

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL REÚSO DEL EFLUENTE EN RIEGO, EN APURÍMAC 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Cristian Hugo Vivanco Orreaga

Asesor:

Ing. Mg. Juan Miguel de la Torre Ostos

Lima - Perú

2020



## DEDICATORIA

A Dios por darme fuerzas, a mi esposa Yolanda  
por estar siempre dándome aliento y apoyo,  
a mis hijos Guillermo y Enzo por su entendimiento  
en todo momento, a mis hermanos,  
Guillermo, Jonathan, Yesyca y  
A mis padres Miguel y Amelia  
por siempre estar a mi lado alentándome en todo  
momento.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad UPN, docente  
por toda la oportunidad brindada

## Tabla de contenidos

### Contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
<b>CAPITULO I. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>14</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	14
1.2 Formulación del problema de investigación.....	18
1.2.1 Problema general .....	18
1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.2.2.1 Problema específico 1 .....	18
1.2.2.2 Problema específico 2.....	19
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1.1 Objetivo general .....	19
1.3.1.2 Objetivos específicos .....	19
Objetivo específico 1 .....	19
Objetivo específico 2 .....	19
1.4 Formulación de la Hipótesis .....	19
Hipótesis general.....	19
1.4.1.1 Hipótesis específicas.....	20
Hipótesis Específica 1 .....	20
Hipótesis Específica 2.....	20
<b>CAPITULO II. METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
2.1. Tipo de la investigación.....	21
Variable dependiente.....	21

Variable independiente.....	21
La población. ....	21
Muestra.....	21
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	22
Para el objetivo específico 1.....	22
Para el objetivo específico 2.....	22
2.3. Procedimientos.....	22
Para el objetivo específico 1: Parámetros de diseño de la Comunidad Porvenir .....	22
Para el objetivo específico 2: Reúso del efluente para riego.....	53
<b>CAPITULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
Para el Objetivo Especifico 1. Obtención de las características de diseño con membranas de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales para un efluente de calidad con fines de riego. ....	74
Para el Objetivo Especifico 2: Obtención de un efluente de calidad con fines de riego en el tratamiento de aguas residuales con membranas de ultrafiltración. ....	76
<b>CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
Discusión.....	79
Conclusiones.....	80
<b>CAPITULO V. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Población actual y proyectada.</i> .....	23
<i>Tabla 2 Caudales proyectados.</i> .....	24
<i>Tabla 3 Caracterización de agua residual cruda proyectados.</i> .....	24
<i>Tabla 4 Especificaciones de las membranas de UF</i> .....	26
<i>Tabla 5 Comparación de la calidad del efluente entre un proceso convencional de fangos activados y uno de membrana.</i> .....	27
<i>Tabla 6 Parámetros para la caracterización de lodos</i> .....	46
<i>Tabla 7 Resumen de valores iniciales de aguas residuales.</i> .....	48
<i>Tabla 8 Ejemplos de diferentes tipos de peligros asociados con el uso de aguas residuales municipales en la agricultura de los países en vías de desarrollo</i> .....	54
<i>Tabla 9 Nutrientes presentes en las aguas residuales sin tratar.</i> .....	56
<i>Tabla 10 Eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro DBO</i> .....	61
<i>Tabla 11 Eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro E. Coli</i> .....	61
<i>Tabla 12 Valores asumidos para el cálculo del módulo de riego</i> .....	63
<i>Tabla 13 Valores Kc y áreas asumidos para el cálculo del módulo de riego</i> .....	64
<i>Tabla 14 Valores calculados para el caudal demandado</i> .....	64
<i>Tabla 15 Reúso de caudal generado</i> .....	64
<i>Tabla 16 Comparación de resultados de software WAVE y calculados</i> .....	75
<i>Tabla 17 Valores de remoción obtenidos de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro DBO, SST</i> .....	76
<i>Tabla 18 Medición de eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro E. Coli y Coliformes termo tolerantes</i> .....	76
<i>Tabla 19 Medición de Requerimientos de nutrientes por cultivo de referencia.</i> .....	77

