitar así que la vida del paciente corra peligro por factores que no sean estrictamente problemas de salud, ya que los pacientes acuden al hospital para mejorarla y no para recibir algún daño o perjuicio que les pueda ocasionar lesiones o hasta la muerte. Esto debido a que Guatemala hasta el momento carece de una

legislación adecuada que pueda regir los factores de seguridad dentro de las instituciones de salud, sobre todo públicas.

RECOMENDACIONES

Al Departamento de Hemodiálisis del Hospital General San Juan de Dios:

1. Planificar la implementación a corto plazo de un adecuado sistema de tratamiento de agua que se ajuste a las necesidades reales del departamento y que cumpla con las especificaciones internacionales de la AMMI, con el objetivo de proteger a las máquinas de hemodiálisis y evitar efectos secundarios indeseados en los pacientes.
2. Realizar frecuentemente un análisis microbiológico, de control de dureza, contenido de cloraminas y metales presentes en el agua de entrada y salida del sistema de tratamiento.
3. Gradualmente efectuar un cambio de personal o capacitar al personal existente de enfermería y operario del departamento a un nivel de licenciatura en enfermería con fuertes conocimientos teóricos y técnicos en lo referente a procesos y actividades de mantenimiento de las unidades de hemodiálisis.
4. Evaluar y modificar los espacios físicos actualmente existentes, con el objetivo de que cumplan con los requisitos mínimos de funcionamiento de este tipo de maquinaria, haciendo énfasis en las instalaciones sanitarias, debido a pacientes con enfermedades infectocontagiosas u otras indicaciones médicas de aislamiento.

5. Adquirir equipo de apoyo para monitoreo y reanimación de funciones básicas de los pacientes en caso de emergencia.
6. Mejorar el manejo de los desechos médicos para evitar contaminación e infecciones en otras personas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Diccionario de Medicina*. 4a ed. España: Océano, 2002. 1568 p.
2. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Daniel. *Hemodiálisis: Función Renal Artificial, Teoría y Práctica*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, 1996. 79 p.
3. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos, BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. 3a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2003. 850 p.
4. Nipro Corporation. *Single Patient Dialysis Unit*, Osaka Japan: Nipro, 2009. 260 p.
5. SARCEÑO ZEPEDA, Edwin Estuardo. *Evaluación del sistema que alimenta agua tratada a las Máquinas de Hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen insuficiencia renal*. Director: Carlos Humberto Pérez Rodríguez. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado, 2007. 8

ANEXOS

SEGÚN ACUERDO MERCOSUR/GMC/RES. Nº 28/00

Los países sudamericanos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, incorporaron la presente resolución a sus ordenamientos jurídicos nacionales antes del 1ro de enero del 2001, por medio de sus respectivos organismos ante la conveniencia de contar con normas básicas armonizadas para la habilitación de servicios de diálisis. Actualmente estas normativas sirven de referencia para todo el resto de países de América Latina, entre ellas Guatemala, aunque no se han adoptado legalmente. La resolución fue firmada por los 4 países en Buenos Aires el 28 de junio del 2000 y sigue en plena vigencia hasta el día de hoy sin cambios de mayor trascendencia.

REQUISITOS BÁSICOS PARA LA HABILITACIÓN DE SERVICIOS DE DIÁLISIS

Definición: es un servicio donde se realiza tratamiento a los pacientes que requieren sustitución de la función renal y depuración de la sangre, por la metodología de la diálisis extracorpórea o peritoneal. Los servicios y unidades deberán presentar las condiciones mínimas para habilitación y funcionamiento con respecto a: infraestructura física, aparatos y equipos de uso médico y personal médico y de enfermería establecidas por vía de esta norma. El procedimiento de diálisis podrá aplicarse únicamente en unidades que hayan sido formalmente habilitadas por la autoridad sanitaria competente. Las unidades/servicios extra-hospitalarios deben disponer de un hospital o institución similar de referencia que tenga recursos materiales y humanos

compatibles con la atención de pacientes sometidos a tratamiento dialítico, en situaciones de interurrencias o emergencias, localizado en un área próxima y de fácil acceso.

Requisitos: los requisitos establecidos para estas unidades/servicios son:

Personal

A. Dirección

Un médico jefe de servicio, especialista en nefrología

B. Staff

Médicos especialistas en nefrología, en cantidad suficiente para asegurar la atención médica permanente durante el horario de funcionamiento del servicio, y/o mientras se encuentren en la unidad pacientes en proceso de diálisis y /o bajo cuidado circunstancial por interurrencias.

