

2019

## **Propuesta para la reutilización de agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa del tratamiento de hemodiálisis en un hospital de tercer nivel**

Nick Peñaloza Márquez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Santiago Felipe Morales Cuervo  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

---

### **Citación recomendada**

Peñaloza Márquez, N., & Morales Cuervo, S. F. (2019). Propuesta para la reutilización de agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa del tratamiento de hemodiálisis en un hospital de tercer nivel. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1177](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1177)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE RECHAZO DEL  
PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA DEL TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS  
EN UN HOSPITAL DE TERCER NIVEL**

**NICK PEÑALOZA MARQUEZ  
SANTIAGO FELIPE MORALES CUERVO**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ, D.C.  
2019**

**PROPUESTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE RECHAZO DEL  
PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA DEL TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS  
EN UN HOSPITAL DE TERCER NIVEL**

**NICK PEÑALOZA MARQUEZ  
SANTIAGO FELIPE MORALES CUERVO**

**Proyecto de grado para optar el título de  
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director  
JULIO CÉSAR RAMIREZ RODRIGUEZ  
Ingeniero químico  
Magíster en Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTA, D.C.  
2019**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Director**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Bogotá D.C. Octubre 04/10/2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

El fundamento del conocimiento es importante para poder hacer realidad nuestros proyectos, acompañado de una buena investigación y soportes teóricos, que guiaran nuestros planes a largo y corto plazo, acompañado de grandes personas y docentes que marcaron este paso académico.

Los autores expresan su agradecimiento a:

De ante mano a Dios, por darnos la oportunidad de culminar esta etapa de nuestras vidas como profesionales ejemplares. También a nuestros padres y hermanos por su apoyo constante en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Julio Cesar Ramírez Rodríguez, docente de la Universidad de la Salle por su vocación, interés y dedicación en cada momento requerido a lo largo del proyecto.

Al ingeniero Oscar Fernando Contento Rubio, docente de la Universidad de la Salle por su aprobación inicial y sus sugerencias a lo largo de la investigación.

Por último, al técnico-operario de la planta en el hospital, Javier Benítez, quien facilitó el ingreso a la planta y la recolección de información del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>3. GLOSARIO</b> .....	<b>14</b>
<b>4. RESUMEN</b> .....	<b>16</b>
<b>5. ABSTRACT</b> .....	<b>18</b>
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
<b>6.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>20</b>
<b>6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.</b> .....	<b>20</b>
<b>6.3 ANTECEDENTES</b> .....	<b>21</b>
<b>7. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>23</b>
<b>7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS Y CAPACIDAD DE ATENCIÓN DE PACIENTES EN LA SECCIÓN RENAL.</b> .....	<b>23</b>
7.1.1 Hemodiálisis .....	23
<b>7.1.2 Ramas de la hemodiálisis</b> .....	<b>24</b>
7.1.2 Funcionamiento del proceso de hemodiálisis .....	26
7.1.3 Acceso .....	26
7.1.4 Catéter .....	27
7.1.5 Equipo Diálisis .....	27
7.1.6 Sistema de aguas de diálisis .....	28
7.1.7 Capacidad de atención en la sección renal del hospital el tunal.....	29
<b>7.2 DESECHOS HOSPITALARIOS SEGÚN LA OMS</b> .....	<b>29</b>
7.2.1 Desechos infecciosos: .....	29
7.2.2 Desechos patológicos: .....	29
7.2.3 Desechos farmacéuticos: .....	30
7.2.4 Desechos genotóxicos: .....	30
7.2.5 Desechos radiactivos: .....	30
7.2.6 Desechos de sangre a través del alcantarillado: .....	31

<b>7.2 CONCEPTO DE REUSO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA.....</b>	<b>31</b>
7.2.1 Reúso.....	31
7.2.1 Ventajas y Ahorro .....	32
7.2.2 Alternativas De Las Aguas Recuperadas .....	33
7.2.3 Calidad De Agua.....	34
<b>7.3 AGUA DE RECHAZO Y PLANTA DE OSMOSIS INVERSA. ....</b>	<b>39</b>
7.3.1 Tecnologías de membrana.....	39
7.3.1 Funcionamiento osmosis inversa .....	40
7.3.2 Osmosis inversa.....	41
➤ <b>Ósmosis directa.....</b>	<b>42</b>
7.3.2 Partes de la planta del proceso de osmosis inversa.....	44
7.3.3 Características de la osmosis inversa .....	45
7.3.4 Aplicaciones Osmosis inversa .....	46
7.3.3 Agua de rechazo y su impacto .....	46
<b>7.4 MARCO LEGAL.....</b>	<b>47</b>
<b>8. AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>49</b>
8.1 LOCALIZACIÓN .....	49
8.2 PLANTA DE OSMOSIS INVERSA .....	50
<b>9. METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
10.1 IDENTIFICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO .....	54
10.2 TOMA DE MUESTRA.....	54
10.4 CARACTERIZACIÓN FISICO-QUIMICA.....	56
10.5 MEDICIÓN DE CAUDAL .....	58
<b>10. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>11. ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
12.1 ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA.....	59
12.2 MATRIZ CALIFICATIVO DE ALTERNATIVAS DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA.....	63
12.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	64

12.4 REQUERIMIENTO DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA.....	65
12. DISEÑO Y ADIMENSIONAMIENTO.....	68
12.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	68
12.2 PLANOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	69
13. CONCLUSIONES .....	71
14. RECOMENDACIONES.....	72
15. REFERENCIAS.....	73
17. ANEXOS .....	77

## **LISTA DE TABLAS**

<i>Tabla 1. Propiedades físicas del agua .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2. Marco legal vigente. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3. Parámetros para realizar .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 4. Resultados obtenidos de cada uno de los parámetros realizados. ....</i>	<i>61</i>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Esquema de la hemodiálisis .....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 2 Dirección del flujo en las situaciones de OD.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 3. Proceso de desalinación Recuperado.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 4 Diagrama esquemático del proceso de OD híbrida.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 5. Planta de osmosis inversa hospital tunal.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 6 Localización hospital el tunal y la planta osmosis inversa.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 7. Plano virtual de la planta de osmosis inversa.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 8. caja de inspección de aguas residuales.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 9. Planta de osmosis inversa.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 10. Tanque de permeado.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 11. Tanque estacionario de flujo.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 12. Filtros de carbón activado.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 13. Metodología técnica experimental.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 14. Toma de muestras en sección renal.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 15. Punto de muestreo del agua salida de osmosis inversa.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 16. Medición de caudal.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 17. Tanque de almacenamiento.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 18. Vista del tanque de almacenamiento y caja de vertimiento.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 19. Vista superior de la sección renal.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 20. Ubicación de la planta de osmosis inversas.....</i>	<i>70</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un bien biótico fundamental para el desarrollo de animales, flora y seres humanos, la disposición de los recursos hídricos cada vez es más escaso a nivel mundial, las grandes reservas hídricas, como lo paramos está siendo acabados, por eso es de vital importancia el buen uso del recurso y la aplicación del reusó.

Los residuos o vertimientos líquidos provenientes de los centros hospitalarios de tercer nivel, son considerados como la mayor fuente de contaminantes emergentes, resultado de diferentes actividades y procesos que demanda diariamente gran cantidad de caudal, por tal razón en " EL HOSPITAL EL TUNAL" ubicada en al sur de la ciudad de Bogotá, donde se demanda gran cantidad de agua, tiene actualmente una sección crónica renal, donde laboran aproximadamente 80 personas entre administrativos, médicos, enfermeras, operarios y personal de servicios generales que están en labor 24 horas al día atendiendo a los cerca de 270 pacientes que se atienden en el tratamiento de hemodiálisis donde se atienden desde niños hasta personas de tercer edad, por lo cual es utilizado cuando los riñones no tienen un funcionamiento normal de un problema renal, los pacientes aproximadamente gastan por sesión de diálisis  $0,22 \text{ m}^3$ , con una duración de 3:30-4:00 horas, con base en ello el residuo líquido tiene contacto directo al torrente sanguíneo, administrada por vía intravenosa que contiene gran peligrosidad por proliferación de patógenos, el hospital el tunal cuenta con una planta de osmosis inversa para el tratado de dichas aguas de la sección renal. Se tiene un total de 45 máquinas funcionando las 24 horas del día a los pacientes con enfermedades

renales donde mensualmente se procesan 3.300 sesiones de hemodiálisis, gastando aproximadamente 120 a 150 litros por paciente tratado.

Por tal razón es necesario aplicar medidas de conservación, reutilización y recirculación que es directamente tratada por la planta de osmosis inversa, para aumentar el uso y ahorro eficientes de los recursos, donde se tomaran muestras y realizaran mediciones al agua de rechazo de la planta de osmosis inversa utilizado para el tratamiento de hemodiálisis, para posteriormente efectuar el análisis físico-químico y microbiológicos, con base en ello plantear una matriz clasificatoria de alternativas de uso con los requerimientos o acondicionamiento de dicha agua, luego se pretende a dimensionar el tanque de almacenamiento acorde al caudal para su recirculación, por lo cual el propósito del presente trabajo investigativo estará basado en análisis de laboratorios y cumplimiento de la normatividad vigente, dando la alternativa de reusó más eficiente y económicamente viable.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El hospital de tercer nivel como objeto de investigación, se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. al suroccidente, el hospital el tunal es público de tercer nivel el cual se atienden aproximadamente 270 pacientes en la sección renal, donde se encuentran las 45 máquinas de hemodiálisis, donde se pretende estudiar alternativas de reutilización de agua, que podrían ser implementadas en este hospital, para obtener beneficios a partir del uso y ahorro eficiente del recurso natural.

Por la cual es de suma importancia el reusó del agua de rechazo que es tratado por la planta de ósmosis inversa, ya que es una recirculación de recursos necesarios para la ampliar la disponibilidad de agua que aún queda en el planeta tierra, ya que con más frecuencia se vienen presentando escasez, por tal razón la mayoría de aguas tratadas están siendo vertidas a los cuerpos hídricos, aumentando considerablemente la carga contaminante y aumentos de caudal significativos, el cual cumpliendo con los parámetros físico-químicos acoplados a la normatividad vigente, se aplicaría a riego de zonas comunes, lavados de vehículos y equipos de mantenimiento, cultivos y conservación de zonas verdes del hospital, lavado de tapetes entre otras aplicaciones importantes.

Actualmente la planta de osmosis inversa del hospital el tunal, vertiendo gran cantidad de agua diariamente por sección diálisis, donde en promedio se demanda

120 a 150 lt, con base en ello se hace viable alternativa de riego, lavado, recirculación, considerando el requerimiento de la alternativa, el cuál es el principal objetivo del proyecto.

### 3. GLOSARIO

**Aguas residuales tratadas:** Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso. (Sostenible, RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014, 2014)

**Aguas servidas:** Son los residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial. (Ambiente, 2010)

**Análisis físico – Químico (Agua):** Pruebas de laboratorio de diversos parámetros efectuados a una muestra problema para determinar sus características físicas y químicas.