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Características de las tecnologías de las membranas.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2. Funcionamiento de membrana de ultrafiltración UF .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Elección de las dimensiones de Canaleta Parshall.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. Croquis de planta Canaleta Parshall.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5. Croquis de planta T. Imhoff.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6. Croquis de corte T. Imhoff.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7. Calculo de lecho de secado.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8. Proceso de formación de la torta en la membrana ultrafiltración UF .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9. Diagrama del proceso de la propuesta de ultrafiltración UF para aguas residuales ..</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Croquis Membrana sumergida.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11. Croquis Membrana externa .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12. Incremento de energía de bombeo para cada tipo de membrana.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 13. Cada tipo de configuración interna membrana tubular de ultrafiltración.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 14. Mecanismos de ensuciamiento, (a) obstrucción completa, (b) patrón de obstrucción normal, (c) obstrucción intermedia, (d) torta de filtrado.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15. Tránsito de flujo para, (a) punto muerto, y (b) filtración de flujo cruzado para funcionamiento a presión constante. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16. Temperatura del aire promedio en la zona de la población de estudio. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 17. Relación ensuciamiento del permeado con el tiempo de bombeo.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18. Selección diámetro de tubos de membrana con la concentración de solidos en suspensión.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 17. Ingreso de los parámetros calculados iniciales para el diseño de la Ultrafiltración.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 20. Configuración inicial del programa WAVE.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21. Feed y backwash a 0.60 en programa WAVE.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 20. Salida de datos con el diseño de los trenes de ultrafiltración del programa WAVE. .</i>	<i>52</i>

<i>Figura 21. Resumen del diseño de trenes de Ultrafiltración programa WAVE.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 24. Organismos biológicos peligrosos indicador de la contaminación en aguas residuales.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 25. Cultivos categoría A. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 26. Escala de tamaños de diferentes microorganismos y células.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 27. Esquema comparativo del tamaño de diferentes bacterias .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28. Parámetros Físico Químicos de Categoría 3 el diseño de la Ultrafiltración.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29. Parámetros Microbiológicos de Categoría 3 para el diseño de la Ultrafiltración. ...</i>	<i>60</i>
<i>Figura 30. Área potencial de explotación agrícola con el caudal permeado resultante de la propuesta de diseño de la Ultrafiltración. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 31. Cálculo de tarifa incremental de largo plazo del tratamiento de aguas residuales. ..</i>	<i>67</i>
<i>Figura 32. Presupuesto de propuesta de ultrafiltración.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 33. Cálculo de sostenibilidad de la propuesta del sistema de ultrafiltración. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 34. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, escenario de trabajo de la bomba simulando condiciones climáticas de la zona.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 35. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, condiciones de trabajo eléctricas de los motores a 10 años de trabajo. ....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 36. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, evaluación de la bomba de impulsión.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 37. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, balance de energía esperado.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 38. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, ahorros e inversiones totales a 10 años de uso.....</i>	<i>73</i>



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Formula de población futura. ....</i>	<i>23</i>
<i>Ecuación 2. Demanda de energía específica de energía kWh ....</i>	<i>38</i>
<i>Ecuación 3. Relación de limpieza física por limpieza física ....</i>	<i>42</i>
<i>Ecuación 4. Demanda de energía neta para retro lavado en función a tiempo.....</i>	<i>43</i>
<i>Ecuación 5. Demanda de energía para el reciclaje de flujo de rechazo. ....</i>	<i>43</i>
<i>Ecuación 6. Ajuste del flujo por la temperatura.....</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 7. Factor Kc ponderado.....</i>	<i>62</i>
<i>Ecuación 8. Evapotranspiración real UC.....</i>	<i>62</i>
<i>Ecuación 9. Requerimiento de agua ....</i>	<i>62</i>
<i>Ecuación 10. Requerimiento neto de agua.....</i>	<i>62</i>
<i>Ecuación 11. Módulo de riego.....</i>	<i>63</i>
<i>Ecuación 12. Caudal disponible a la demanda. ....</i>	<i>63</i>

## GLOSARIO

**Efluentes.** - Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

**Afluentes.** - Agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales o proceso de tratamiento.

**Nitrificación.** - Formación aeróbica de nitratos a partir de materias orgánicas.

**Desnitrificación.** - La desnitrificación heterótrofa es un proceso biológico de reducción del nitrato presente en las aguas residuales a nitrógeno molecular en condiciones anóxicas.

