



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
PARA HEMODIÁLISIS”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Juan Jose Palomino Quispe

Asesor:

Ing. Willy Roberto Mantilla Correa

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios.

*Por ser quien me cuida y me guía en este camino
hacia mi futuro.*

A mis padres.

*Porque me inculcaron la perseverancia, el nunca
dejar de lado mis sueños y siempre confiar en Dios.*

A mi familia.

*Por su comprensión y apoyo en este tiempo que llevo
estudiando, me ayudan a crecer en lo personal y
ahora en lo profesional, son una gran motivación.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por formarme y prepararme para enfrentar los retos que me prepara la vida fuera de la universidad. Sin olvidar un agradecimiento muy especial a mi asesor y a las personas que de forma directa e indirecta aportaron a la culminación de este trabajo.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES	39
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento necesario para la instalación del sistema de aprovechamiento de agua residual.....	30
Tabla 2. Cuadro de precios por consumo de agua en la provincia de Trujillo – sedalib....	35
Tabla 3. Cuadro de costo consumo mensual de agua para planta de tratamiento de agua en hemodiálisis.....	36
Tabla 4. Cuadro de costo mensual de consumo de agua para servicios higiénicos de hemodiálisis.....	36
Tabla 5. Cuadro de costo total de consumo de agua en la unidad de hemodiálisis.....	36
Tabla 6. Cuadro de costo aproximado de consumo de agua en HD.....	37
Tabla 7. Insumos necesarios en la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama institucional JAK BIOMEDICAL SERVICE E.I.R.L.	09
Figura 2. Conexión arteria-venosa en paciente renal	11
Figura 3. Máquina de hemodiálisis de marca: Fresenius	12
Figura 4. Máquina de hemodiálisis de marca: Nipro	13
Figura 5. Máquina de hemodiálisis de marca: Gambro	13
Figura 6. Vista interna de un dializador para hemodiálisis	14
Figura 7. Vista real de un dializador para hemodiálisis	15
Figura 8. Esquema de funcionamiento de una planta de tratamiento de agua para Hemodiálisis	16
Figura 9. Vista interna de filtro multimedia	17
Figura 10. Calidad del agua blanda	19
Figura 11. Vista interna de un filtro ablandador	19
Figura 12. Vista interna del filtro de carbón	21
Figura 13. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa	22
Figura 14. Elementos típicos de una membrana de OI (John C. Crittenden et al.)	23
Figura 15. Elementos que son eliminados por la ósmosis inversa	24
Figura 16. Equipo de ósmosis inversa	25
Figura 17. Electrobomba centrífuga	26
Figura 18. Instalación típica de un equipo de radiación UV	27
Figura 19. Instalación de conexiones para el aprovechamiento del agua residual	29
Figura 20. Consumo en un turno por 01 máquina de hemodiálisis	34
Figura 21. Consumo diario de agua en una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis	35
Figura 22. Producción de la ósmosis inversa	35
Figura 23. Índice porcentual de agua de rechazo	35
Figura 24. Gráfico de barras del costo aproximado en el consumo y ahorro de agua	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

Agua osmotizada consumida	34
Agua residual producida	34
Agua total consumido	35
Costo mensual de consumo de planta de tratamiento de agua para Hemodiálisis	36
Costo mensual de consumo de agua en servicios higiénicos en Hemodiálisis	36
Costo total mensual de consumo de agua en Hemodiálisis	36

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como objetivo general el desarrollo de la “Propuesta de Aprovechamiento de agua residual de una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis” Trujillo – 2020. La empresa de la salud dedicada al tratamiento de pacientes con insuficiencia renal crónica requiere máquinas de hemodiálisis, las cuales usan para su funcionamiento aparte de energía eléctrica, agua ultrapura, la cual se consigue mediante una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis. Para lograr dicho fin, necesitamos de una serie de procesos para lograr la calidad necesaria, que es menor a 5 uS de conductividad, la cual exige el ministerio de salud. La planta de tratamiento de agua para hemodiálisis alimenta en promedio a 14 máquinas de hemodiálisis, ya sea en una clínica u hospital. Por tal motivo el consumo de agua potable es alto. Una planta de tratamiento de agua estándar para hemodiálisis puede producir 4 galones de agua por minuto y para producir dicha cantidad elimina 6 galones de agua por minuto. El cual se puede aprovechar alrededor de 150% de agua de rechazo por todo de agua producida para hemodiálisis. Para reducir los costos en el consumo de agua potable y distribución del agua residual de la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, se aprovecha el funcionamiento de la electrobomba del ósmosis inversa y por la presión que tiene puede llegar hasta 2 pisos arriba y es almacenado en un tanque de almacenamiento con un dosificador de cloro para poder potabilizarlo, se aprovecha la caída por gravedad para alimentar con agua los servicios higiénicos y en caso haya un exceso de producción el riego de áreas verdes. Así concluimos que es una buena opción el poder aprovechar el líquido desperdiciado y con bajo costo de inversión se puede darle buen uso.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

la empresa JAK BIOMEDICAL SERVICE E.I.R.L. Fué creada el 27 de agosto del año 2015, por mi persona, el Sr. Juan Jose Palomino Quispe, cuando inicié mi carrera profesional de ingeniería industrial en la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, vi la oportunidad de poder crear una empresa en un rubro donde tenía hasta ese entonces 12 años de experiencia y con los conocimientos que iba adquiriendo en la universidad, poder mejorarlo y hacerlo crecer. A la fecha cuento con 2 personales de planta y 5 personales adicionales por proyecto. la empresa JAK BIOMEDICAL SERVICE E.I.R.L. Brinda los servicios especializados en Mantenimiento y reparación de equipos médicos hospitalarios, fabricación e instalación de tableros eléctricos, reparación y mantenimiento de grupos electrógenos, reparación de y mantenimiento de máquinas de hemodiálisis, diseño e implementación de plantas de tratamiento de agua para hemodiálisis, cadena de frio, entre otros.

ORGANIGRAMA JAK BIOMEDICAL SERVICE E.I.R.L.

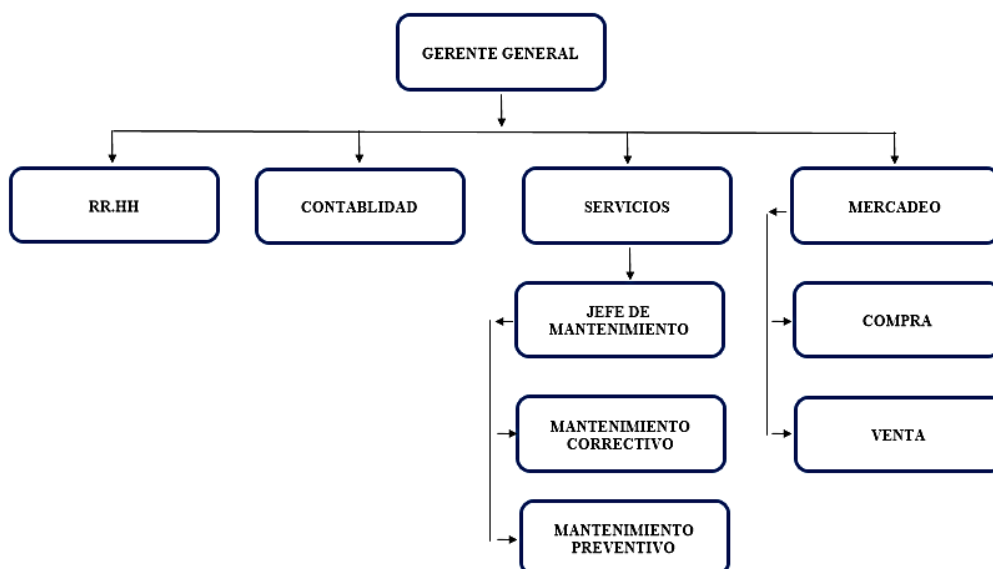


Figura 1. Organigrama institucional JAK BIOMEDICAL SERVICE E.I.R.L. 2020

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Ante todo, debemos conocer el motivo de implementar una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis y conocer los componentes que integran este proceso. También conocer el uso del agua ultrapura y sobre todo algunos conceptos para facilitar la comprensión de la propuesta.