**Contaminante:** Sustancia ajena, presente en un sistema natural en una concentración más elevada de lo normal por causa de actividad antrópica directa o indirecta.

**Criterio de Calidad:** Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso definido. (Ambiente, RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014 , 2014)

**Efluente:** Líquido que fluye hacia fuera del espacio confinado que lo contiene. En el manejo de aguas residuales, hace referencia al caudal que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.

**Muestra puntual:** Es la muestra individual representativa en un determinado momento. (Ambiente, 2010)

**Norma de vertimiento:** Es el conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga. (sostenible, 2010)

**Objetivo de calidad:** Conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso.

**Osmosis inversa:** Se trata de un proceso con membranas. Para poder forzar el paso del agua que se encuentra en la corriente de salmuera a la corriente de agua con baja concentración de sal, es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica. Como consecuencia a este proceso, la salmuera se concentrará más. (Lenntech)

**Parámetro:** Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

**Reúso:** Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar. (Sostenible, RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014 , 2014)

#### 4. RESUMEN

En muchas partes del mundo, el agua potable es un recurso escaso que presenta un significativo desafío para la salud ambiental a escala mundial. Más de mil millones de personas no tienen acceso a un suministro de agua potable “mejorado”, al tiempo que muchas más beben agua que está seriamente contaminada.

Cuando existe amplia disponibilidad de agua, los hospitales suelen ser voraces consumidores en varias facetas de sus operaciones. En Estados Unidos, por ejemplo, hasta el 70% del consumo hospitalario de agua se destina a procesos que van desde los relacionados con equipos mecánicos hasta el transporte de aguas servidas; aproximadamente el 30% se utiliza para beber, preparar alimentos, bañarse y lavarse las manos.

El hospital cuenta con 45 máquinas aproximadamente para realizar procedimientos de diálisis durante las 24 horas al día a los pacientes con enfermedades renales, de allí aproximadamente se atienden 253 personas vinculadas a programa de crónicos y atención a pacientes agudos en hospitalización y unidades de cuidados intensivos, acorde a la cantidad de pacientes se estima que se realiza mensualmente 3.300 sesiones de hemodiálisis, gastando aproximadamente 120 a 150 litros por sesión de diálisis.

Por esta razón se hace necesario implementar una serie de medidas de conservación, reutilización y recirculación de agua para reducir los consumos para

hacer uso y ahorro eficiente de los recursos naturales. Durante el desarrollo del proyecto se plantea realizar mediciones y seguimiento al caudal generado de la planta de osmosis inversa para el tratamiento de hemodiálisis para determinar las pérdidas de agua. Posteriormente se efectuarán análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua de rechazo para determinar los posibles usos que se le pueden dar al agua de la planta.

## 5. ABSTRACT

In many parts of the world, drinking water is a scarce resource that presents a significant global environmental health challenge. More than one billion people do not have access to an "improved" drinking water supply, while many more drink water that is seriously contaminated.

When water is widely available, hospitals tend to be voracious consumers in various facets of their operations. In the United States, for example, up to 70% of hospital water consumption is destined for processes ranging from those related to mechanical equipment to wastewater transportation; Approximately 30% is used for drinking, preparing food, bathing and washing hands.

The hospital has approximately 45 machines to perform dialysis procedures 24 hours a day for patients with kidney disease, from there approximately 253 people linked to a chronic program and care for acute patients in hospitalization and intensive care units are attended, According to the number of patients, it is estimated that 3,300 hemodialysis sessions are performed monthly, spending approximately 120 to 150 liters per dialysis session.

For this reason, it is necessary to implement a series of water conservation, reuse and recirculation measures to reduce consumption to make efficient use and savings of natural resources. During the development of the project, measurements and monitoring of the flow generated from the reverse osmosis plant for hemodialysis

treatment to determine water losses are proposed. Subsequently, physicochemical and microbiological analyzes will be carried out on the rejection water to determine the possible uses that can be given to the water of the plant.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 OBJETIVO GENERAL.

Proponer alternativas de reúso para el agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa de la unidad de hemodiálisis en un hospital de tercer nivel.

### 6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Identificar las condiciones y características de los usos del agua relacionados con el sistema de osmosis inversa mediante la realización de un diagnóstico.
- Proponer usos del agua a partir de la información del diagnóstico empleando una matriz de calificación.
- Determinar el dimensionamiento de las unidades y los requerimientos de la alternativa seleccionada.

### 6.3 ANTECEDENTES

En la actualidad las propuestas de alternativas de rehusó de aguas tratadas, se ve cada día más amplia, por eso es importante que se proyecte más investigaciones en este ámbito, por dicha razón a nivel nacional se vienen experimentando con iniciativas investigativas por universidades, por ejempló:

“PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LAS ÚLTIMAS ETAPAS DEL LAVADO INDUSTRIAL DE TEXTILES HOTELEROS Y HOSPITALARIOS

JUAN CAMILO BEDOYA VASQUEZ (2005)

Objetivo general: Diseñar e Implementar un sistema piloto para la recuperación y reutilización del efluente de las últimas etapas de lavado de textiles de tipo hotelero que resulte eficiente y económicamente viable.

Resumen: Esta investigación fue dirigida a través de la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, de la Universidad de la Salle y orientada por Tecnoclean de Colombia. Se diseñó y construyó un sistema piloto de filtración para remover las partículas sólidas, detergentes y controlar otro tipo de características fisicoquímicas, del agua residual proveniente de las tres últimas etapas del lavado industrial de textiles. Para realizar este diseño se ejecutaron diferentes actividades, las cuales se dividieron por etapas de la siguiente manera: La primera etapa, consistió en la recopilación de información acerca de los diferentes programas de lavado, etapas, tiempos de duración, consumos de agua (Niveles Alto y Medio. En la segunda etapa, se realizaron análisis fisicoquímicos al agua residual de las etapas finales para los diferentes programas de lavado; diferenciando su grado de suciedad (Alto y Medio)

y el tipo de prenda. Con esta información y las características encontradas en el agua residual, se establecieron parámetros de control en el agua, que va a ser recirculada en el proceso de lavado de textiles hoteleros y hospitalarios. Se obtuvo también por medio de un seguimiento realizado en el proceso de lavado de textiles hoteleros, que se establecieran los volúmenes de agua potenciales a ser sometidos a un tratamiento para su posterior reutilización en el lavado industrial de textiles.

Conclusiones: El análisis efectuado a la calidad del agua residual, que proviene de las últimas etapas del lavado industrial de textiles hoteleros y hospitalarios, indica, que no existe una presencia significativa de contaminantes; haciendo factible el tratamiento para su posterior recirculación en los procesos de lavado”, (VASQUEZ, 2005) .

## 7. MARCO DE REFERENCIA

### 7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE HEMODIÁLISIS Y CAPACIDAD DE ATENCIÓN DE PACIENTES EN LA SECCIÓN RENAL.

#### 7.1.1 Hemodiálisis

La hemodiálisis es un procedimiento de situación renal extracorpóreo, dirigido a eliminar las impurezas o productos de desechos de la sangre que se utiliza en el tratamiento de la insuficiencia renal y de diversas intoxicaciones.

Consiste en extraer la sangre del organismo y pasarla a un dializador de doble compartimiento, uno por el cual pasa la sangre y otro líquido de diálisis, separados por una membrana semipermeable. Método para eliminar de la sangre residuos como potasio y urea, así como agua en exceso cuando los riñones son incapaces de esto, cuando se presenta un fallo.

“El riñón en su normal funcionamiento produce y elimina orina por medio de una compleja red filtración y el sistema de reabsorción consta de más de dos millones de nefronas, cada una de las cuales se compone de glomérulos y túbulos renales que filtran la sangre bajo alta presión, extrayendo del plasma la urea, sales y otros materiales de desecho solubles, y devolviendo a la sangre el filtrado purificado. Más de 1200 litros de sangre pasan a través de los riñones cada día, entrando y saliendo por las arterias, y venas renales respectivamente. Toda la sangre del organismo pasa a través de los riñones alrededor de 20 veces cada hora, pero casi solo un quinto del plasma es filtrado por las nefronas durante este periodo de tiempo.

extraen de la sangre el agua que forma la orina y devuelven el agua filtrada al plasma, ayudando de este modo a mantener el equilibrio hídrico del organismo”.

La hemodiálisis se hace normalmente en una instalación adecuada, en sección de un hospital con técnicos especializados en el tratamiento.

“Diálisis, proceso de separación de sustancias coloides y cristalinas en solución aprovechando la diferencia en su tasa de difusión a través de una membrana semipermeable. La técnica comprende difusión de partículas, osmosis de líquidos y fenómenos de ultrafiltración a través de una membrana semipermeable. La técnica comprende difusión de partículas, osmosis de líquidos y fenómenos de ultrafiltración a través de una membrana aprovechando gradientes de concentración y presión diferencial.” (Diseases, 2007)

### **7.1.2 Ramas de la hemodiálisis**

- **HEMODIALISIS:** El proceso puede obtenerse mediante un corto circuito externo o una fistula arteriovenosa. El corto circuito externo se prepara introduciendo dos cánulas a través de la piel en una vena y una arteria de gran calibre.

Cuando no se está realizando la diálisis, la cánula se unen dejando que la sangre fluya libremente de la arteria a la vena, y cuando va a realizarse la diálisis, las cánulas se separan de forma que la sangre arterial pueda fluir en dirección al dializador y la sangre dializada regresar desde este a la circulación a través de la cánula insertada a la vena.

- **DÍALISIS PERITONEAL:** Procedimiento realizado para corregir el desequilibrio electrolítico de la sangre o eliminar toxinas, fármacos u otros productos de desecho excretados por el riñón.

Se utiliza como membrana difusible el peritoneo. La diálisis peritoneal puede practicarse por la noche en los niños con enfermedades crónicas mientras duermen y también a intervalos regulares en casa.

Puede condicionar varias complicaciones como perforación intestinal, peritonitis, neumonía, edema pulmonar, hipovolemia, el problema más frecuente suele deberse a la utilización de una técnica no aséptica.

- **DÍALISIS PERITONAL AMBULATORIA CONTINUA:** Sistema de diálisis que puede ser efectuado en el propio domicilio por el enfermo o sus familiares y consiste en mantener cavidad peritoneal permanente ocupa con el líquido diálisis, con tres o cuatro intercambios distribuidos durante el día y un ciclo más prolongado en la noche.
- **DÍALSISIS PERITONEAL CÍCLICA CONTINUA:** Sistema de diálisis peritoneal continua ambulatorio, excepto por los intercambios no son manuales si no realizados por un ciclado automático, consta de varios ciclos nocturnos y termina con un ciclo final diurno más prolongado, en donde el paciente se desconecta de la máquina.
- **DÍALISIS PERITONEAL ÍNTERMITENTE:** Sistema de diálisis peritoneal que consiste en la realización de multiplex cambios automatizados de corta duración durante periodos de ocho a doce horas, habitualmente por la noche, con frecuencia variable de acuerdo a las necesidades (MOSBY.O., 2004)

### 7.1.2 Funcionamiento del proceso de hemodiálisis

Este proceso de hemodiálisis, la sangre del paciente se conduce entubada desde el organismo hasta una maquina llamada riñón artificial en la que pasa a través de un filtro de limpieza (dializador). En el que se produce el intercambio entre el líquido del dializador y la sangre, recogiendo las sustancias toxicas de la sangre y aportando otros beneficios, y retorna de nuevo al cuerpo.