**Fouling.** - El ensuciamiento es la formación de revestimientos biológicos sobre la superficie de la membrana.

**Feed.** - Alimentación del sistema.

**Backflush.** - Retro lavado por aire o por flujo permeado.

**Evapotranspiración.** - Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

**Kc ponderado.** - Factor de evaporación de humedad de varios cultivos.

**Módulo de riego.** - Gasto de comparación al que se refieren los gastos distribuidos en sistemas de riego.

**Rechazo.** - Flujo que no logra pasar la membrana de ultrafiltración.

## ACRONIMOS

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno

**SST:** Solidos en suspensión totales

**DQO:** Demanda química de oxigena

**SSV:** Solidos suspensiones volátiles

**ST:** Solidos totales

**kWh:** Kilowatt por hora

**W:** Energía

**ANA:** Autoridad Nacional del Agua

**MBR:** Bioreactor de Membrana

**UF:** Ultrafiltración

**OI:** Osmosis inversa

**MF:** Microfiltración

**Pt:** Fosfatos totales

**PO:** Fosfatos

**NTK:** Nitrógeno total Kjeldahl

**NH4-N:** Amonio

## RESUMEN

En el Perú, el sistema de tratamiento de aguas residuales, usa tecnologías de más de 40 años de uso, la norma peruana permite su uso y diseño sobre todo en la sierra del país, es en este piso altitudinal Quechua hasta los 3100 m.s.n.m., donde el estrés hídrico presiona los acuíferos y naciales de agua, la Autoridad Nacional del Agua emite las resoluciones de autorización para el uso de consumo humano y también de la misma fuente puede dar autorizaciones para el riego pudiendo crear conflictos por el agua dulce, por lo que el reúso de las aguas residuales es un factor a estudiar, esta tesis presenta una propuesta de tratamiento de aguas residuales, para su reúso en riego, esta propuesta usa el sistema de trenes de membrana de ultrafiltración con poro comprendido entre 10 y 0.1  $\mu\text{m}$  este material retendrá todo el 98% de la DBO, y de 100% de E. coli, parámetros de ECA y de los límites permisibles que la OMS acepta para el reúso de este efluente para no provocar daños a los usuarios y operarios en la agricultura, además las membranas de ultrafiltración dejarán pasar el Nitrógeno (N) entre el 79% al 43% y el Fosforo(P) orgánico entre el 75% al 24%, nutrientes que los cultivos podrán aprovechar, la sostenibilidad de la propuesta del presente trabajo es positivo solo con el pago de la tarifa del tratamiento, dejando el uso de las aguas tratadas para riego como recurso que la población usuaria del sistema de riego puede pagar por el área regada con estas aguas tratadas.

**Palabras clave:** Ultrafiltración, saneamiento, reúso, aguas residuales, membranas

## ABSTRACT

In Peru, the wastewater treatment system uses technologies with more than 40 years of use, the Peruvian standard allows its use and design especially in the highlands of the country, it is in this Quechua altitude floor up to 3000 meters above sea level, where water stress puts pressure on aquifers and water sources, the National Water Authority issues authorization resolutions for the use of human consumption and can also give authorizations for irrigation from the same source, which may create conflicts over fresh water, so the reuse of wastewater is a factor to study, this thesis presents a proposal for wastewater treatment, for its reuse in irrigation, this proposal uses the ultrafiltration membrane train system with pores between 10 and 0.1  $\mu\text{m}$  this material will retain all 98% of the BOD, and 100% of E. coli, ECA parameters and the permissible limits that the WHO accepts for the reuse of this effluent so as not to cause harm to users and operates In addition, the ultrafiltration membranes will allow Nitrogen (N) to pass between 79% to 43% and organic Phosphorus (P) between 75% to 24%, nutrients that crops can take advantage of, the sustainability of the The proposal of this work is positive only with the payment of the treatment fee, leaving the use of treated water for irrigation as a resource that the user population of the irrigation system can pay for the area irrigated with these treated water.