Insuficiencia renal

Se define como Insuficiencia Renal a la pérdida de la función de los riñones; independientemente de cuál sea la causa, la insuficiencia renal se clasifica en aguda, sub-aguda y crónica en función de la forma de aparición y, sobre todo, en la recuperación y no de la lesión.

Mientras que la insuficiencia renal aguda es reversible en la mayoría de los casos, la forma sub-aguda lo es en menor frecuencia, y la insuficiencia renal crónica necesita del tratamiento sustitutivo (diálisis) de por vida o hasta que sea reemplazado el órgano afectado mediante una intervención quirúrgica.

La insuficiencia renal puede ser producida por una variedad de causas como las infecciones y lesiones en áreas que comprometan al riñón, la inflamación de la unidad renal, neuropatías en general, la diabetes, la hipertensión y la aterosclerosis. Sea cual sea la causa, el problema es que el riñón deja de realizar el filtrado de sustancias tóxicas y de manera eventual o permanente se instaura un proceso caracterizado por la acumulación de estas sustancias en la sangre, especialmente la urea, denominado uremia.

La tasa de insuficiencia renal en adultos entre 65-74 años es seis veces superior que entre los de 20-44 años. Igualmente, las personas de raza negra presentan una tasa de insuficiencia renal tres veces superior que los blancos. Con relación al sexo, la

incidencia es mayor en los hombres que en las mujeres (entre el 55 y 60% de los pacientes son varones). A pesar de ello, algunas enfermedades causantes de la insuficiencia renal son más frecuentes en las mujeres.

Tratamiento sustitutivo

Existen tres modalidades de tratamiento sustitutivo: la hemodiálisis, la diálisis peritoneal y el trasplante renal. Cada una de ellas es complementaria de las otras, así un paciente que requiere un trasplante requerirá hemodiálisis o diálisis peritoneal hasta que se produzca una donación. (*Manual educativo para pacientes en diálisis peritoneal continua ambulatoria C.A.P.D. 1993*)

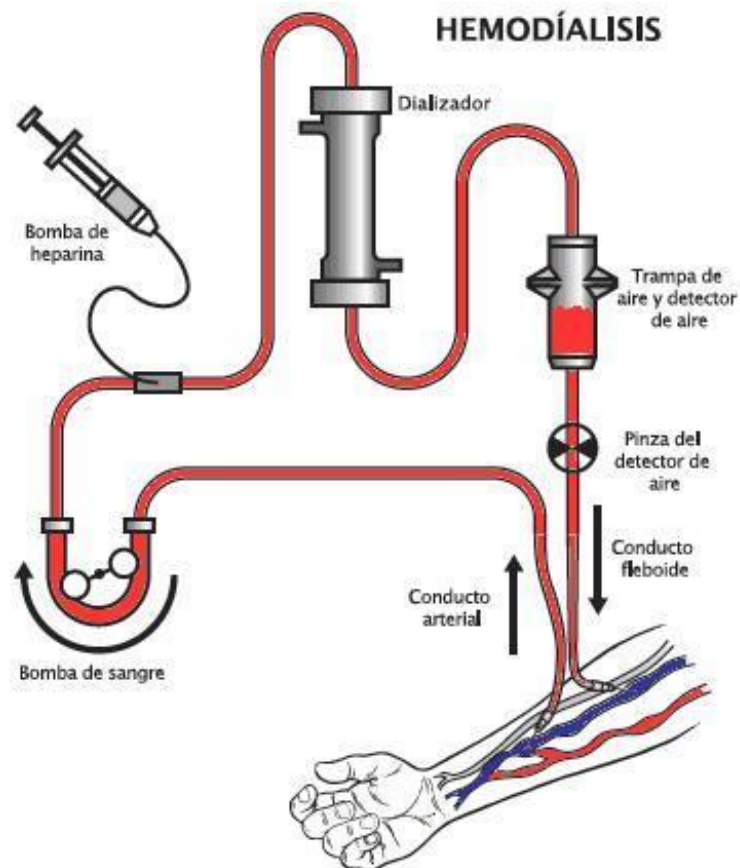


Figura 2. conexión arteria-venosa en paciente renal, Nefrológica san Lucas, Chile, 2017

Máquina de Hemodiálisis

La máquina de hemodiálisis es un producto sanitario que realiza la función de bombear la sangre del paciente y el dialisato a través del dializador. Las máquinas de diálisis más recientes del mercado están altamente computarizadas y monitorizan continuamente un conjunto de parámetros de seguridad críticos, incluyendo tasas de flujo de la sangre y el dialisato, la presión sanguínea, el ritmo cardíaco, la conductividad, el pH, etc. Si alguna lectura está fuera del rango normal, sonará una alarma audible para avisar al técnico que está supervisando el cuidado del paciente. Los fabricantes más grandes de máquinas de diálisis son Fresenius, Gambro, Nipro y B. Braun.

Una parte importante de los equipos siempre es verificar que las rutinas de limpieza y desinfección internas y externas tengan un estricto sistema de control favorecidos por agentes químicos desinfectantes. Para garantizar la seguridad del paciente, estos deben de llevarse a cabo con la periodicidad, según la necesidad y el uso de los equipos considerando sus características y especificaciones del fabricante para que así también se optimice la vida del equipo



Figura 3. Máquina de hemodiálisis, Fresenius Medical care, Alemania, 2019



Figura 4. Máquina de hemodiálisis, Nipro Medical Corporation, EE.UU, 2019



Figura 5. máquina de hemodiálisis Baxter Company, Alemania, 2018

Dializador

El dializador, o riñón artificial, es un producto sanitario y es la pieza del equipo que filtra la sangre. Uno de los tipos más populares es el dializador hueco de fibra, en el cual la sangre corre a través de un paquete de tubos capilares muy finos, y el dialisato se bombea en un compartimiento que baña las fibras. El proceso mimetiza la fisiología del glomérulo renal y el resto del nefrón. Los gradientes de presión son usados para remover líquido de la sangre. La membrana en sí misma a menudo es sintética, hecha de una mezcla de polímeros. Los dializadores vienen en muchos tamaños diferentes. Un dializador más grande generalmente se traducirá en una mayor área de membrana, y por lo tanto en un aumento en la cantidad de solutos removidos de la sangre del paciente. Diferentes tipos de dializadores tienen diversos aclaramientos (clearance) para diferentes solutos. El nefrólogo prescribirá el dializador a ser usado dependiendo del paciente. El dializador puede ser tanto desechado como reutilizado después de cada tratamiento.

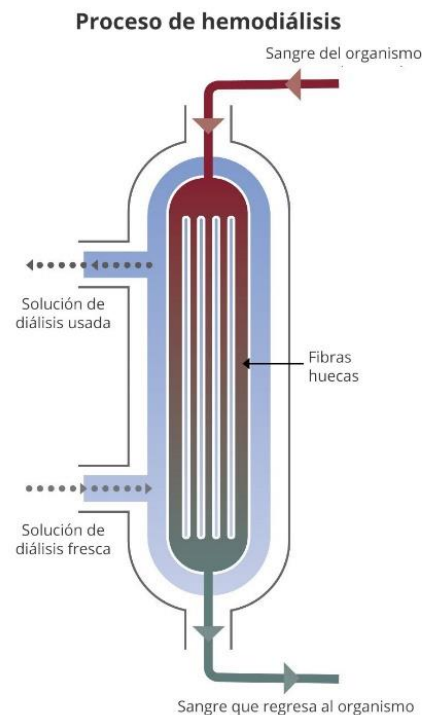


Figura 6. vista interna de un dializador para hemodiálisis, Nefrológica San Lucas, Chile, 2017



Figura 7. vista real de un dializador para hemodiálisis, Nipro medical corporation, EE.UU, 2019

Planta de tratamiento de agua para hemodiálisis

Un extenso sistema de purificación del agua es absolutamente crítico para la hemodiálisis. Puesto que los pacientes de diálisis están expuestos a vastas cantidades de agua que se mezcla con el baño ácido para formar el dialisato, incluso pueden filtrarse en la sangre trazas de minerales contaminantes o endotoxinas bacterianas. Debido a que los riñones dañados no pueden realizar su función prevista de quitar impurezas, los iones que se introducen en la corriente sanguínea por vía del agua pueden aumentar hasta niveles peligrosos, causando numerosos síntomas incluyendo la muerte. Por esta razón, el agua usada en hemodiálisis es típicamente purificada usando ósmosis inversa. También es revisada para confirmar no contiene iones de cloro y cloraminas, y su conductividad es continuamente monitoreada, para detectar el nivel de iones en el agua.