A semejanza de los riñones sano, la diálisis permite:

- Eliminar las sustancias toxicas, la sal y el agua en exceso del organismo.
- Mantener el nivel adecuado de ciertas sustancias químicas en la sangre.
- Contribuye a controlar la presión sanguínea.

Para poder llevar la sangre al dializador, es necesario establecer un acceso vascular o entrada a los vasos sanguíneos, para lo cual es necesaria una intervención local de cirugía menor, generalmente en el antebrazo por su mayor accesibilidad y facilidad de manipulación en la diálisis. (Segovia., 2012)

### 7.1.3 Acceso

Técnicas primarias que se utilizan para acceder a la sangre del paciente:

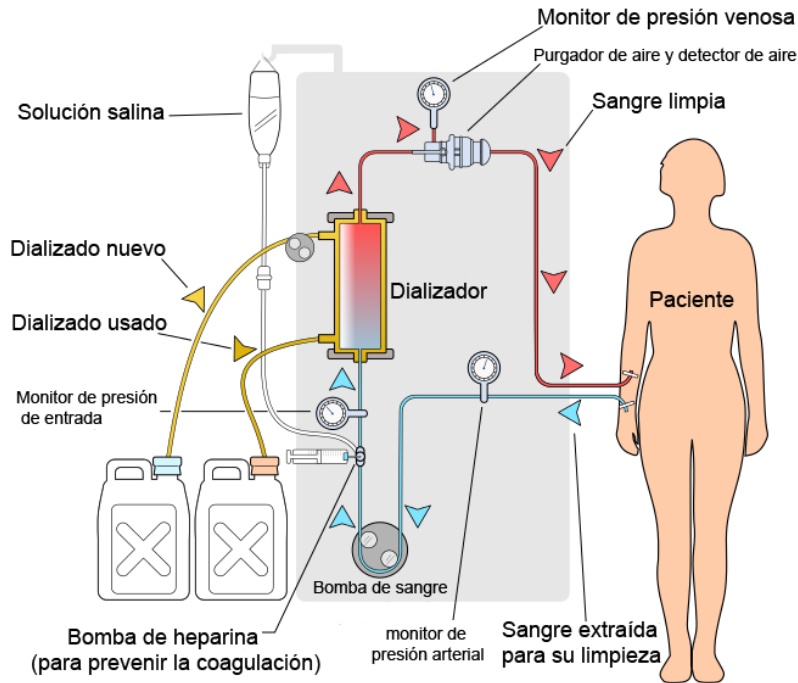
Para que los pacientes puedan tener una accesibilidad de su sangre, es importante la fistula y varios factores renales del paciente, por el cual muchas veces hay múltiples accesos, ya que este sistema es americano, va influenciado su injerto en sistema de pesos americanos, cuando está activo el catéter aún.

#### **7.1.4 Catéter**

Catéter venoso central o CVC, permite que los flujos o torrentes sanguíneos se puedan extraer o inducir, esto acorde a la necesidad, está constituido por dos lúmenes donde una va a vaso sanguíneo grande interna o femoral, esto para que sean restirados ciertos lúmenes, para su adecuada recirculación de diálisis, donde siempre la corriente de sangre es menor que la fistula.

#### **7.1.5 Equipo Diálisis**

La máquina de la hemodiálisis bombea el dializado del paciente a la sangre y a través del dializador. Las máquinas más nuevas de la diálisis en el mercado se automatizan altamente y supervisan parámetros, incluyendo sangre e índices de corriente del dializador; conductividad, temperatura, y pH de la solución de diálisis; y análisis del dializado para la evidencia de la salida de sangre o la presencia del aire. Cualquier lectura que este fuera de gama normal acciona una alarma audible para alertar al técnico del paciente – cuidado que está supervisando a paciente. (Latorre, 2012)



*Ilustración 1. Esquema de la hemodiálisis Recuperado:*

<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Di%C3%A1lisis&fromhttp=1>

### 7.1.6 Sistema de aguas de diálisis

Las grandes cantidades de agua, que se mezcla con el concentrado para formar el dializado, dado que los riñones dañados no pueden realizar su función prevista de quitar impurezas y contaminantes.

Con base en ello se purifica cuidadosamente antes de usar una vez que el agua purificada se mezcla con el concentrado de dializado, su conductividad aumenta, puesto que el agua contiene los iones cargados conduce electricidad. Durante diálisis, la conductividad de la solución de diálisis se supervisa continuamente para asegurarse de que el concentrado del agua y dializado se está mezclando en la proporción apropiada.

### **7.1.7 Capacidad de atención en la sección renal del hospital el tunal**

El hospital el tunal fue concedido y construido del programa ciudad bolívar contempló la construcción de un centro hospitalario poli ambulatorio al sur de la ciudad, con una influencia directa 1.7 millones y una cobertura aproximada de 600.000 habitantes de regímenes subsidiado y contributivo (cortes, 2015).

Cuenta con máquinas altamente equipadas 45, el cual funciona las 24 horas y aproximadamente se estima 253-270 personas vinculadas a los tratamientos renales.

## **7.2 DESECHOS HOSPITALARIOS SEGÚN LA OMS**

### **7.2.1 Desechos infecciosos:**

Desechos que se sospecha contienen patógenos en suficiente cantidad o concentración para causar enfermedad en huéspedes susceptibles (en general, tejidos o materiales contaminados con sangre o fluidos biológicos de pacientes infectados).

### **7.2.2 Desechos patológicos:**

Tejidos, órganos, partes del cuerpo, fetos, sangre y fluidos corporales, cadáveres animales. Las partes del cuerpo reconocibles.

### **7.2.3 Desechos farmacéuticos:**

Productos farmacéuticos, drogas, vacunas y sueros expirados, sin uso, derrames o contaminados que no se utilizan, como materiales descartables utilizados para su manipulación y envasado (guantes, envases con residuos, etc.)

### **7.2.4 Desechos genotóxicos:**

Desechos con propiedades mutagénicas, teratogénicas o cancerígenas. Su principal exponente son las drogas citotóxicas antineoplásicas (materiales contaminado con ellas, residuos en envases, secreciones y heces de pacientes tratados, etc.)

### **7.2.5 Desechos radiactivos:**

Incluyen todos los materiales sólidos, líquidos y gaseosos contaminados radionúclidos de fuentes abiertas (la fuente sellada nunca se elimina al medio externo directamente). (Araujo, 2001)

Los hospitales de tercer y cuarto nivel son los mayores centros de producción de toda clase de residuos: desechos patológicos o anatómicos, sangres y productos sanguíneos, secreciones, excretas humanas infectadas, partes y tejidos corporales, vendajes, sondas y catéteres, sobras de alimentos, elementos puntiagudos y cortantes, además de papeles y basuras de todo orden.

Los desechos infecciosos se producen en general en salas de cirugía, consultorios, en salas de procedimiento de examen, en pediatría y otros servicios como los del laboratorio clínico, bacteriológico y de patología, pueden ser sólidos o líquidos. Los sólidos constituidos por elementos desechables ya utilizados como jeringas,

recipientes, cuchillas de bisturí, sondas, material de curaciones. Los líquidos constituidos por fluidos o secreciones corporales, de los cuales hay unos de alto riesgo como las secreciones vaginales, líquido sinovial, líquido amniótico, fluido cerebral, el producto de drenajes, sudor, orina, vómitos. (Magalón, 2008)

### **7.2.6 Desechos de sangre a través del alcantarillado:**

Por el efecto de dilución que sufre al ingresar al sistema, por el tratamiento de las aguas servidas, y por qué nunca se ha descrito un caso de contagio de enfermedades transmisibles por sangre por exposición ocupacional al desagüe. (Araujo M. , 2001)

## **7.2 CONCEPTO DE REUSO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA.**

### **7.2.1 Reúso**

En el mundo el aumento del consumo de agua debido a la demanda de habitantes ha ejercido una gran presión sobre los recursos hídricos, y los efectos del cambio climático, y la sequía extrema, está afectando fuertemente la disponibilidad de agua en muchas áreas de Colombia y el mundo.

Por un largo tiempo la naturaleza ha generado una recirculación y reutilización de sus recursos, por el proceso del ciclo hidrológico, pero aun en la actualidad este término es desconocido y su aplicación también, las grandes industrias, como la agrícola y comercial a veces lo aplican, pero de manera externa o indirecta.

Durante muchos años este sistema ha funcionado de forma ampliamente satisfactoria o por lo menos así pasa en muchas regiones, parte del agravamiento

de la contaminación, básicamente por la falta de un tratamiento adecuado a efluentes urbanos, cuando se presenta su total inexistencia. En forma directa o planeada del reusó, que es aquella en la que se trata un efluente para ser reutilizado con una determinada finalidad como, por ejemplo, una práctica de reusó de efluentes urbanos para tratados agrícolas. (Colombia, Manual para la Conservación y Reuso del Agua para la Industria., 2005)

En gran parte de Colombia y el resto del planeta se vienen evidenciando problemas de escasez y contaminación del recurso, por tal razón es prioridad alternar tecnologías o tratamientos que puedan ayudar a potenciar la recirculación del efluente, ya que gracias a esto se puede recuperar, preservar y conservar los recursos disponibles que aún quedan en el planeta tierra.

Por el cual es fundamental, ya que los cuerpos hídricos del país se ven afectados por los vertimientos contaminantes de origen agrícola, industrial y doméstico principalmente. La construcción de presas y la canalización de ríos se redundan también en detrimento de importantes recursos de agua dulce. (Colombia, Manual para la Conservación y Reuso del Agua para la Industria., 2005).

### **7.2.1 Ventajas y Ahorro**

Las planificaciones de proyectos de reutilización son muy variables de unos casos a otros, dependiendo fundamentalmente del tipo de reutilización que se pretende, de las condiciones específicas de disponibilidad de agua utilizada donde se tiene que tener un plan conceptual, una investigación preliminar.

- Beneficios ambientales: Reducción en el vertimiento de efluentes industriales a los cursos de agua, posibilitarlo la mejora en la calidad de las aguas. Reducción en la captación de aguas superficiales y subterráneas, ayunado a una situación ecológica más equilibrada. Aumento de disponibilidad de agua para usos más exigentes, como el abastecimiento público, hospitalario, etc.
- Beneficios económicos: Reducción en los costos de producción, aumentos de competitividad laboral y empresarial con incentivos en el cobro de este recurso
- Beneficios sociales: Generación de empleos directos e indirectos, darle un visto viendo al sector productivo frente a la sociedad, con un reconocimiento de calidad. (Igme., 1995)

### 7.2.2 Alternativas De Las Aguas Recuperadas

Acorde al requerimiento alternativos, se mira la viabilidad, tomando en cuenta factores tales como costos y estructura, por tal razón se mira sus aplicaciones.