**Keywords:** Ultrafiltration, sanitation, reuse, wastewater, membranes

## CAPITULO I. REALIDAD PROBLEMÁTICA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

En el 2018 el Banco Mundial lanzo un informe de reúso de aguas residuales donde plantea que no sea más un residuo, sería considerado un recurso donde se aprovecharía los recursos orgánicos además de nutrientes que existentes en las aguas residuales (Rodríguez, et al., 2020). Como se podrá intuir los sistemas innovadores de tratamiento de aguas residuales ocupan menos espacio que los sistemas convencionales, Bohórquez, C. y Sarmiento D., (2017).

El Banco Mundial, plantea radicales cambios en normativas y paradigmas en diferentes países para poder adaptar estos planteamientos para la aceptación de la disposición final, se menciona también sobre las membranas para el tratamiento de aguas residuales, la técnica de uso de MBR o membranas a resultado en el tiempo desde el inicio de su aplicación en el mercado occidental como muy positivo dando lugar a que las aguas residuales urbanas o municipales que puedan ser reusadas para el riego es así que el agua residual municipal como el efluente tratado puede ser usada en la agricultura a pesar de la carga microbiana y de nutrientes siendo este parámetro adecuarse para tal fin (Lara, 2002). Para lograr plasmar una propuesta se tendría que confiar en métodos y modelos matemáticos (Corbatón, 2105).

Esto hace referencia a el adecuado uso de la tecnología para este fin. También se está tomando en cuenta que siempre para cada uso que le da el ser humano al agua, recurso importante para la vida, va a impactar en la salud de este puesto que para cada actividad el impacto del agua es significativo (WHO, 2013). Menciona esto en su página web sobre la

importancia del agua residual y su reúso dando parámetros en su informe del 2006, lo esencial que es este recurso para el día a día de la población y su sobre explotación en caudales diferenciados en consumo humano primero y luego en otras prioridades como riego y consumo animal, también ha traído consigo otro problema, el uso desmedido e irracional del recurso líquido de agua dulce ya ha demostrado que para 5 años más la población urbana vivirá en estrés hídrico (WHO, 2013). Ya hace más de 3 años en el mercado se están proponiendo membranas de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales (Lorente, 2017). En nuestro país la experiencia y porcentajes para el reúso de agua para cultivo se plasman en el informe del ANA, este informe hace un trabajo de campo y logra definir que el mayor porcentaje del agua residual generada se destina al vertimiento a cuerpos receptores sean estos secos o con corrientes de agua, la tecnología que se viene usando y aprobando por la norma peruana tiene casi 40 años de existencia, sobre todo la aplicada en la sierra del Perú (ANA, 2017). Se están haciendo en el Perú ya considerando la reutilización para riego categoría 3 tratando los efluentes con Membranas de Ultrafiltración Gamarra, R., (2015). estudios de Esto nos indica que es tiempo de empezar a cambiar esta situación a través del uso de nuevas tecnologías que ya existen en el mercado sobre todo las MBR desde el año 96 vienen siendo perfeccionadas por lo que también el costo de su uso es cada vez menor, así como el gasto de energía para su buen funcionamiento.