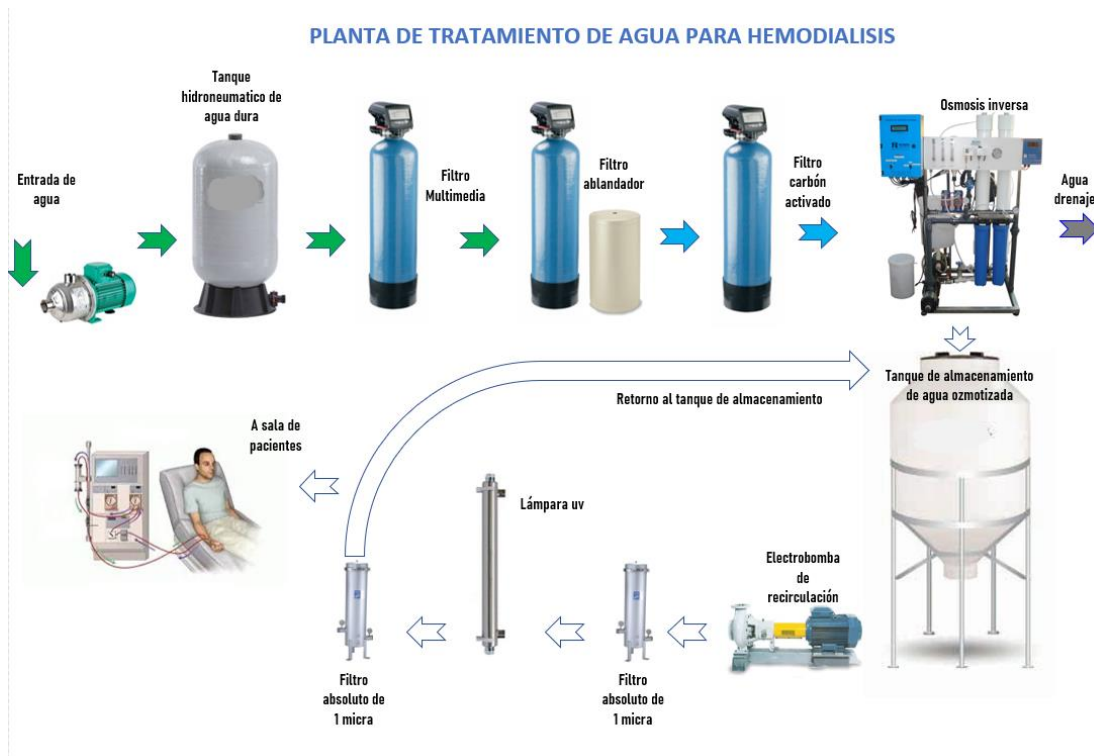


Figura 8. Esquema de funcionamiento de una planta de agua de agua para hemodiálisis, Hospital Víctor Lazarte Echeagaray, 2020.

Filtro multimedia

Los Filtros multimedia están diseñados para poder filtrar sólidos suspendidos en el agua por medio de varias capas de medios filtrantes de más grueso a más fino. Este diseño hace que las partículas más grandes queden atrapadas en las capas superiores y las más pequeñas en las inferiores. Tal diseño maximiza la capacidad de atrapar partículas que pueden ser arenilla, óxidos, orgánicos y sedimentos en general desde 10-15 micrones a más. Los medios filtrantes son seleccionados por densidad y tamaño para que después las partículas acumuladas se puedan retro lavar y auto limpiar de forma automática usando válvulas de última generación. En este proceso el flujo del filtro se invierte y el agua sucia se va por el drenaje para posteriormente pasar por un enjuague y quedar listo para el servicio. Las válvulas Pentair tienen un controlador digital logix que permite programar el inicio del retro lavado y variar los tiempos. Las válvulas tienen la opción de retro lavar por tiempo o por volumen.

Aplicaciones o Usos:

- Filtración para la industria en general como agua para calderas y torres de enfriamiento.
- Filtración de agua para la agroindustria, lavados.
- Potabilización de agua de pozo, lagunas y ríos.
- Pre - tratamiento de equipos osmosis inversa.
- Filtración de agua para procesos industriales.
- Filtración para procesos de aguas residuales.
- Filtración para plantas de llenado de bidones.

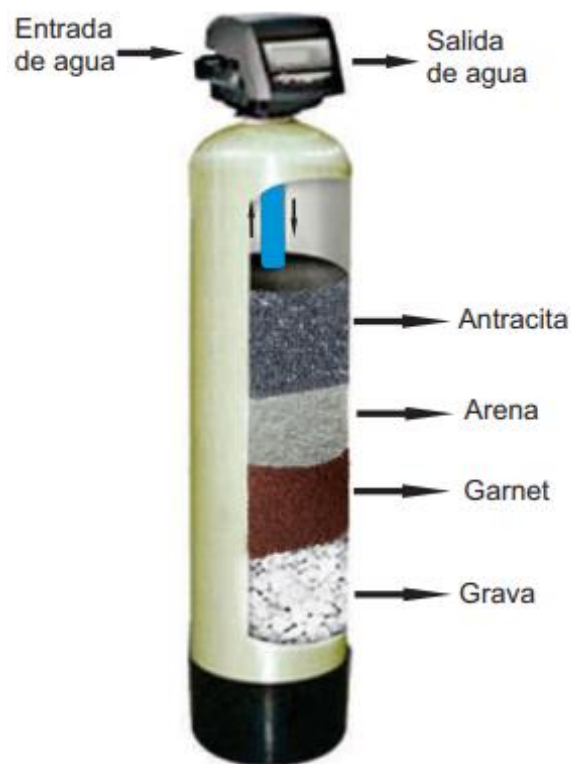


Figura 9. vista interna de filtro multimedia, merinsac, Perú, 2019

Filtro ablandador

Un suavizador o ablandador de agua, es un sistema que hace pasar el agua dura a través de una cama de resinas de intercambio iónico, y como resultado a la salida, se obtiene agua con bajo contenido de dureza.

Los equipos suavizadores contienen resina de intercambio catiónico de ácido fuerte, la cual es una matriz polimérica sintética, capaz de atraer y retener cargas iónicas positivas. El mecanismo por el cual se elimina la dureza del agua, es en realidad un intercambio iónico. Los iones que provocan la dureza del agua son principalmente el Calcio (Ca^{2+}) y Magnesio (Mg^{2+}). El intercambio iónico es entonces, una sustitución de Ca^{2+} y Mg^{2+} por iones de sodio, potasio o hidronio (Na^+ , K^+ o H^+). La suavización o ablandamiento del agua es la reducción del calcio y magnesio del agua.

Su principal propósito es evitar incrustaciones o formaciones de sarro en superficies, tuberías y equipos, como intercambiadores de calor, que se encuentren en contacto con la misma.

El agua dura, es la que tiene un alto contenido de minerales de calcio y magnesio, en contraste con agua blanda o suavizada. El agua dura se forma cuando corre a través de depósitos minerales de calcio y magnesio, como la piedra caliza, creta y dolomita.