#### ➤ Reusó en aplicaciones urbanas

- Riego de parques públicos y campos deportivos, patios de escuelas y campos de juegos y zonas de jardines alrededor de edificios e instalaciones públicas.
- Riego de zonas de jardines alrededor de oficinas comerciales.
- Lavado de vehículos, servicio de lavandería, lavado de ventanas.
- Control de polvo y producción de concreto para proyectos de construcción.
- Protección contra incendios a través de hidrantes con agua recuperada.
- Baños y urinarios en edificios comerciales e industriales.

➤ **Reusó en aplicaciones industriales**

- Materia prima el agua es incorporada como producto final, por ejemplo, lo que ocurre en las industrias de cervezas y refrigerantes, de productos de higiene personal e higiene doméstico, de cosméticos, de alimentos y conservas y de fármacos, o sino el agua que es para la obtención de otros productos, por ejemplo, el hidrógeno por medio de electrolisis de agua.
  - Preparación de suspensiones y soluciones químicas, compuestos intermediarios, regenerantes químicos, vehículo y para las operaciones de lavado en general.
- Generación de energía, por medio de transformación cinética o hidráulica.
- Aplicación sobre el suelo y cultivos, acorde a sus características.

### 7.2.3 Calidad De Agua

**Agua Potable:** Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El termino se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades. (EPAS, 2018)

**Tipos de agua:**

- Aguas duras: Son aquellas que poseen importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco, solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.
- Aguas blandas: Compone su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no alteren el valor del pH.

- Aguas alcalinas: Son aquellas que tienen importantes cantidades de carbonates y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando el valor del pH.

### Propiedades físicas del agua

Estado físico	sólida, líquida y gaseosa
Color	incolora
Sabor	insípida
Olor	inodoro
Densidad	1g./c.c. a 4°C
Punto de congelación	0°C
Punto de ebullición	100°C
Presión crítica	217,5 atm.
Temperatura crítica	374°C

*Tabla 1. Propiedades físicas del agua Fuente. Autores*

La calidad del agua depende directamente del uso al cual se designe, por lo general el uso doméstico debe ser clara., agrandable al gusto, no corrosiva, exenta de organismo que produzcan infección intestinal. El agua de consumo humano debe cumplir ciertos requerimientos para su distribución, los mismos que están estipulados en las normas correspondientes, en el consumo humano, la mayoría de

las quejas de los consumidores se relaciona con su sabor, olor, color, lo que determina en gran medida la aceptabilidad de un tipo de agua en particular.

- **CLORUROS:** La concentración de iones cloruros es de 200-300 mg/L; cuando es superior proporciona sabor desagradable al agua además corroe los metales en el sistema de distribución, especialmente el agua de escasa alcalinidad y el tratamiento no elimina el cloruro existente en el agua.
- **NITRITOS Y NITRATOS:** Los nitritos pueden descomponerse en presencia de bacterias talofíticas, convirtiéndose en  $\text{NO}_2$  que luego se oxida a  $\text{NO}_3$ . Se admite concentraciones en trazas, pero en la actualidad ningún valor es permisible debido a su nocividad.
- **NITRÓGENO AMONIACAL:** La presencia de grandes cantidades indica generalmente una contaminación reciente por materia orgánica en descomposición, siendo viable una contaminación bacteriológica. El amoníaco favorece la proliferación de ciertas bacterias que otorga olores desagradables
- **DUREZA:** Es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio y en menos proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La que se debe a los bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio se denomina dureza temporal y puede eliminarse por ebullición.
- **BICARBONATOS Y CARBONATOS:** Estos iones constituyen los componentes alcalinos principales de casi todas las fuentes de agua, y son las que caracterizan la alcalinidad.

- **HIERRO:** La presencia de hierro en el agua es siempre perjudicial, aunque su contenido sea pequeño, ya que se precipita en contacto con el oxígeno del aire, en forma de flocules rojizos que enturbian el agua y ensucian la ropa. El agua debe poseer máximo 0.3 mg/L, cuando excede este límite se forma un precipitado color pardo rojizo y proporciona sabor desagradable.
- **FOSFÁTOS:** El mayor problema de existencia de fosfatos en el agua es que ayudan a la proliferación de organismos especialmente algas; en los sistemas de tuberías.
- **SULFATOS:** Concentraciones mayores a 4000 mg/L afectan el sabor de las aguas, además esta agua tiene un efecto laxante, cuando este acompañado de magnesio.
- **SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS:** Están constituidos fundamentalmente por sustancias inorgánicas, las principales son calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Su principal efecto es en el sabor y su concentración debe ser inferior a 600 mg/L.
- **SUSTANCIAS ORGÁNICAS;** Su presencia produce olores desagradables en el agua, incluso el mal olor producido puede ser un indicativo de aumento en la actividad biológica.

#### **CARACTERÍSTICAS QUÍMICO ORGÁNICAS:**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** Se define como la cantidad de oxígeno que hay que proporcionar a un agua residual para oxidar, por vía biológica, la materia orgánica biodegradable presente sin que se alcance el

estado anaerobio. Su determinación se puede realizar laboratorio, evaluando la cantidad de oxígeno, expresada en mg/L consumida en unas condiciones de ensayo especiales (incubación a 20°C y en la oscuridad, durante un tiempo determinado de 21 a 28 días), para asegurar la oxidación por vía biológica de la materia orgánica biodegradable. (Vera, 2013).

La relación DQO/DBO<sub>5</sub>, es usada para determinar la parte orgánica biodegradable en el agua residual. Esta relación permite comparar la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación por microorganismos con el oxígeno total requerido por oxidación química de los compuestos presentes en la muestra. Los hospitales son reconocidas fuentes de compuestos recalcitrantes. (rodriguez, 2012).

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujos en solución fuertemente ácida H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con un exceso conocido de dicromato de potasio en presencia de sulfato de plata que actúa como agente catalizador, y de sulfato de mercurio adicionado para remover la indiferencia de los cloruros. Es pues de la digestión, el remanente de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de o-fenatrolina. La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente. (Metcalf, 1995)

- **Pseudomonas aeruginosa:** En un sistema de tratamiento para una hemodiálisis tienen algunas componentes infecciosas como es este microorganismo, que se encuentra muchos en vertimientos del tratamiento de hemodiálisis, por eso es de vital importancia de la eliminación por completa de esta especie de proliferación.
- **Coliformes Totales:** Esta especie de bacteria suele estar presente en heces de animales, lo cual es índice de contaminación, en este caso de agua, por la cual es de suma importancia la desinfección adecuada de dicha agua de rechazo.

### 7.3 AGUA DE RECHAZO Y PLANTA DE OSMOSIS INVERSA.

#### 7.3.1 Tecnologías de membrana

Las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, basadas en el tratamiento biológico no son eficaces para eliminar las sales disueltas ni los contaminantes emergentes al nivel deseado para su reutilización en riego agrícola. Para ello, es necesario un tratamiento desalinización. Dentro de los tratamientos usados para la separación de sales, la tecnología de membrana utilizado osmosis inversa (OI) se muestra como el proceso más utilizado, aunque tiene diversos inconvenientes. Por consiguiente, esta tesis tiene por objetivo evaluar una alternativa a este tratamiento, una tecnología emergente llamada ósmosis directa (OD).

La ósmosis se define como el movimiento neto de agua a través de una membrana semipermeable selectiva, que permite el paso de esta, pero rechaza el paso de

sales. La fuerza impulsadora que permite el transporte de agua a través de la membrana se describe por la ecuación 1.

$$j_w = A(\sigma\Delta\pi - \Delta P)$$

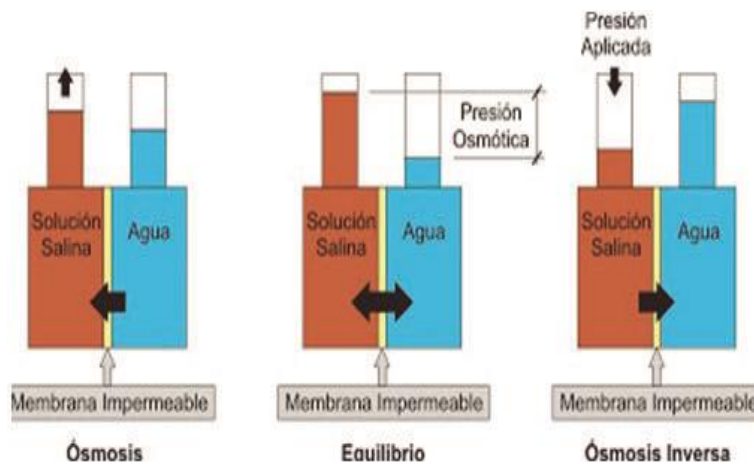
*Ecuación 1.*

Donde  $j_w$  es el flujo de agua,  $A$  la constante de permeabilidad al agua de la membrana,  $\sigma$

El coeficiente de reflexión,  $\Delta\pi$  la diferencia de presión osmótica y  $\Delta P$  la presión aplicada. Las direcciones de flujo de los diferentes procesos osmóticos vienen ilustradas. (Cornelissen, 2008.)

### 7.3.1 Funcionamiento osmosis inversa

Las direcciones de flujo de los diferentes procesos osmóticos vienen ilustradas.



*Ilustración 2 Dirección del flujo en las situaciones de OD. Recuperado. equilibrio y OI*

La OD es el fenómeno natural, donde el diferencial de presión osmótica a través de la membrana es la fuerza motriz para el transporte de agua a través de esta. La presión osmótica es la presión que, si se aplica a la solución más concentrada, evitaría el transporte de agua a través de la membrana.

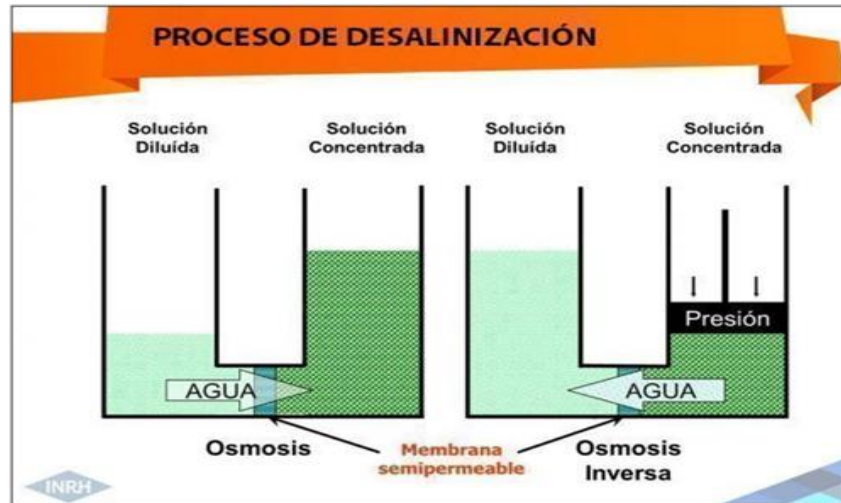


Ilustración 3. Proceso de desalinización Recuperado.