La sequía por el cambio climático es evidente siendo la sierra de nuestro país, sobre todo en zonas altas mayores a tres mil metros sobre nivel del mar, tanto es así que en el Plan de Desarrollo Concertado de la Región Apurímac 2017-2021, unos de sus Variables Estratégicos es el control de los Efluentes, la recuperación de los recursos hídricos es

importante, con esto el stress hídrico en la sierra de Apurímac se aliviaría donde el calentamiento global ya está afectando los acuíferos y manantiales. En la experiencia nacional se proponen el uso de MBR de ultrafiltración y otras tecnologías conexas y complementarias como Osmosis inversa con desinfección química para convertir agua residual en agua potable, (Damián, 2019). En el tratamiento de aguas residuales un análisis ambiental encontró que inclusive en el agua permeada y tratada se encontrara porcentajes importantes de nitrógeno y Fosforo nutrientes que requieren de tratamientos terciarios de nitrificación y desnitrificación y bio filtros para poder removerlos en algún porcentaje, (Torre, 2018). Los efluentes por norma peruana demanda que siempre sean vertidas a un cuerpo receptor, no se reúsan, en su gran mayoría, sean municipales o de otro origen, para esto se plantea usar membranas para su tratamiento y posterior reúso en riego, sería importante recuperar esos caudales siendo que la tecnología para el uso de las membranas que inicio en el año de 1996 ha venido multiplicándose y diversificándose haciendo que su costo y mantenimiento sea más asequible (Judd, 2011). Ya en 17 de marzo del 2018 las autoridades del Centro Poblado de Porvenir presentaron una solicitud ante el gobierno local para el mejoramiento del sistema de saneamiento con el tratamiento de las aguas servidas. En la fase de post ejecución, la entidad encargada de la administración, operación y mantenimiento del servicio de Agua potable y Saneamiento será la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento de los centros Poblados de Porvenir. La forma de ejecución de proyectos por parte del estado es regulada por el saneamiento rural definido por sus normas conexas por lo tanto la Municipalidad Distrital de Porvenir y los especialistas sociales, aseguran la sostenibilidad de los proyectos mediante la



capacitación que se imparte a los usuarios del sistema, además del cálculo del pago de la tarifa de agua que asegurará la operación y mantenimiento del sistema. Las responsabilidades y atribuciones de las Juntas de administración de servicios de saneamiento rurales (JASS), se regirán mediante Estatutos y Reglamentos, bajo la supervisión y asesoramiento de ANA, es necesario precisar que en la etapa de pre inversión las JASS siempre han quedado constituidas y reconocidas mediante Resolución del Consejo Municipal. La nueva municipalidad de distrital de Porvenir será la encargada de monitorear y mantener la calidad del agua en el sistema tanto de entrada al sistema como del efluente. Para cubrir los costos de Administración, Operación y Mantenimiento del Sistema de Agua Potable, la JASS en asamblea general de usuarios, determinarán una cuota familiar o tarifa mensual en función a la realidad socio-económica de la población. De ese costo se dará sostenimiento a todo el sistema. Ya se vienen definiendo varias opciones de diseño para riego en tesis de la Universidad Católica del Perú, usando membranas de ultrafiltración (Silva, D. 2020)

También en estudios nacionales se viene tocando el uso de membranas para aguas puras (Rivas, D. 2019). La capacidad operativa de la JASS del Centro Poblado Porvenir cuenta con recursos humanos, materiales y herramientas de su propiedad, la misma que se encuentra operativa y en funcionamiento, el cuerpo receptor a donde se vertira el agua tratada es usada para agua de riego con la cual ya se viene regando cultivos de fruta, para lo cual se requiere tener una emisión en el sistema de un efluente de calidad para evitar posibles contaminaciones de estos cultivos. Una salida puede ser el uso de membranas para aguas duras salobres (Moreno, D. 2019) de la Universidad Católica del Perú.

Según el Gobierno Regional de Apurímac 2012, Estrategia Regional Frente al Cambio climático y claro estrés hídrico que ya se observa en las microcuencas de la región se plantea la pregunta ¿Cuáles son las principales tendencias de vulnerabilidad futura en la región Apurímac? Tiene como mayor demanda de agua para futuros proyectos de inversión, principalmente de riego y minería, este punto también estudios naciones usa la membrana de Ultrafiltración para reúso de agua de minería (Cori, I. y Milian, D. 2016) estudio de la Universidad del Callo, el no usar tecnología ponen en peligro la disponibilidad del agua, si no se implementa una adecuada gestión del agua, asociado a la gestión de cuencas. Por lo que por lo anteriormente expuesto la propuesta de reusar el agua de los efluentes de aguas residuales tratadas con calidad para el riego para el cultivo se antepone colocando la tecnología como apoyo a los diseños.