Los iones de dureza no permiten la reacción del jabón con el agua, prohibiendo la producción de espuma. Otra forma de comprobar que hay dureza en el agua es observar incrustaciones, formación de depósitos de sarro en tuberías y calentadores de agua. Para las industrias, las pruebas en laboratorio son la manera más precisa para determinar la dureza.

ppm de CO_3Ca	Tipo de Agua
Menos de 75 ppm	Blanda
75-150 ppm	Semidura
150-300 ppm	Dura
Más de 300 ppm	Muy Dura

Figura 10. calidad del agua blanda, merinsac, Perú, 2019

La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), identifica al agua menor a 60 ppm como blanda, refiriéndose a que el cuerpo humano necesita de ciertos minerales para su bienestar, por lo cual es considerada como potable. El agua dura por lo general no es dañina para la salud, pero puede traer graves problemas en entornos domésticos e industriales, donde el control de dureza del agua funciona para evitar costosos daños en tuberías, calderas, torres de enfriamiento u otro equipo con tendencias a las incrustaciones. La razón entonces de utilizar suavizadores de agua, es con el fin de evitar problemas en equipos y tuberías.

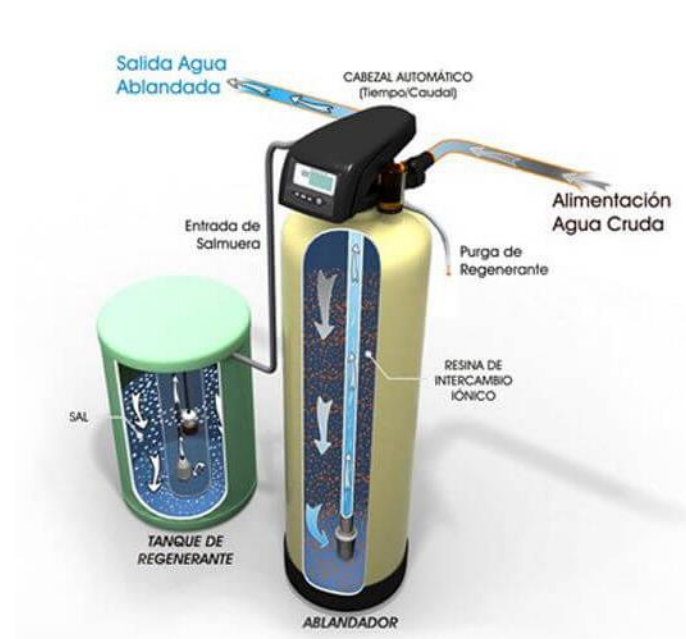


Figura 11. vista interna de un filtro ablandador, merinsac, Perú, 2019

Filtro de carbón activado

Los Filtros de carbón activado son equipos que contienen carbón activado granular, como medio de filtración para remover componentes naturales y/o industriales del agua. Estos equipos están especialmente diseñados para poder remover el cloro y la materia orgánica que es la causante del mal olor, color y sabor en el agua. También remueve orgánicos como fenoles, muchos pesticidas y herbicidas del agua. La activación del carbón produce una excelente superficie de filtración y le permite al carbón activado tener una gran capacidad de absorción de impurezas del agua. Gracias a esta absorción es que el carbón activado llega a tener una gran capacidad de retención. Aproximadamente un pie de carbón activado podría remover cloro libre de un millón de litros de agua que tuviera 1 ppm de cloro (si el diseño es de un flujo de 4 gpm, PH 7 y temperaturas más altas. Para una buena retención de orgánicos del agua es recomendable que los flujos no excedan a más de 1 galón por pie de carbón activado. La vida útil del carbón dependerá de la calidad del agua a tratar y la frecuencia de los retrolavado del filtro, es por eso que se recomienda que estos filtros se retrolaven correctamente para mantener la cama filtrante limpia y en buen estado, con los granos de carbón sin pulverizarse. Nuestros filtros incluyen una válvula automática Pentair para realizar el proceso de retro lavado y enjuague del filtro.

Aplicaciones o Usos

- Pre-tratamiento de equipo y Potabilización de agua.
- Para tratamiento de agua industriales y residuales.
- Para plantas de llenado de bidón.

Características del filtro

- Carbón activado de alta remoción.
- Válvula de control automático, para retro lavar por tiempo o volumen.

- Tanque de polietileno reforzado con fibra de vidrio, de gran resistencia a la corrosión.
- Presión de operación 30 PSI.



Figura 12. vista interna del filtro de carbón, merinsac, Perú, 2019

Nota:

1. Los flujos de la tabla son los sugeridos para lograr el efecto deseado de acuerdo al tiempo de contacto del agua con el carbón activado, diseñado con un residual de cloro de 0.5 ppm.
2. Flujo de operación:
 - Lento (para osmosis inversa).
 - Normal (para olores y sabores) tiempo de contacto de 3 a 5 minutos.
 - Pico (para declaración) tiempo de contacto de 1 a 2 minutos.

Ósmosis inversa

La ósmosis inversa (OI) es un proceso en el cual se reduce el caudal a través de una membrana semipermeable y se ejerce una fuerza de empuje superior a la presión osmótica en dirección opuesta al proceso de ósmosis (Figura 1). De esta forma se logra separar las sustancias que se encuentran en el agua en un lado de la membrana (concentrado) y del otro lado se obtiene una solución diluida baja en sólidos disueltos (permeado).

La ósmosis inversa se usa para desalinizar agua de mar y agua salobre, suavizar aguas, remover materia orgánica y separar de contaminantes específicos del agua.

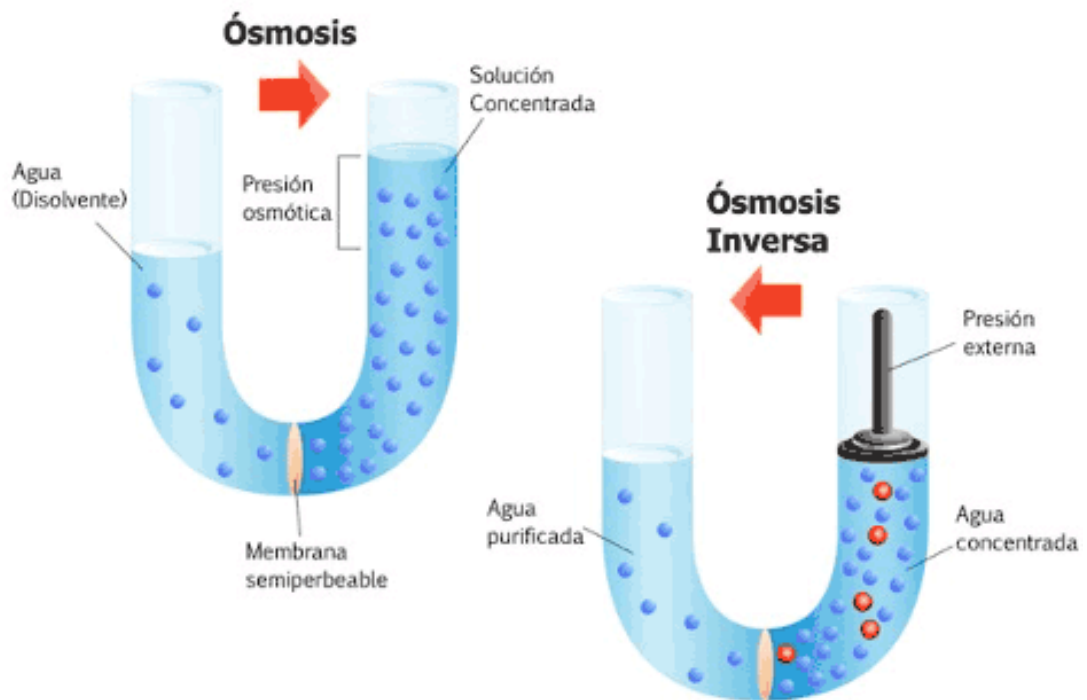


Figura 13. diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa, merinsac, Perú, 2019

Características de una planta de ósmosis

Las plantas de ósmosis inversa requieren de sistemas de pretratamiento, equipo de bombeo de alimentación depósitos presurizados (porta membranas o housings) que contienen a las membranas, equipos de dosificación de químicos, etc. para que estas trabajen de forma adecuada.