<https://www.smartgridsinfo.es/2-esquema-proceso-desalinizacion-osmosis-inversa>

La OI utiliza presión hidráulica para oponerse y superar la presión osmótica de una solución alimento. De esta manera se produce agua purificada en el lado del permeado. En este caso, la presión aplicada es la fuerza impulsora para el transporte del agua a través de la membrana.

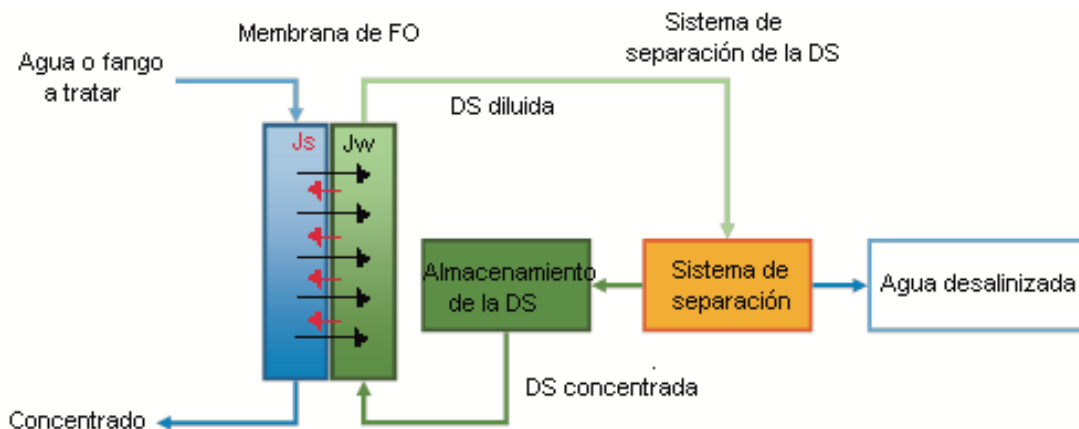
### 7.3.2 Osmosis inversa

La OI es un proceso desalinizador muy común y por lo tanto, muy estudiado y optimizado. Se utiliza sobre todo para potabilizar agua de mar, pero también se usa en procesos de afino para potabilizar aguas de río con elevada conductividad o eliminar sales en aguas residuales, principalmente para reutilización agrícola [6]. Sin embargo, de acuerdo con Valladares et al [7], este proceso tiene tres principales desventajas o inconvenientes:

- Proceso con un elevado consumo energético, debido a la alta presión hidráulica utilizada para impulsar el agua hacia el otro lado de la membrana, y así, producir permeado.
- Se necesita un pretratamiento extensivo para mantener el funcionamiento a largo plazo de las membranas. Estas membranas no aceptan que el agua tenga un Silt Density Index (SDI) superior a 3 ni sólidos en suspensión con un tamaño superior a 5 $\mu$ m.
- El frecuente ensuciamiento de la membrana, lo que resulta en la disminución de sus propiedades hidráulicas, como, por ejemplo, una caída en la permeabilidad o un incremento de la pérdida de carga. Para compensar la pérdida en la producción de agua, los sistemas requieren un aumento en la presión hidráulica aplicada y limpiezas químicas más frecuentes, lo que se traduce en mayores costes operacionales. (Corzo García, Forward osmosis application for water reuse, 2018)

### ➤ Ósmosis directa

La OD se considera una tecnología de membrana emergente para reutilización y desalinización de agua. En OD, a través de una membrana semipermeable, el agua se extrae de una solución de alimentación con presión osmótica menor, hacia una solución extractora (DS) de presión osmótica mayor. Esta membrana funciona como una barrera que permite solamente el paso del agua, rechazando las sales u otros elementos no deseados. El resultado de este proceso es la concentración de la corriente de alimentación, donde se implementará un proceso de oxidación avanzada para degradar los contaminantes contenidos en este rechazo y la dilución de la DS, donde se sitúa el agua producto. Por lo tanto, esta DS debe separarse para reutilizarla en el proceso y finalmente, conseguir el agua para riego, lo que se denomina la ósmosis directa híbrida. (Corzo García, Forward osmosis application for water reuse, 2018)



*Ilustración 4 Diagrama esquemático del proceso de OD híbrida. Recuperado.*

<https://www.tdx.cat/handle/10803/565820#page=8>

La osmosis inversa depende de la presencia de barreras o membranas que son selectivas pero que el disolvente de una solución puede atravesarla mientras que

los otros componentes de la solución o el soluto no pueden, dicha membrana describe como semipermeable, la presión osmótica es la presión requerida para detener el flujo solvente a través de una membrana se describe como semipermeables, la presión osmótica es la presión requerida para obtener el flujo de solvente a través de una membrana semipermeable que separa dos soluciones con distintas concentraciones. Para separar el agua de los sólidos disueltos por osmosis inversa, la presión aplicada debe ser mayor que la presión osmótica. Mientras que en electrodiálisis se hace pasar una corriente eléctrica entre dos contactos situados en el agua; los distintos iones de las sales disueltas se dirigen hacia los polos del signo opuesto (segovia., 2012).

### **7.3.2 Partes de la planta del proceso de osmosis inversa**

Los equipos de ósmosis inversa son un sistema completo de purificación de agua, y están constituidos por un conjunto de filtros de diferentes tipos, destinados a ofrecer al usuario una calidad de agua netamente superior al agua potable suministrada en su domicilio por la red, en lo relativo a propiedades químicas y organolépticas, sus principales componentes son:

- Membrana Semipermeable
- Tubos de Presión contenido la membrana
- Bomba generadora a presión
- Válvulas reguladoras de control
- Contenedores del permeado



*Ilustración 5. Planta de osmosis inversa hospital tunal. Autores*

### **7.3.3 Características de la osmosis inversa**

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos)
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos
- Proceso de purificación de forma continua
- Tecnología simple, que no requiere de mucho mantenimiento
- Es modular y necesita poco espacio, de acuerdo a los caudales deseados.

(BENAVIDES, DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE OSMOSIS INVERSA PARA LA EMPRESA DOBER OSMOTECH DE COLOMBIA LTDA, 2011)

#### **7.3.4 Aplicaciones Osmosis inversa**

- Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de población.
- Tratamiento de efluentes industriales para el control de la contaminación y recuperación de compuestos.
- Industrias de alimentación (concentración de alimentos).
- Industrias cosméticas.
- Industrias de vidrio.
- Hospitales y Laboratorios.
- Medioambiente
- Desalinización. (BENAVIDES, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE, 2011)

#### **7.3.3 Agua de rechazo y su impacto**

La membrana de osmosis inversa tiene unos grandes factores de limpieza, por lo que gran parte del flujo de agua entrada arrastra los contaminantes sales y minerales. A esto se le conoce como agua de rechazo, la cual muchas veces es vertida de manera directa, aunque en la actualidad la utilizan para procesos en a que sus características sean admisibles. (anónima, 2018)

Por tal razón es importante la gestión del rechazo de dicha agua, para poder sacar provecho tanto costo y ambiente.

## 7.4 MARCO LEGAL

A continuación, la tabla 2 relaciona las normas que rigen actualmente con el objeto del presente proyecto.

<b>NORMA</b>	<b>EXPEDIDO POR</b>	<b>RELACION</b>
Constitución Política de Colombia	Asamblea Nacional Constituyente	Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Esta política establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de estrategias para la preservación y conservación del recurso hídrico a nivel nacional Esta normatividad es de gran importancia dado que apoya la ley 393 de 1997 por la cual se garantiza garantizar la

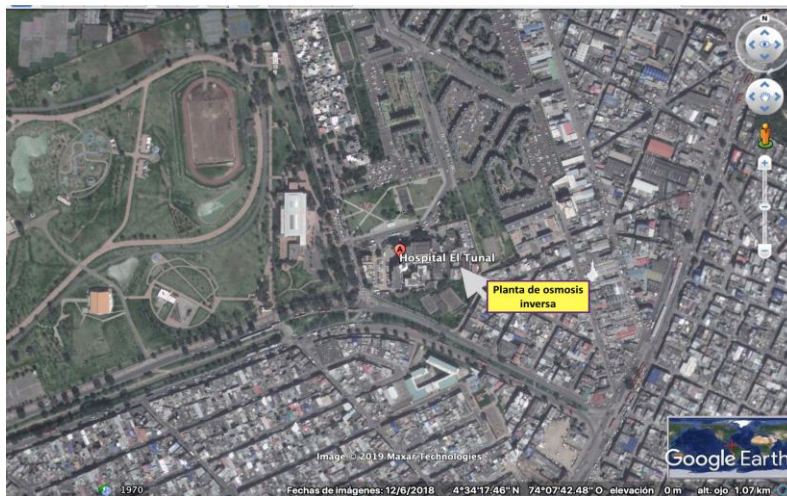
		sostenibilidad del recurso hídrico mediante el ahorro y uso eficiente lo cual permitirá establecer la oferta y demanda que tiene el agua.
Ley 373 de 1997	Congreso de la Republica de Colombia	Establecer el programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), modificase la composición de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.
Resolución 1207 DE 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Disposiciones relacionadas con el uso de agua residuales tratadas.

*Tabla 2. Marco legal vigente. Fuente: Autores*

## 8. AREA DE ESTUDIO

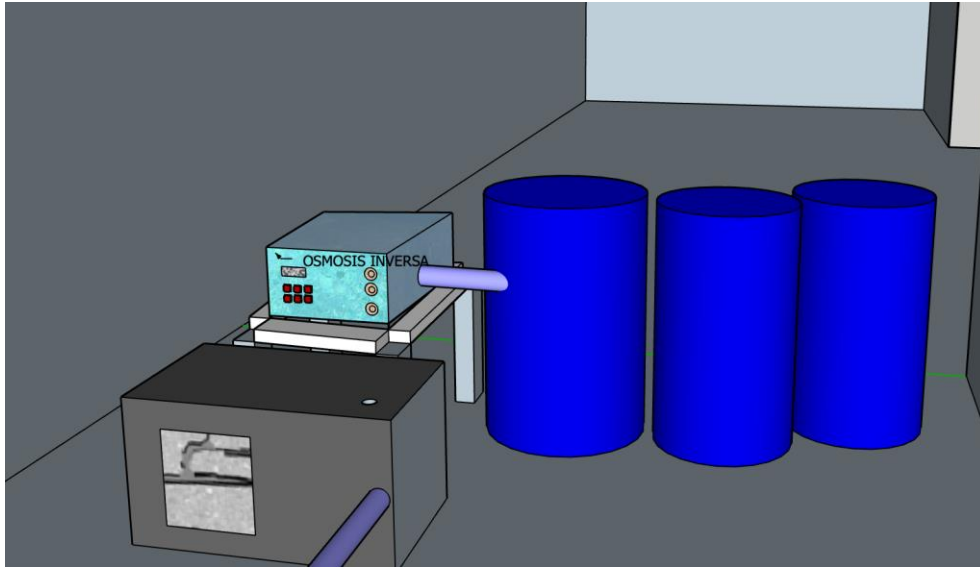
### 8.1 LOCALIZACIÓN

El hospital el tunal se encuentra ubicado al sur de la ciudad, donde se categoriza de tercer nivel y donde laboran aproximadamente 80 personas entre administrativos, médicos, enfermeras, operarios y personal de servicios generales que están en labor las 24 horas del día atendiendo a los cerca de 270 pacientes que se atienden en el tratamiento de hemodiálisis, su dirección catastral 35. CRA.20#42 sur47 sus coordenadas 4°34'17.42"N-74°07'42.48"O.