Enfermeros de nivel superior o Licenciados en enfermería, todos con capacitación en diálisis, en cantidad suficiente para la atención a los pacientes en tratamiento en el servicio.

Auxiliares de enfermería con experiencia en diálisis, en cantidad suficiente para la atención a los pacientes en tratamiento en el servicio.

Personal de apoyo (limpieza, administrativo y otros)

* Todo personal deberá ser protegido mediante inmunización activa con vacuna anti hepatitis B.

Planta física: los requerimientos mínimos para la planta física son los siguientes:

- Instalaciones generales: sala de espera, puesto de enfermería, sala de utilidades (enfermería sucia). Consultorio médico, área de administración, vestuarios, baños, depósito de materiales, depósito de concentrados, área de procesamiento de filtros, sala para tratamiento de agua.
- Sala para hemodiálisis: superficie entre cinco y seis metros cuadrados para cada uno de los pacientes dializados simultáneamente y con espacio suficiente para la circulación entre cada puesto de diálisis (sillón-cama) con entre setenta centímetros y un metro.
- Local aislado: con baño propio, para diálisis de pacientes con enfermedades infectocontagiosas u otras indicaciones médicas de aislamiento, con las mismas dimensiones descritas anteriormente.
- Todas las paredes y pisos de las instalaciones del servicio deberán estar revestidas o pintadas con material que asegure su impermeabilidad y facilite su limpieza y desinfección, siendo recomendado la utilización de un zócalo sanitario en la sala de diálisis.

Equipamientos: los requerimientos mínimos para los equipamientos son los siguientes:

Las máquinas y / o aparatos para la aplicación de diálisis deberán poseer:

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

Equipamientos de apoyo:

- Electrocardiógrafo
- Equipo de reanimación, con ventilador manual, laringoscopio, tubos endotraqueales para intubación y desfibrilador cardíaco disponible.
- Oxígeno y su medio de administración
- Aspirador portátil

Tratamiento de agua: la unidad deberá garantizar un sistema de tratamiento del agua que permita la obtención de agua tratada para diálisis, con las siguientes características mínimas de calidad:

Componentes	Niveles máximos permitidos
Bacterias	200 UFC/ml
Nitrato (NO ₃)	2 mg/l
Aluminio	0.01 mg/l
Cloramina	0.1 mg/l
Cloro	0.5 mg/l
Cobre	0.1 mg/l
Fluoruro	0.2 mg/l
Sodio	70 mg/l
Calcio	2 mg/l
Magnesio	4 mg/l
Potasio	8 mg/l
Bario	0.1 mg/l
Zinc	0.1 mg/l
Sulfato	100 mg/l
Arsénico	0.005 mg/l
Plomo	0.005 mg/l
Plata	0.005 mg/l
Cadmio	0.001 mg/l
Cromo	0.014 mg/l
Selenio	0.09 mg/l
Mercurio	0.0002 mg/l

Se debe contar con reservas de agua potable en calidad suficiente para por lo menos, dos días de funcionamiento de la unidad de servicio.

La reserva de agua tratada debe tener las siguientes características:

- Poseer tanques contruidos de material opaco, liso, resistente, impermeable, inerte y exento de amianto, de forma de imposibilitar la contaminación química y microbiológica del agua, y facilitar los procedimientos de limpieza y desinfección y ser cerrados de forma que impidan la contaminación proveniente del exterior.
- Estar dotado de un sistema de recirculación continuo de agua.
- Estar al abrigo de la incidencia directa de la luz solar.

Material descartable y / o reutilizable:

Los materiales descartables y /o reutilizables para uso en diálisis deberán reunir las características de calidad exigibles por la reglamentación de la autoridad sanitaria competente de cada país:

- Materiales descartables no reutilizables: agujas y jeringas
- Material descartable reutilizable: los dializadores, podrán reutilizarse cuando se cuente con tecnología científicamente probada, que permita un correcto lavado, desinfección, evaluación de rendimiento y almacenamiento. Los dializadores a reutilizar deberán ser individualizados y marcados en forma indeleble y clara con el nombre del paciente y la fecha de colocación inicial. El dializador no podrá ser usado en más de un paciente. El control mínimo de calidad para reutilización, es la determinación del volumen interno de los capilares (priming) con por lo menos el 80% del valor inicial.

Ambiente ideal para realizar una sesión de hemodiálisis