Membrana: este elemento se fabrica al enrollar membranas en forma de espiral, suelen medir 40 o 60 pulgadas de largo, y los diámetros más comunes son de 4 o 8 pulgadas. Durante la operación el agua entra a presión por un lado del housing, a medida que esta fluye de forma tangencial a la membrana, parte de ella pasa por la superficie de la membrana hacia el colector de permeado, mientras que el agua con alta concentración de sales sale por el otro extremo de la membrana.

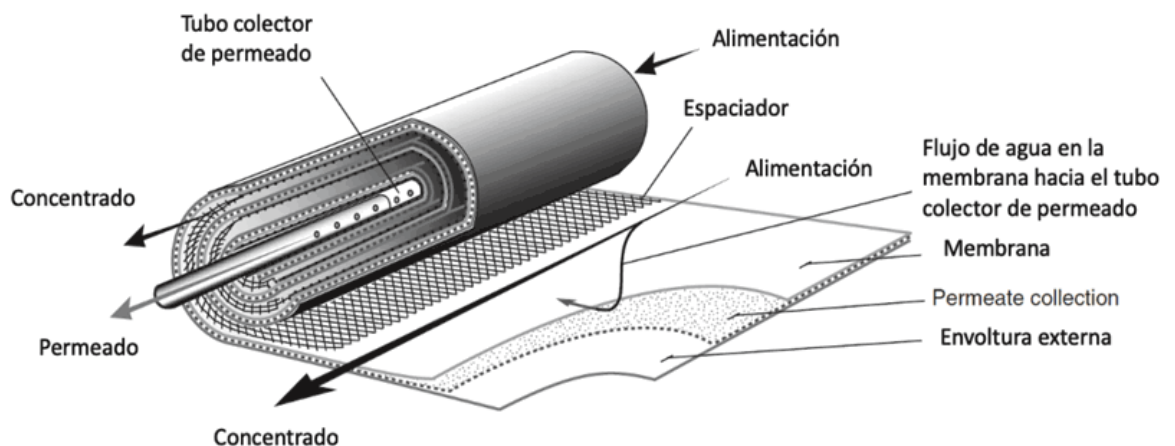


Figura 14. Elementos típicos de una membrana de OI (John C. Crittenden et al.),2011

Estos elementos se pueden instalar en diferentes arreglos, el concentrado de una membrana puede alimentar a otra para incrementar la recuperación del agua. Otro arreglo es el de alimentar una membrana con el permeado de otra, con el objetivo de disminuir aún más la concentración de sólidos disueltos en el agua.

Pre-tratamiento: El tratamiento previo a los sistemas de ósmosis inversa es importante para extender el tiempo de vida de las membranas y obtener un mejor rendimiento en la disminución de sólidos disueltos.

Una de las finalidades del pretratamiento es prevenir las incrustaciones. Este fenómeno generalmente sucede cuando sales de baja solubilidad, como calcio y magnesio, se depositan y se incrustan en los poros de las membranas. El control de incrustaciones consiste en el ajuste de pH (modifica la solubilidad de estas sales) o en la adición de antiincrustante (evita la formación de cristales o retarda el crecimiento de las mismas).

Otros contaminantes que pueden afectar a las membranas de OI son los sólidos suspendidos, estos pueden tapan la alimentación o saturar la superficie de la membrana.

Un proceso de tratamiento previo para este problema es la filtración. Se recomienda usar filtros que retengan todas las partículas superiores a 5 micras. Generalmente se utilizan filtros de cartuchos absolutos de 5 micras o de 1 micra nominal.

La desinfección es otro paso de tratamiento previo típico que se utiliza para impedir saturación biológica de la membrana. Es de suma importancia verificar que el material de la membrana y el agente desinfectante sean compatibles, debido a que muchos de estos pueden dañar de manera permanente a la membrana de ósmosis.

Soluto	% Rechazo
Bicarbonato HCO_2	95 - 96
Sodio Na	95 - 97
Fluoruro F^{-1}	94 - 96
Cloruro Cl^{-1}	95 - 96
Silicato SiO_2^{-2}	95 - 97
Nitrato NO_3^{-1}	93 - 96
Magnesio Mg^{+2}	96 - 98
Níquel Ni^{+2}	98 - 99
Cobre Cu^{+2}	98 - 99
Glucosa	99+
Sacarosa	99+
Bacteria y virus	99+

Figura 15. elementos que son eliminados por la ósmosis inversa, merinsac, Perú, 2019



Figura 16. equipo de ósmosis inversa, merinsac, Perú, 2019

Electrobombas de acero inoxidable

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba. Por sus características constructivas son aconsejadas para su uso en el sector doméstico, agrícola e industrial. Todos los componentes en contacto con el líquido bombeado son en acero inoxidable AISI 304 como garantía de higiene total y de máxima resistencia a la corrosión.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

Características

Tipo: Agua Limpia

Aplicaciones: doméstico, industrial, agricultura

Usos: abastecimiento de agua, sistemas de acondicionamiento, sistemas de lavado, sistemas de enfriamiento, sistemas de tratamiento de agua, irrigación



Figura 17. Electrobomba centrifuga, Wilo Care, España, 2019

Sistema UV

La luz ultravioleta (UV) presenta un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección problemáticos. Este documento presenta información sobre el mecanismo de aplicación de UV para la desinfección de agua potable. Se discuten las ventajas y desventajas de la técnica con miras a su comparación con la desinfección química. Se indica información práctica acerca del diseño de sistemas UV, su operación y mantenimiento, así como los costos de capital, operación y mantenimiento para una gama de estrategias de desinfección.

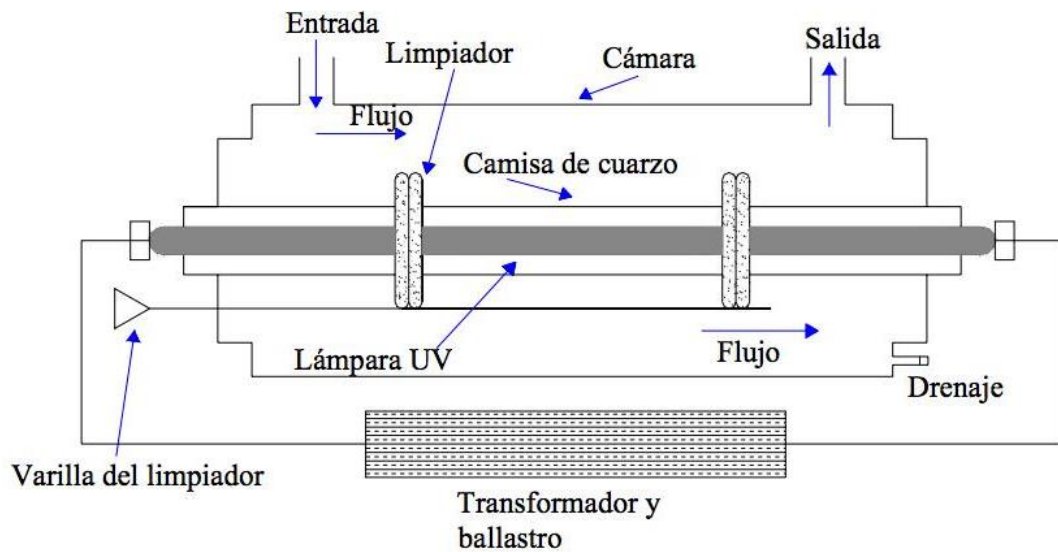


Figura 18. Instalación típica de un equipo de radiación UV, Carbotecnia, Mexico, 2019

Ahora que ya se conoce las partes que integran el proceso de producción de agua osmotizada para hemodiálisis y la finalidad de dicho líquido, explicaremos por etapas la producción de agua osmotizada para hemodiálisis.