*Ilustración 6 Localización hospital el tunal y la planta osmosis inversa Recuperado. Google Earth*

## 8.2 PLANTA DE OSMOSIS INVERSA



*Ilustración 7. Plano virtual de la planta de osmosis inversa. Fuente: Autores*

La planta de osmosis inversa se encuentra ubicado en la parte oriental del hospital, donde se establece la sección renal I y por consiguiente se ubica la planta de osmosis inversa, la cual cuenta con un gran sistema.

- **Caja de inspección llegada de vertimientos del hospital y planta de osmosis inversa**

La salida del agua de rechazo va directamente a la caja de inspección de agua residual, parte de los vertimientos de sanitarios llegan de manera directa, posteriormente pasa al cuerpo hídrico más cercano.



*Ilustración 8. caja de inspección de aguas residuales. Fuente: autores*

- **Planta de osmosis inversa**

Planta de osmosis, donde se encuentra las dos membranas y la lámpara con luz uv, que tiene como propósito la eliminación de componentes contaminantes, presentes del tratamiento de hemodiálisis.



*Ilustración 9. Planta de osmosis inversa. Fuente: autores*

- **Tanque de agua permeada**

Este proceso se da gracias a la alta presión en la entrada de la planta que contienen las membranas de separación donde se generan don grandes flujos de agua de rechazo y permeado.



*Ilustración 10. Tanque de permeado. Fuente: Autores*

- **Tanque de estación de flujo**

Este tanque estacionario, tiene como función la regulación de flujo que sale de la planta de osmosis inversa, estabilizando el agua de rechazo que sale de dicho proceso.



*Ilustración 11. Tanque estacionario de flujo. Fuente: Autores*

- Filtros de carbón activado

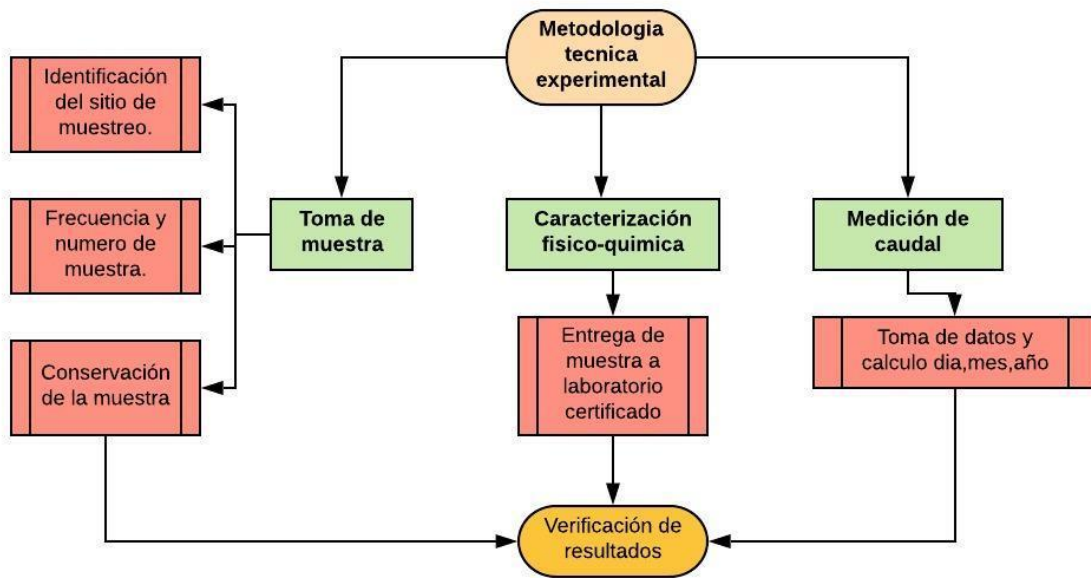
Estos filtros trabajan extrayendo los materiales pesados que se encuentra antes de entrar en el proceso de osmosis inversa, el cual es pretratamiento para la remoción de contaminantes orgánicos por absorción.



*Ilustración 12. Filtros de carbón activado. Fuente: Autores*

## 9. METODOLOGIA

En nuestro proyecto investigativo, su eje fundamental se basa en la ejecución de todo lo referente del efluente de la planta de osmosis inversa, donde se identificó la zona de trabajo y la información valida referenciada del sitio, con base en ello se toma la pertinente caracterización de los parámetros seleccionados, para su adecuado análisis acorde a la normatividad legal vigente, para dar como finalidad la estructura de la matriz clasificatoria y el dimensionamiento del proyecto.



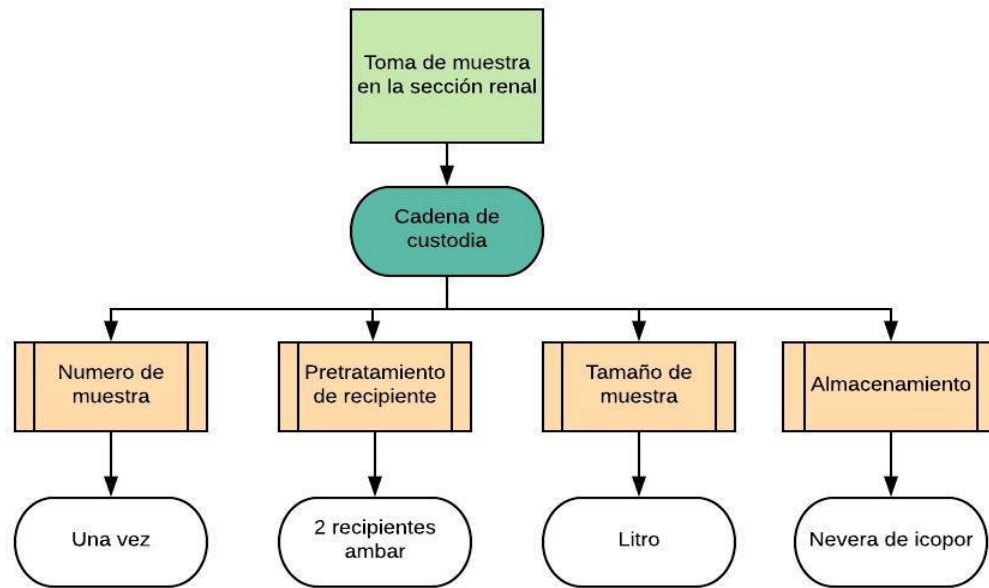
*Ilustración 13. Metodología técnica experimental. Fuente: autores*

## 10.1 IDENTIFICACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

Se procede a ubicar el lugar, dentro del hospital el tunal en la sección de diálisis al oriente del hospital donde se encuentra la planta de osmosis inversa y la salida del efluente del agua de rechazo.

## 10.2 TOMA DE MUESTRA

La toma de muestra que se utilizó en el presente trabajo es el de azar simple, para la toma correspondiente después del proceso de osmosis inversa, el cuál es el agua de rechazo para su pertinente análisis.



*Ilustración 14. Toma de muestras en sección renal*



*Ilustración 15. Punto de muestreo del agua salida de osmosis inversa. Fuente: Autores*

#### 10.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

Se tiene en cuenta, la toma de la muestra siendo obtenida de la salida de la planta de osmosis inversa, previamente homogenizado y preparado los dos envases, para el adecuado almacenamiento, donde nos permitirá a determinar la propiedades químicas y físicas, con base en ello se diagnosticara las condiciones de esta agua, obteniendo resultados de eficiencia de la planta de osmosis inversa, donde se determinara la cantidad total de contaminantes presentes, donde se permitirá comparar la variación de los resultados para la elección correcta de la alternativa.

PARAMETRO	UNIDADES	METODO
pH	Unid	Standard methods
Calcio	Mg/l	Standard methods
Magnesio	Mg/l	Standard methods
Sodio	Mg/l	Standard methods
Potasio	Mg/l	Standard methods
Zinc	Mg/l	Standard methods
Cadmio	Mg/l	Standard methods
Plata	Mg/l	Standard methods
Aluminio	Mg/l	Standard methods
Arsénico	Mg/l	Standard methods
Bario	Mg/l	Standard methods

Cromo	Mg/l	Standard methods
Cobre	Mg/l	Standard methods
Plomo	Mg/l	Standard methods
Selenio	Mg/l	Standard methods
Antiamonio	Mg/l	Standard methods
Mercurio	Mg/l	Standard methods
Nitratos	Mg/l-N	Standard methods
Sulfatos	Mg/l	Standard methods
Fluoruros	Mg/l	Standard methods
Pseudomonas aeruginosa	UFC/ 100 mL	Standard methods
Escherichia colí	UFC/ 100 mL	Standard methods
Coliformes Totales	UFC/ 100 mL	Standard methods

*Tabla 3. Parámetros escogidos para realizar insitu.*

En la investigación del presente trabajo el laboratorio certificado QUIMIA S.A.S, junto al ente operativo de la planta de osmosis inversa del hospital nos suministrar a través del método cuantitativo el informe de parámetros del agua purificada salida osmosis inversa.

Acorde a esto se mirará los requerimientos de alternativa más viables considerando alguna modificación en el sistema o funcionamiento.

## 10.5 MEDICIÓN DE CAUDAL

Aforar es el proceso de medir un caudal, desde pequeños caudales. Para la medición de caudal, se realizaron varios aforos en la zona de muestra de la planta de osmosis inversa, donde se aplicará la técnica del ping pong y el cronometro, tomando el tiempo en segundos y hacer la respectiva ecuación.



*Ilustración 16. Medición de caudal. Fuente: Autores*

## 10. RESULTADOS

Acorde a lo establecido y a los resultados avalados por un laboratorio certificado por el hospital, nos fundamentamos en que no haya presencia de organismos prolíferos de enfermedades, ya que no todos los organismos resultan ser eliminados, por tal razón se caracterizó el agua de rechazo, ya que estas aguas aportan diferentes sustancias biológicas y químicas, tales como secreciones, por tal razón se analiza acorde a los valores máximos permisibles de la normatividad colombiana vigente en esta caso la (**Resolución 1207 del 2014**), dado los resultados se estiman las condiciones para que esta agua pueda ser utilizada, comprobando condiciones similares a la del agua potable, dejando un gran espacio para una reutilización adecuada.

## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

### 12.1 ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA

Las respectivas pruebas, fueron del efluente del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa, proveniente de las secciones del proceso de hemodiálisis a continuación se relacionan los resultados obtenidos:

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO LABORATORIO</b>
pH	Unid	6.56
Calcio	Mg/l	< 0,01 mg/L
Magnesio	Mg/l	< 0,01 mg/L
Sodio	Mg/l	4,72 mg/L
Potasio	Mg/l	< 0,01 mg/L
Zinc	Mg/l	< 0,01 mg/L
Cadmio	Mg/l	< 0,0005 mg/L
Plata	Mg/l	< 0,001 mg/L
Aluminio	Mg/l	< 0,005 mg/L
Arsénico	Mg/l	< 0,005 mg/L
Bario	Mg/l	< 0,005 mg/L
Cromo	Mg/l	< 0,001 mg/L
Cobre	Mg/l	< 0,002 mg/L
Plomo	Mg/l	< 0,001 mg/L
Selenio	Mg/l	< 0,005 mg/L
Antimonio	Mg/l	< 0,002 mg/L
Mercurio	Mg/l	< 0,002 mg/L
Nitratos	Mg/l-N	< 0,2mg/L-N
Sulfatos	Mg/l	< 2 mg/L
Fluoruros	Mg/l	< 0,005 mg/L

Pseudomonas aeruginosa	UFC/ 100 mL	Ausente/ 100ml
Escherichia colí	UFC/ 100 mL	Ausente/ 100ml
Coliformes Totales	UFC/ 100 mL	Ausente/ 100ml

*Tabla 4. Resultados obtenidos de cada uno de los parámetros realizados.*

Cabe resaltar que la caracterización fisicoquímica del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa fue suministrada por el hospital y operario de la planta, la cual fue comparada con la resolución 1207 de 2014 verificando el cumplimiento de esta.

- pH: Se obtiene valores promedios entre 6.56-6.20, comportándose entre valores que tienden hacia acidez, pero comparando con la resolución 1207 se cumple con la alternativa requerida.
- Calcio, Mg, Na, k: Los valores promedios de dichos cationes están dentro de los valores máximos permisibles acorde a la normatividad, siendo aceptados por la alternativa requerida.
- Fluoruros: Generalmente las aguas procedentes de hospitales de tercer nivel, tiene gran contenido de fluoruros, pero en este caso se registra (0,005 mg/L) que se encuentran por debajo de los valores permisibles.
- Nitratos: Los iones de nitratos son inorgánicos de origen natural que hacer parte de su ciclo, donde se descomponen acorde a lo microorganismos presentes en el agua o suelo, la cual es un parámetro importante ya que tienen correlaciones cancerígenas, acorde al resultado se ve que está por debajo de la norma, dando aceptabilidad.

- Iones metales pesados: Elementos esenciales generalmente se encuentran presentes en desechos o vertimiento industriales, sin embargo (hierro, cadmio, cromo, mercurio, plomo, etc) teniendo gran potencial de toxicidad altera procesos de biodegradación por la cual es importante su eliminación, donde cumple restrictivamente su valor límite permisible.
- Pseudomonas aeruginosa: Este bacilo gram negativo puede causar diversos tipos de infecciones, donde se encuentra en la mayoría en heces, suelo y agua, es de fácil proliferación, pero en los resultados obtenidos, ausente de unidades formadores de colonias.
- Escherichia colí: Este microorganismo es fuente de indicación de contaminantes orgánicos, el cual es de suma importancia la no presencia de dicha bacteria, en la prueba se da la ausencia de esta.
- Coliformes totales: Dicho indicador orgánico, se considera fuente de gran grupo de bacterias, donde es relevante ante la contaminación de fuente hídricos, por tal razón es importante la desafección y el buen tratamiento de dichas aguas para garantizar condiciones óptimas.

## **12.2 MATRIZ CALIFICATIVO DE ALTERNATIVAS DEL AGUA DE RECHAZO DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA**

En el trabajo investigativo se evaluó los parámetros acordes a la normatividad vigente, la cual confiere el reusó de aguas tratadas para su respectiva aplicación.

Se anexan las matrices calificativas relacionando cada uno de los parámetros realizados, su valor y el resultado obtenido; tanto para uso agrícola como para uso industrial. *(Anexo 1)*

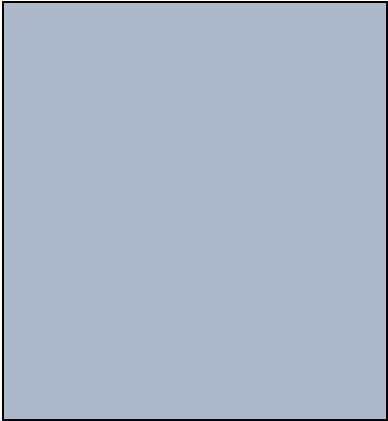
### 12.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el trabajo de investigación, realizado en la planta de osmosis inversa ubicado en la sección de hemodiálisis del hospital el tunal, se llegó a los resultados de los parámetros físico químicos, donde acorde al técnica standars methods se analiza para ver la viabilidad de reutilizar esta agua, tomando como referencia los valore máximos permisibles de aguas tratadas, la cual se establece en la resolución 1207 de 2014, donde se describe las condiciones pertinentes de reutilización, donde se ve reflejado su objetivo fundamental, para ello se evaluó lo beneficios de la medida a establecer y se dimensionó los tanques de almacenamiento de esta agua de rechazo, con el fin de analizar las ventajas técnicas, ambientales y económicas que se le atribuye al hospital, dando vía libre a que más entidades públicas y privadas comiencen con iniciativas de alternativas limpias.

Seguido de que sea pionero en dichos hospitales, se mira la calidad de los resultados obtenidos y se establece que las pruebas realizadas por el laboratorio fueron viables para el propósito y objetivo a implementar, brindando las condiciones óptimas para su reutilización.

## 12.4 REQUERIMIENTO DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

<b>ALTERNATIVA 1</b>	
<b>Reúso del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa, en procesos de riego de zonas verdes y áreas comunes.</b>	
<b>VENTAJAS TECNICAS</b>	Esta alternativa es viable técnicamente, ya que gracias a un sistema de riego de aspersión se aprovechará casi el 80% de esta agua, asegurando casi media hectárea de zonas verde del hospital.
<b>VENTAJAS ECONOMICAS</b>	El sistema de riego ya está acoplada al hospital, el cual no será un costo su aplicación, teniendo el dimensionamiento del tanque de almacenamiento, se estima un riego constante.
<b>VENTAJAS AMBIENTALES</b>	La calidad del aire que se puede obtener por un sistema de barreras vivas y de jardines, es alta gracias al riego constante, el cual contribuye al control de material particulado y al crecimiento de la vegetación.
<b>VENTAJAS SOCIALES</b>	Socialmente, se ve reflejado en los empleados del hospital, ya que se aumentará la cobertura de zonas verdes en las áreas comunes del hospital, dando espacios verdes a los empleados y pacientes.
<b>ILUSTRACIÓN</b>	



## ALTERNATIVA 2


**Descarga de sanitarios del área administrativa y operaria.**

### VENTAJAS TECNICAS

Las condiciones del hospital son propicias, para el aprovechamiento en gran porcentaje del agua de rechazo de la planta de osmosis, garantizando un buen estado de instalaciones hidráulicas ya presentes del hospital, implantando un sistema eficiente de bombeo y unidad para su proceso.

### VENTAJAS ECONOMICAS

La formulación de dicha alternativa estaría y si diseño son viablemente económicos, ya que el sistema de bombeo que se tiene pronosticado utilizar es eficiente, y el ahorro en costos de agua son notables y considerables ya que a la semana casi 6000 lt de agua se gastan por proceso de hemodiálisis.

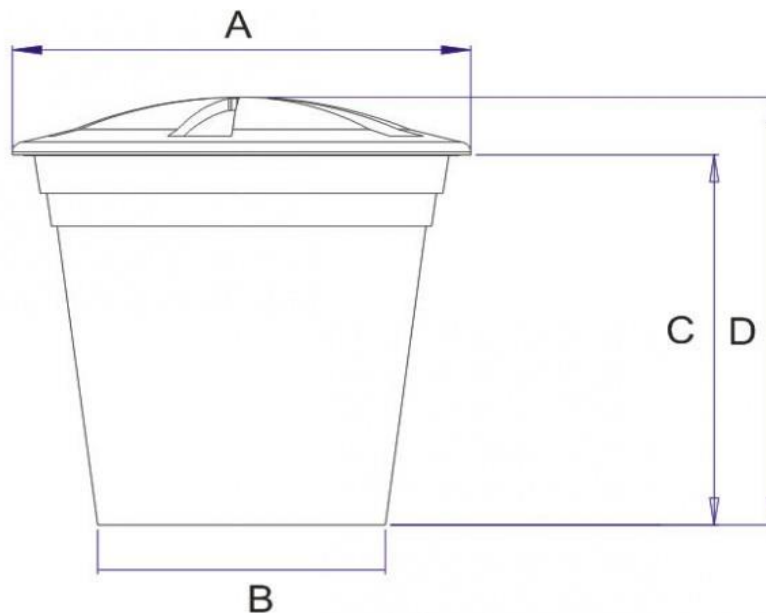
<p><b>VENTAJAS AMBIENTALES</b></p>	<p>La contribución al ahorro eficiente de aguas y su adecuada reutilización es un principio ambiental que disminuye el impacto generado a nuestros cuerpos de aguas, ya que esta carga contaminante se prolongara y así se provee vida útil a nuestro cuerpo hídrico</p>
<p><b>VENTAJAS SOCIALES</b></p>	<p>Socialmente las personas verán la iniciativa de la sostenibilidad y como ejemplo, se tomarán para que se aporten más procesos de reutilización y rehusó en nuestro país, ampliando el conocimiento ambiental y su precisa aplicación.</p>
<p><b>ILUSTRACIÓN</b></p>	

## 12. DISEÑO Y ADIMENSIONAMIENTO

### 12.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El diseño de tanque de almacenamiento se basa fundamentalmente para almacenar y procesar el fluido de la salida de la planta de osmosis inversa, ya que se estima un caudal próximo de 720 lt/día y 5040 lt/sem, con base en ello el sistema contará con dos tanques comerciales de capacidad aproximada 5 m<sup>3</sup> o 5000 lts, con dimensiones:

- A = 2,18 mt diámetro
- B = 1,73 mt diámetro
- C = 1,94 mt altura
- D = 2,15 mt altura