## **1.2 Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1 Problema general**

¿De qué manera proponemos un diseño con membranas de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

#### **1.2.2.1 Problema específico 1**

¿Cuáles son las características de diseño con membranas de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines riego?

### **1.2.2.2 Problema específico 2**

¿De qué manera el sistema de membranas de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales nos permite obtener un efluente de calidad con fines de riego?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1.1 Objetivo general**

Proponer un diseño de membranas de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego.

### **1.3.1.2 Objetivos específicos**

#### **Objetivo específico 1**

Obtener las características de diseño con membranas de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales para un efluente de calidad con fines de riego.

#### **Objetivo específico 2**

Obtener un efluente de calidad con fines de riego producto del tratamiento de aguas residuales con membranas de ultrafiltración.

## **1.4 Formulación de la Hipótesis**

### **Hipótesis general**

El diseño con membranas de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales logra obtener un efluente de calidad con fines de riego

### **1.4.1.1 Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis Especifica 1**

Las características de la propuesta de diseño en el tratamiento de aguas residuales con fines de riego se determinarán con membranas de ultrafiltración.

#### **Hipótesis Especifica 2**

La calidad, del efluente en el tratamiento de aguas residuales con fines de riego se cumplirán con la propuesta de diseño de membranas de ultrafiltración.

## CAPITULO II. METODOLOGIA

### 2.1. Tipo de la investigación

La investigación planteada es aplicada por el propósito y es cuasi experimental por el tratamiento de la variable, será desarrollada de forma descriptiva.

#### **Variable dependiente**

Diseño del sistema de membranas de ultrafiltración para tratamiento de aguas residuales.

#### **Variable independiente**

El reusó del efluente de aguas residuales.

#### **La población.**

La población de estudio, es la comunidad de Porvenir, las características de sus desechos orgánicos en aguas residuales, ubicada en Provincia de Chincheros región Apurímac con 1,156 habitantes al año de estudio, esto para todos los componentes, zona ubicada entre 2700 y 3100 m.s.n.m., piso altitudinal quechua, temperatura media de entre 2 por la noche y 15 Celsius en el día como máximo, está localizada a 6 horas de la ciudad de Andahuaylas por carretera.

#### **Muestra.**

Por el tipo de investigación cuasi experimental, la muestra será la misma población de la Comunidad Porvenir de la Provincia de Chincheros región Apurímac 2020

## **2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **Para el objetivo específico 1.**

Se usó la técnica de la observación. Para obtener las características de la propuesta de membranas de ultrafiltración se recolectaron datos de la población existente para poder determinar el caudal de diseño se hizo trabajo de campo y se utilizó la encuesta en formatos modelo aprobados por del Ministerio de Vivienda Saneamiento y Construcción de su Guía PRESET V1.5.

En el análisis de datos se usó las fórmulas propuestas por Simon Judd y su posterior contraste de las características obtenidas se verificaron por el software libre WAVE que la empresa DUPONT WATER SOLUTIONS pone a disposición educativa y profesional, de uso libre

### **Para el objetivo específico 2.**

Se verifico la calidad del efluente obtenido de la propuesta del sistema de ultrafiltración para su reúso en riego con los parámetros de la Organización Mundial de la Salud del año 2006 (OMS) y de la FAO, además de los LMP y ECA del D.S. 004-2017/MINAM, además de poder obtener la sostenibilidad del agua tratada.

## **2.3. Procedimientos**

### **Para el objetivo específico 1: Parámetros de diseño de la Comunidad Porvenir**

Los parámetros de diseño a utilizar para el diseño de la propuesta de ultrafiltración, de la comunidad de Porvenir serán los presentados en la Tabla 1 siguiente:

**Tabla 1** Población actual y proyectada.

Centro Poblado	Viviendas (al 2020)	Densidad Vivienda	Factor de Crecimiento INEI
Porvenir	261	4.43	0.78%

Fuente: Elaboración Propia

$$PF = Pa (1+r(t/1000))$$

*Ecuación 1.* Formula de población futura.