Etapas de Pre-Tratamiento, es donde el agua que ingresa de la calle (agua dura) llega es almacenado en una cisterna alojado debajo del nivel del piso, luego esta agua almacenada es llevada a través de unos filtros de sedimentos hacia un tanque hidroneumático a una presión de 60 Psi por medio de las electrobombas. Segundo, el agua es inyectado por presión del tanque hidroneumático y es llevado al filtro multimedia donde se atrapan las partículas que sean mayores a 5 micras, sigue su camino hacia el filtro ablandador, donde este filtro se encargada de atrapar por medio del intercambio iónico las partículas de calcio, magnesio, manganeso y derivados, luego cada 24 horas hace un proceso de limpieza llamado retro lavado, la cual consiste en eliminar las partículas atrapadas en el filtro y luego por medio del tanque salmuera absorbe sal industrial que vuelve a cargar de forma aniónica el filtro ablandador, el agua que sale luego del procesamiento del filtro se llama agua blanda, de ahí pasa al

filtro de carbón activado donde el agua al pasar por el filtro es absorbido el cloro, cloraminas y derivados.

Etapas de Tratamiento, luego de pasar por el filtro de carbón activado, el agua blanda llega hacia el equipo de osmosis inversa o llamado desmineralizador, el cual se encarga de eliminar los minerales del agua por medio de 04 membranas semipermeables, el cual con la inyección de una electrobomba con impulsor fuerza el pase del agua a través de la membrana y esa agua producida se llama agua osmotizada o ultrapura. para producir 1 galón de agua ultrapura el equipo tiene que eliminar 1.5 g de agua el cual es eliminado al drenaje. el agua producida es luego llevada a un tanque de almacenamiento de agua osmotizada para la distribución.

Etapas de Post-Tratamiento, luego de producir el agua ultrapura y almacenarlo en el tanque de almacenamiento, esta agua tiene que mantenerse en constante movimiento para evitar formaciones de coliformes y otras bacterias, el agua es propulsada por dos electrobombas con alternado durante los 365 días del año de forma ininterrumpida, de ahí es forzada a pasar por un filtro absoluto de 1 micra de medida, de ahí pasa por el germicida (lámpara ultravioleta) para eliminar posibles formaciones de coliformes, y posterior pasa a otro filtro absoluto de 0.2 micras de medida para llegar al anillo de recirculación, que es una tubería que recorre toda el servicio de hemodiálisis para alimentar a las máquinas para el tratamiento de los pacientes y luego retorna hacia el tanque de almacenamiento de agua osmotizada y vuelve a realizar el mismo proceso. la tubería que se usa es de PVC cedula N°40.

Luego de explicar el proceso de producción de agua osmotizada para hemodiálisis, también tenemos que dar a conocer el problema principal para la implementación, que es la indiferencia del departamento de ingeniería, más aún cuando es del estado, ya que no figura en sus funciones la aplicación de mejora continua, solo reparación y

mantenimiento así sea de beneficio para la institución, en cambio una clínica privada es más accesible ya que afecta directamente a la economía de la entidad.

En nuestro caso se mostró la propuesta para la implementación de la mejora y el aprovechamiento del agua residual de una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, esto fue en el hospital Víctor Lazarte Echegaray de Es salud. La propuesta fue presentada en el departamento de ingeniería, se expuso los cálculos, los costos y el tiempo que involucra realizar el proyecto. La respuesta no fue la esperada y no fue aprobado la propuesta de aprovechamiento de agua residual de una planta de tratamiento de agua.

En la ciudad de Trujillo hay una sola clínica privada que está usando este método. La cual es la clínica de hemodiálisis Virgen de la Puerta, la cual fue instalada por una empresa procedente de Lima en el año 2009 y hasta el momento no se puede replicar en ninguna institución de Es salud.

APROVECHAMIENTO DE AGUA DE RECHAZO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA HEMODIÁLISIS



Figura 19. Instalación de conexiones para el aprovechamiento del agua residual, Hospital Víctor Lazarte Echegaray, 2020.

Etapa de Aprovechamiento de agua, el agua eliminada (agua de rechazo) de la ósmosis inversa, es llevado por la presión emitida a través de tuberías de 1” hasta un tanque de almacenamiento de agua de rechazo de 1100 L. En el ingreso del tanque de almacenamiento de agua de rechazo va instalado un dosificador de cloro para volver a potabilizar el agua. La altura mínima en la que debe estar el tanque de almacenamiento de agua de rechazo es de 2 metros de altura sobre el nivel del techo, de ahí se realiza la conexión hacia el circuito de agua del servicio de hemodiálisis, por medio del gasfitero aísla las conexiones y las conecta a la salida de distribución del tanque de almacenamiento de agua de rechazo y por gravedad se distribuye a los servicios y lavatorios del servicio de hemodiálisis.

Tabla 1.

Requerimiento necesario para la instalación del sistema de aprovechamiento de agua residual.

N°	DESCRIPCIÓN	CTDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
01	Dosificador de cloro	01	S/ 1,575.00	S/ 1,575.00
02	Tanque de almacenamiento	01	S/ 350.00	S/ 350.00
03	Estructura para tanque	01	S/ 400.00	S/ 400.00
04	Tuberías PVC 1”	10	S/ 28.50	S/ 285.0
05	TEES de 45° 1”	30	S/ 2.50	S/ 70.00
06	Codos 1”	30	S/ 2.00	S/60.00
07	Unión de 1”	30	S/ 2.00	S/ 60.00
08	Pegamento	02	S/ 7.00	S/ 14.00
09	Cemento	0.5	S/ 45.00	S/ 22.50
10	Unión universal 1”	10	S/ 5.00	S/ 50.00
11	Mano de obra	01	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
12	Otros	01	S/ 100.00	S/ 300.00
13	Cable thw N° 14	01	S/ 110.00	S/ 110.00
INVERSIÓN TOTAL				S/ 5,796.00

En la tabla N° 01 podemos observar la lista de materiales a usar en la instalación de la propuesta. Cuando es en un hospital de es salud, la mano de obra no se costea, porque cuenta con personal de gasfitería con un contrato anual, el cual está al servicio de la institución cuando lo amerite. En cuanto a las clínicas privadas si hubiera un costo adicional de S/ 2,500.00 aproximadamente, eso varía de acuerdo con el lugar y a la empresa contratista.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

El primer proyecto para poder aprovechar el agua residual de una planta de tratamiento de agua, lo planteé al departamento de Ingeniería y con apoyo de mi supervisor en el hospital VICTOR LAZARTE ECHEGARAY – ESSALUD – TRUJILLO, se presentó la sustentación de la mejora que ayudaría a usar el producto hídrico y no eliminarlo. Pero al ver la indiferencia del departamento de ingeniería y la falta de valoración de un líquido que es necesario para la vida no se pudo realizar en ese momento. Y ahora al presentarse la oportunidad de poder obtener mi título, vi la oportunidad de poder aportar algo de mi experiencia y poder hacer un modelo que cualquier persona con los conocimientos básicos de electrónica, gasfitería y plantas de tratamiento pueda aprovechar este producto ya sea en una clínica u hospital, mas ahora con la pandemia mundial. Para poder desarrollar la propuesta. Primero, se tenía que analizar los objetivos o el objetivo principal, el cual es la escasez de agua. Segundo, para ello se hizo un análisis detallado del proceso de la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, y al constatar que el líquido eliminado se puede volver a potabilizar y poder rehusar se vuelve viable la propuesta. Tercero, se hizo la planificación de una propuesta de implementación, asesorado por mi supervisor que es Ing. Industrial quien me apoyó en la planificación y elaboración del proyecto, donde se usó para constatar la valides del producto hídrico un pH metro, Conductímetro, análisis de laboratorio, Sensor de flujo, computadora y objetos de escritorio para realizar los cálculos necesarios. Además, al concluir los cálculos se vio de manera satisfactoria que era viable, de bajo presupuesto y retorno rápido del capital.

Para minimizar el tiempo y presupuesto también se hizo un estudio previo al proyecto y poder aprovechar lo que teníamos en la planta de tratamiento, como la impulsión del agua residual que tiene una electrobomba de 2.5 HP con impulsor, el cual puede

impulsar el agua hasta una altura máxima de 8 metros de altura sin pérdida aparente de su caudal. Luego se hizo un estudio matemático del consumo por cada máquina en el día y luego en el mes y de acuerdo a la producción de agua tratada se pudo establecer un aproximado del consumo total de agua dura de la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Para poder obtener los costos referenciales, tenemos que calcular el consumo aproximado diario de todas las máquinas de hemodiálisis, así como la producción de agua de la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis, con los datos obtenidos se puede calcular el costo aproximado que se necesita para el funcionamiento del servicio de hemodiálisis.