*Ilustración 17. Tanque de almacenamiento, Recuperado:*

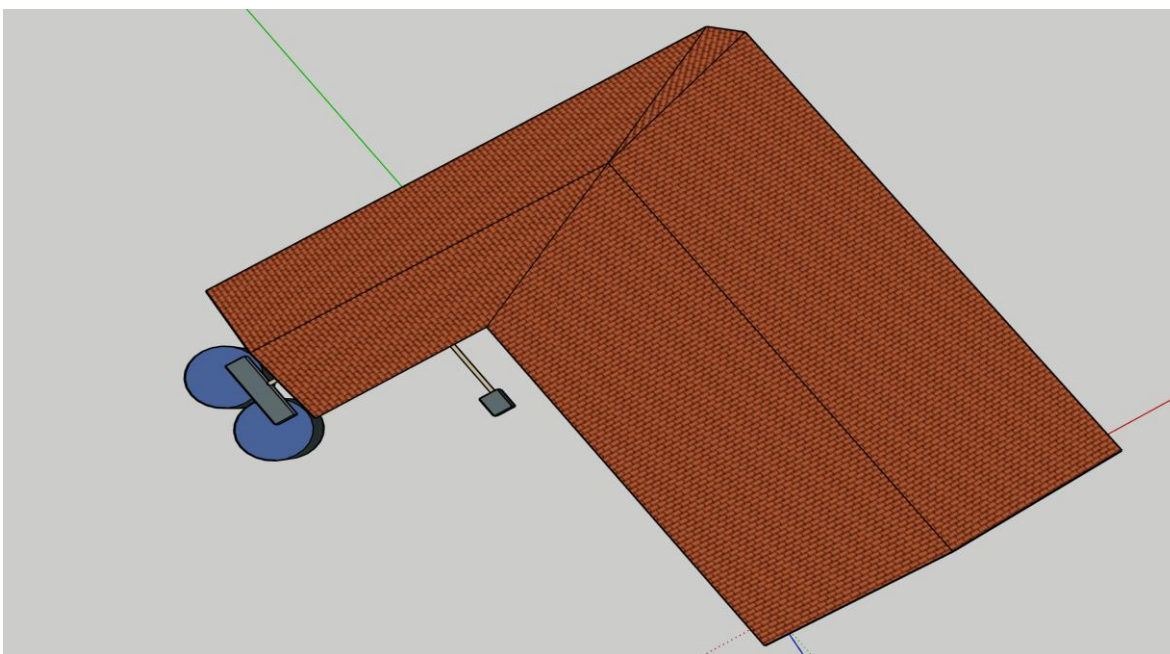
[https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colempaques\\_tanques\\_plasticos.pdf](https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colempaques_tanques_plasticos.pdf)

## 12.2 PLANOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

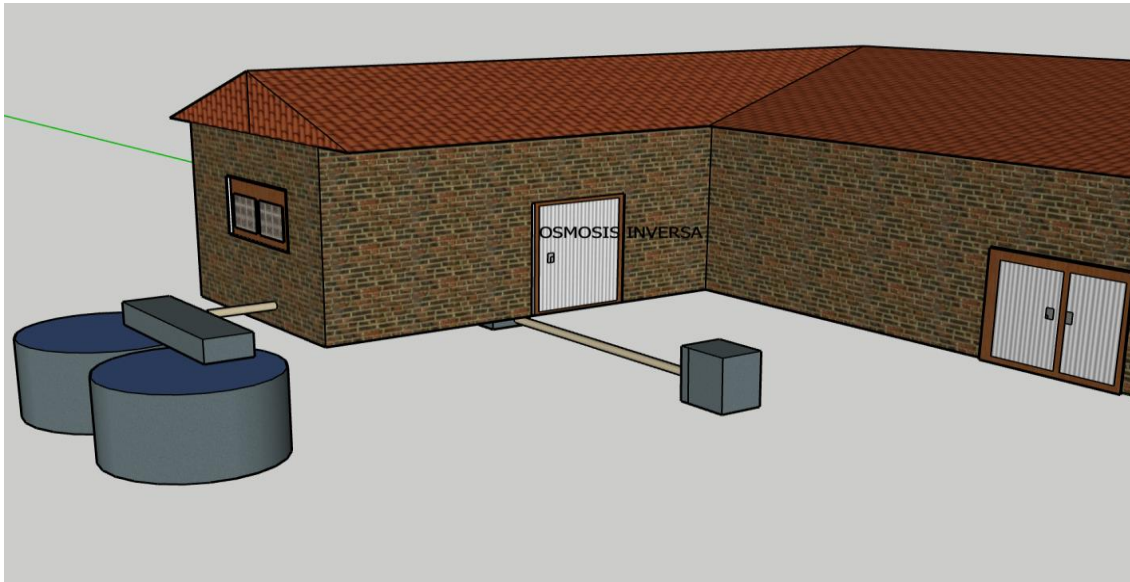
(Anexo 2)



*Ilustración 18. Vista del tanque de almacenamiento y caja de vertimiento. Fuente: Autores*



*Ilustración 19. Vista superior de la sección renal. Fuente: Autores*



*Ilustración 20. Ubicación de la planta de osmosis inversa. Fuente: Autores*

### 13. CONCLUSIONES

- Se comprobó a través de la línea base la identificación de las condiciones y características de los usos del agua de rechazo mediante la realización de un diagnóstico, el cual dio como alternativa riego en zonas de jardín y parques.
- Se analizó la caracterización fisicoquímica del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa, para certificar el cumplimiento de (Resolución 1207 de 2014), y para escoger la alternativa más viable.
- Los parámetros fisicoquímicos del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa no superan los valores máximos permisibles de la norma vigente (Resolución 1207 de 2014).
- Después de la realización del diagnóstico del agua, se propusieron dos alternativas con base en una matriz de calificación.
- La alternativa 1, (Reúso del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa, en procesos de riego de zonas verdes y áreas comunes) es la de mayor y la más viable para su uso.

## 14. RECOMENDACIONES

- Se sugiere un lavado manual en los tanques de almacenamiento propuestos en el proyecto, para prevención del crecimiento de microorganismos patógenos.
- Se aconseja al hospital realizar una caracterización del agua de rechazo, almacenada en los tanques para su adecuada reutilización.
- Se recomienda una revisión técnica, periódica semestral de la tubería interna y externa de la planta y el tanque de almacenamiento.

## 15. REFERENCIAS

- Ambiente, M. d. (25 de octubre de 2010). Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)
- Ambiente, M. d. (25 de octubre de 2010). Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)
- Ambiente, M. d. (13 de agosto de 2014). *RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014* . Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_1207\\_2014.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf)
- anónima, B. s. (2018). *Qué es la ósmosis inversa*. Obtenido de <http://www.bienda.com/pdf/documentos/osmosis-inversa.pdf>
- Araujo. (2001). Obtenido de Desechos Hospitalarios: Riesgos Biológicos y Recomendaciones Generales Sobre su Manejo Unidad de Evaluación de Tecnologías de Salud. Chile.
- Araujo, M. (2001). Obtenido de Desechos hospitalarios riesgos biologicos y reconmedanciones generales sobre el manejo unidad de evaluación de tecnologias de salud.
- BENAVIDES, J. A. (2011). *DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE OSMOSIS INVERSA PARA LA EMPRESA DOBER OSMOTECH DE COLOMBIA LTDA*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE:  
[https://www.academia.edu/12564349/DISEÑO\\_DE\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUA\\_DE\\_OSMOSIS\\_INVERSA\\_PARA\\_LA\\_EMPRESA\\_DOBBER\\_OSMOTECH\\_DE\\_COLOMBIA\\_LTDA](https://www.academia.edu/12564349/DISEÑO_DE_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUA_DE_OSMOSIS_INVERSA_PARA_LA_EMPRESA_DOBBER_OSMOTECH_DE_COLOMBIA_LTDA)
- BENAVIDES, J. A. (2011). *UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE*. Obtenido de DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE OSMOSIS INVERSA PARA LA EMPRESA DOBER OSMOTECH DE

COLOMBIA LTDA.:

[https://www.academia.edu/12564349/DISEÑO\\_DE\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUA\\_DE\\_OSMOSIS\\_INVERSA\\_PARA\\_LA\\_EMPRESA\\_DOBER\\_OSMOTECH\\_DE\\_COLOMBIA\\_LTDA](https://www.academia.edu/12564349/DISEÑO_DE_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUA_DE_OSMOSIS_INVERSA_PARA_LA_EMPRESA_DOBER_OSMOTECH_DE_COLOMBIA_LTDA)

Colombia. (2005). *Manual para la Conservación y Reuso del Agua para la Industria*. bogota , colombia : ibip.

Colombia. (2005). *Manual para la Conservación y Reuso del Agua para la Industria*. Bogota: Ibips.

Cornelissen, E. R. (2008.). et al., "Membrane fouling and process performance of forward osmosis membranes on activated sludge,". J. Membr. Sci.

cortes, J. (2015). *Hospital El Tunal 25 años trabajando pensando en la salud*.

Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/salud/hospital-el-tunal-25-anos-trabajando-pensando-en-la-salud>

Corzo García, B. (2018). *Forward osmosis application for water reuse*. Obtenido de Universitat de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química i Química Analítica: <https://www.tdx.cat/handle/10803/565820#page=8>

Corzo García, B. (2018). *Forward osmosis application for water reuse*. Obtenido de Universitat de Barcelona.: <https://www.tdx.cat/handle/10803/565820#page=8>

Diseases, N. K. (2007). Métodos de tratamiento para la insuficiencia renal. En N. I. Health, *Hemodialysis* (págs. 1-5). usa: NIDDK.

EPAS, A. P. (2018). *EPAS*. Obtenido de MENDOZA GOBIERNO : <http://www.epas.mendoza.gov.ar/index.php/sistema-sanitario/agua-potable>

Igme., A. (1995). *Reutilización de aguas residuales*. Obtenido de capítulo 2: [www.aguas.igme.es](http://www.aguas.igme.es)

Latorre, A. (2012). *Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua proveniente del proceso de hemodialisis*. Obtenido de [dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec)

- Lenntech. (s.f.). *Lenntech*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/biblioteca/osmosis-inversa/que-es-osmosis-inversa.htm>
- Magalón, L. G. (2008). Obtenido de *Administración Hospitalaria*. Colombia. p. 166-167. .
- Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilizado*. (Vol. 1). Madrid , ESPAÑA: McGraw.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. (25 de octubre de 2010). *decreto 3930*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)
- MOSBY.O. (2004). "Diccionario medico 5ta edición". En Mosby, *Clasificación hemodialisis* (pág. 1149). Barcelona, España: Oceano.
- rodriguez, O. (2012). *Remoción de la materia orgánica y toxicidad en aguas residuales hospitalario aplicando ozono*. Colombia : Peganos .
- Segovia., A. I. (2012). "*Diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua residual del proceso de hemodialisis de la clínica de riñones menyodial-riobamba*". ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. Riobaba: Escuela de ingeniería química.
- segovia., A. i. (2012). *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/handle/10803/565820#page=8>
- sostenible, M. d. (25 de octubre de 2010). Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)
- Sostenible, M. d. (13 de agosto de 2014). *RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_1207\\_2014.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf)
- Sostenible, M. d. (13 de agosto de 2014). *RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014* . Obtenido de

[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_1207\\_2014.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf)

VASQUEZ, J. C. (2005). *universidad de la salle* . Obtenido de PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LAS ÚLTIMAS ETAPAS DEL LAVADO INDUSTRIAL DE TEXTILES HOTELEROS Y HOSPITALARIOS:

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14693/00798064.pdf?s>

Vera. (2013). *Carateristicas quimicas orgánicas*. BQF.

# 17. ANEXOS

***ANEXO 1: Matriz calificativa de alternativas del agua de rechazo de la planta de osmosis inversa.***

## ***Anexo 2: Planos planta de osmosis inversa***

***Anexo 3: Resultados parámetros fisicoquímicos  
certificados.***

***Anexo 4: Carta solicitud del proyecto para el hospital***