DATOS			
F.T	flujo de agua osmotizada durante el tratamiento por maquina de HD	0.5	L*min.
T.T	duración de tratamiento	240	min
F.D	flujo de agua durante la desinfección de la maquina de HD	0.8	L*min
T.D	tiempo que consume agua osmotizada durante la desinfección	10	min
C.M	Número de máquinas de hemodiálisis	14	
TR.D	Número de tratamientos diarios	4	

Figura 20. consumo en un turno por 01 máquina de hemodiálisis, Hospital Víctor Lazarte Echegaray, 2020.

FT.: Flujo de Agua

TT.: Tiempo de Tratamiento

FD.: Flujo de desinfección

TD.: Tiempo de desinfección

CM.: Cantidad de Maquinas de Hemodiálisis

TRD.: Tratamientos Diarios.

Agua osmotizada consumida

$$AO = ((FT * TT) + (FD * TD)) * TRD * CM$$

Agua residual producida

$$AR = (AO * 150\%)$$

Agua total consumido

$$AT = AO + AR$$

TOTAL DE AGUA CONSUMIDO POR DÍA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA HEMODIÁLISIS			
AO	Agua osmotizada consumida	7.168	m3
AR	Agua residual producido	10.7512	m3
AT	Total de agua consumido	17.920	m3

Figura 21. consumo diario de agua en una planta de tratamiento de agua para hemodiálisis

CONSUMO DE AGUA POTABLE POR PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA HEMODIÁLISIS		
Producción de agua osmotizada	4	GL*min
producción de agua residual	6	GL*min

Figura 22. producción de la ósmosis inversa.

PORCENTAJE DE AGUA DE RECHAZO	
porcentaje de agua residual	150%

Figura 23. índice porcentual de agua de rechazo

una vez evaluado el consumo de agua dura en el servicio de Hemodiálisis, procedemos a cuantificar el costo que origina este proceso de acuerdo al cuadro de precios que brinda la empresa SEDALIB en la provincia de Trujillo, ya que se encuentra en la categoría de ESTATAL, podemos tomar los precios según su categoría y obtener un costo aproximado del consumo mensual.

Tabla 2

Cuadro de precios por consumo de agua en la provincia de Trujillo – sedalib, Trujillo, 2020

Localidades: Trujillo, La Esperanza, Florencia de Mora, El porvenir, Victor Larco, Huanchaco y Salaverry						
CATEGORÍA	Rangos m3/mes	Tarifa (S/ / m3)		Cargo Fijo (S/ /Mes)	Asiganación de consumo	Código tarifario
		Agua	Alcantarillado			
SOCIAL	0 a más	0.745	0.427	3.788	15	S01
DOMÉSTICO	0 a 8	1.942	1.11	3.788	(*)	D01
	8 a 20	2.122	1.212			
	20 a más	4.992	2.854			
ESTATAL	0 a 20	2.837	1.622	3.788	19	E01
	20 a más	4.992	2.854			
COMERCIAL	0 a 20	4.381	2.503	3.788	28	C01
	20 a más	6.571	3.755			
INDUSTRIAL	0 a 100	6.939	3.966	3.788	90	I01
	100 a más	7.994	4.569			

ya sabiendo los costos por metro cúbico de agua si como alcantarillado y cargo fijo, usamos la tabla de consumo de agua dura y podemos sacar un costo aproximado del costo mensual.

Costo mensual de consumo de planta de tratamiento de agua para Hemodiálisis

$$E = (A * B) + (A * C) + D$$

$$TOTAL MENSUAL A = E * 30$$

Tabla 3.

Cuadro de costo consumo mensual de agua para planta de tratamiento de agua en hemodiálisis.

Costo diario de consumo de una Planta de tratamiento de Agua para Hemodiálisis					
Consumo diario se agua m3 A	precio por Agua m3 B	precio por alcantarillado m3 C	Cargo Fijo (S/ / Diario) D	Total diario (S/) E	Total Mensual (S/)
17.92	4.992	2.854	0.126	140.727	4221.798

Costo mensual de consumo de agua en servicios higiénicos en Hemodiálisis

$$E = (A * B) + (A * C) + D$$

$$TOTAL MENSUAL B = E * 30$$

Tabla 4.

Cuadro de costo mensual de consumo de agua para servicios higiénicos de hemodiálisis

Costo diario de servicios higiénicos de la Unidad de Hemodiálisis					
Consumo diario se agua m3 A	precio por Agua m3 B	precio por alcantarillado m3 C	Cargo Fijo (S/ / Diario) D	Total diario (S/) E	Total Mensual (S/)
8.32	4.992	2.854	0.126	65.405	1962.150

Costo total mensual de consumo de agua en Hemodiálisis (HD).

$$TOTAL HD = TOTAL MENSUAL A + TOTAL MENSUAL B$$

Tabla 5.

Cuadro de costo total de consumo de agua en la unidad de hemodiálisis

Costo total mensual en agua de la unidad de Hemodiálisis		
Consumo de planta de agua (S/)	Consumo de servicios higiénicos (S/)	Total mensual (S/)
4221.798	1962.150	6183.947

Tabla 6.

Cuadro de costo aproximado de consumo de agua en HD

COSTO APROXIMADO DE CONSUMO DE AGUA EN LA UNIDAD DE HEMODIÁLISIS			
MES	RECIBO DE AGUA	AHORRO DE AGUA	NUEVO RECIBO DE AGUA
NOV	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
DIC	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
ENE	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
FEB	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
MAR	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
ABR	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
MAY	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
JUN	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
JUL	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
AGO	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
SEP	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
OCT	S/6,183.95	S/1,962.15	S/4,221.80
TOTAL	S/74,207.37	S/23,545.80	
AHORRO ANUAL		31.73%	
COSTO DE PROYECTO		S/5,486.00	

Nota: en el cuadro de la tabla 6, podemos observar el ahorro significativo que sucede al realizar este proyecto, así como el ahorro porcentual anual.

En la tabla N° 6, observamos los cambios en el precio del recibo final. Antes de realizar la propuesta observamos el consumo promedio mensual, luego de realizar la propuesta de mejora, observamos como baja en un 31.73% el precio del recibo.

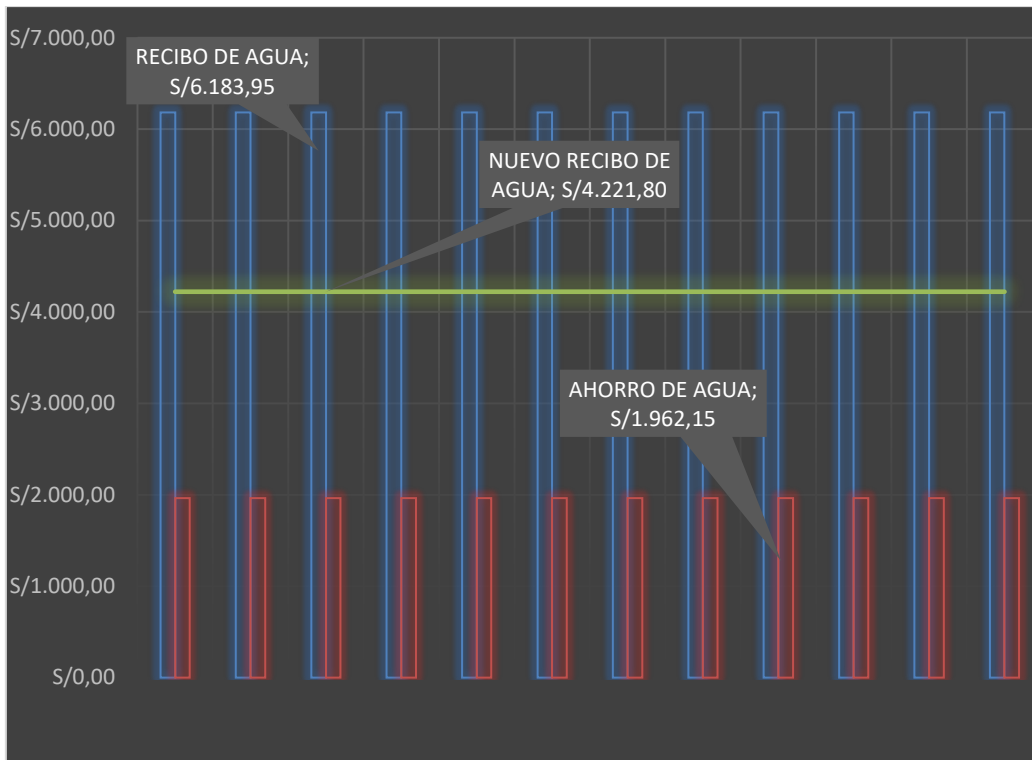


Figura 24 gráfico de barras del costo aproximado en el consumo y ahorro de agua.

podemos observar en el gráfico el comportamiento de los costos por consumo de agua para el servicio de hemodiálisis, el cual nos muestra el consumo normal sin realizar el proyecto en color azul, el color rojo nos indica el ahorro en soles y la línea verde nos indica el nuevo costo que se obtendrá después de realizar el proyecto.

Tabla 7.

Insumos necesarios en la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis.

MATERIALES	CANTIDAD	FRECUENCIA	PRECIO	AÑO 1	AÑO 2
membranas	4	BI-ANUAL	S/1,600.00	S/0.00	S/6,400.00
filtro sedimentos	4	MENSUAL	S/70.00	S/3,360.00	S/3,360.00
filtro ablandador	1	BI-ANUAL	S/2,900.00	S/0.00	S/2,900.00
filtro multimedia	1	BI-ANUAL	S/1,800.00	S/0.00	S/1,800.00
filtro de carbón	1	BI-ANUAL	S/2,200.00	S/0.00	S/2,200.00
lampara uv	1	ANUAL	S/650.00	S/650.00	S/650.00
electrobomba recirculación	2	BI-ANUAL	S/3,200.00	S/0.00	S/6,400.00
sanitización	6	MENSUAL	S/135.00	S/9,720.00	S/9,720.00
TOTAL ANUAL				S/13,730.0	S/33,430.0

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES

Para poder lograr esta propuesta tuve que aplicar conocimientos adquiridos durante mi carrera profesional. Para elaborar el diseño y distribución de tuberías, así como la caída por gravedad, aplique los conocimientos de física sobre caudal, fricción y tipos de células de una tubería sobre su resistencia y beneficios de acuerdo al trabajo que van a realizar. También usé los programas de estadística, así como gráficos para una proyección de la propuesta antes que sea implementada, aunque los valores son promedios, pueden aumentar si la producción de agua aumenta. También se usó lecturas de mejora continua, así como las 5 S, como lectura de apoyo y así poder ir mejorando mientras se iba haciendo la propuesta. Luego llegué a las siguientes conclusiones que describo. Al implementar este proyecto, la tasa de ahorro anual es de 31.73%, lo cual significa alrededor de S/ 23,500 soles, el cual puede ser invertido en muchas cosas, como una parte del pago anual de producción del personal, cambio de medios filtrantes y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua, gastos administrativos, entre otras cosas. también concluimos que realizando nuestro proyecto ayudamos al medio ambiente al no desperdiciar este líquido que se hace cada vez más escaso y ayudar un poco al déficit de agua que viene atravesando nuestro país. lo complicado del proyecto es convencer al área encargado la rentabilidad del proyecto y lograr que inviertan en el capital. además, es una experiencia que traerá satisfacción no solo por realizarlo, sino que con ello tomamos conciencia de la importancia del agua y más sobre su cuidado. Como explicamos anteriormente, el problema del sector de salud público o semi privado, es que no se contempla en sus estatutos la mejora continua, sino mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, reposición de

equipo entre otras compras, mas no mejoras, más aún, que en estos tiempos la escasez del producto hídrico potable, se está restringiendo por la escasez de las lluvias en las alturas. espero que esta propuesta pueda ser analizada y aceptada, de esta manera poder aportar un poco el conocimiento y experiencia adquirido con los años y ayudar en mejorar un proceso y darle buen uso a un elemento que es tan vital como el agua.

RECOMENDACIONES

En cuanto a las recomendaciones para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, así como el funcionamiento del proyecto a implementar es:

- realizar las medidas de presiones de agua para evitar un mal funcionamiento del equipo de ósmosis inversa y con ello baje la producción de agua.
- cambios periódicos de insumos, así como medios filtrantes.
- realización de la sanitización (desinfección) de las líneas de osmosis para evitar la contaminación del agua.
- actualizarse en nuevos métodos de tratamiento de agua y mejorar la eficacia de una planta de tratamiento de agua.
- concientizar no solo al lugar donde se piensa implementar el proyecto sino con el tiempo sea en todo el Perú.

REFERENCIAS

- ✓ *Plantas De Tratamiento De Agua* (2020)
Plantadetratamientodeagua.com. <https://plantadetratamientodeagua.com/>
- ✓ Ósmosis inversa. (2020).
https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis_inversa.
- ✓ hemodiálisis. (2020). de <https://www.niddk.nih.gov/>.
<https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/insuficiencia-renal/hemodialisis>
- ✓ Clinic Family Health Book (Libro de Salud Familiar de Mayo Clinic) 5.^a edición 2019. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/insuficiencia-renal/hemodialisis>
- ✓ Planta de tratamiento de agua (2020)
https://www.merinsa.com/pdf/industriales/equipos/FiltroCarbonActivadoMerinsacSimple_Magnum.pdf
- ✓ <http://acquatecnologiaperu.com/producto/ablandadores-de-agua>
- ✓ **Water Quality Association.** Scale deposits. WQA, Junio de 2018
<https://staging.wqa.org/Learn-About-Water/Perceptible-Issues/Scale-Deposits>.
- ✓ **Organización Mundial de la Salud.** Guías para la calidad del agua potable. 2016.
https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full1_lowres.pdf.
92 4 154696 4.

ANEXOS

ANEXO N° 01

SALA DE TRATAMIENTO DE PACIENTES CON IRCT.



Foto 1. sala de Tratamiento de pacientes, hospital Víctor Lazarte Echeagaray, Trujillo - 2020

los pacientes con IRCT (Insuficiencia Renal Crónica terminal) llegan hasta ahí para realizarse su hemodiálisis en las máquinas que se muestran en la imagen, las cuales para su funcionamiento se alimentan aparte de energía eléctrica de agua osmotizada producida en la planta de tratamiento de agua para hemodiálisis.

ANEXO N° 02

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA HEMODIÁLISIS DEL HOSPITAL DE ALTA COMPLEJIDAD VIRGEN DE LA PUERTA



Foto 2. filtros para tratamiento de agua, Planta de tratamiento de agua del hospital de Alta complejidad Virgen de la Puerta, Trujillo - 2020

Filtro de multimedia, filtro de carbón y filtro ablandador



Foto 3. Tablero de Alternado de electrobombas, Planta de tratamiento de agua del hospital de Alta complejidad Virgen de la Puerta, Trujillo - 2020

Tablero de control de alternado de electrobombas (presión constante)



Foto 4. Electrobombas de 2.5 HP, Planta de tratamiento de agua del hospital de Alta complejidad Virgen de la Puerta, Trujillo - 2020

Electrobombas alternantes de agua dura



Foto 5. Etapa final de tratamiento de agua, Planta de tratamiento de agua del hospital de Alta complejidad Virgen de la Puerta, Trujillo - 2020

Filtros absolutos, lámpara UV

La planta de tratamiento de agua para hemodiálisis del hospital de alta complejidad virgen de la puerta tiene un sistema diferente a otras plantas, ya que es de última generación con un equipo de osmosis 23G, la cual lleva de 6 hasta 12 membranas, la cual ayudará a aumentar la cantidad de producción de agua osmotizada, pero a la vez aumenta la producción de agua de rechazo, la cual es eliminada en el drenaje y no es aprovechado.