Fuente: MEF

PF= Población futura

Pa= Población actual

r= razón de crecimiento

t=tiempo

### Cálculo de caudal de diseño

El periodo óptimo de diseño es el tiempo de duración de todos los elementos que componen el sistema de saneamiento. Existen diversos factores que determinan el periodo óptimo de diseño como la vida útil de los elementos, que está en función de la resistencia física del material que lo constituye y el desgaste que sufren estas. El crecimiento poblacional, que es un factor muy importante porque incluye posibles cambios en el desarrollo industrial y comercial de la comunidad ya que pueden variar los índices económicos. La tasa de interés, que es un factor muy importante por cuanto si la tasa de interés es bajo se puede pensar en periodos largos. El crecimiento de la población y la tasa de interés tienen cierta relación; así a menor relación de crecimiento menor, esto implica un menor funcionamiento en los

primeros años. Aun así, se está usando datos poblacionales recogidos por padrones en la misma zona de estudio, mostramos en la Tabla 2 los caudales calculados para la población de diseño y la Tabla 3 la caracterización de las aguas residuales crudas.

**Tabla 2** Caudales proyectados.

<b>Caudal promedio Qp</b>	<b>Caudal Máximo Horario Qmh</b>	<b>Caudal Máximo Diario Qmd</b>
1.56 l/s	2.01 l/s	3.10 l/s

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3** Caracterización de agua residual cruda proyectados.

<b>DBO</b>	<b>SST</b>	<b>DQO</b>	<b>Coliformes</b>	<b>Nematodes</b>	<b>pH</b>
mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100ml	N.º huevos /l	6.8
400	1125	800	2.50E+08	15	

Fuente: Elaboración Propia

De esta Tabla 4 podemos partir el nivel de contaminantes en el agua donde:

**DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

Mide la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de degradación de la materia orgánica durante cinco días. Proporcionan información sobre la materia orgánica biodegradable que contiene el agua residual, medidos en 5 días a temperaturas promedio de 20 grados Celsius.



### DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Mide la cantidad de materia que puede ser oxidada por medios químicos en unas condiciones determinadas.

### Sólidos totales (ST)

Es la masa del residuo que queda tras un proceso de evaporación y secado a 105°C. Estos sólidos se encuentran como materia suspendida, disuelta o asentada en el agua residual.

### Sólidos suspendidos totales (SST)

Es la cantidad de sólidos presentes en suspensión, que no sedimentan, y separan y se determina mediante la filtración del agua.

### Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Son los sólidos en suspensión biodegradables, se determinan tras un proceso de incineración a 500 - 550°C y mide el contenido de biomasa en una muestra de agua.

Para el diseño preliminar del sistema de ultrafiltración, se realizará según las características de los análisis de las aguas residuales obtenidas en el Perú. La descarga se da en una quebrada seca que es tributario al Rio Pampas denominada quebrada seca "Oloche"

### **Comparación de tecnologías de MBR**

Existe en el mercado diferentes sistemas de membranas usados para tratamientos de agua siendo su diferencia principal el tamaño de los poros de la membrana, afectando los porcentajes y tipos de sustancias rechazadas, en la Tabla 5 mostramos las especificaciones de la UF.

**Tabla 4** Especificaciones de las membranas de UF

Nombre	Material	Cubierta	Área m(m <sup>2</sup> )
Minimate TTF	Polietersulfonomad	Polipropileno	0.005
Centramate	Polietersulfonomad	Poliéster, Poliiolefina, Poliuretano	0.09
Centrasette	Polietersulfonomad	Poliéster, Poliiolefina, Poliuretano	0.46
Prostak	Polietersulfona	Polivinilfluorideno (PVDF)	0.39

Fuente: Solís, CA, Vélez, CA y Ramírez-Navas, JS. (2017)

Separación de membrana	Mecanismo de separación	Fuerza impulsora	Sustancias que pasan	Sustancias retenidas
Micro filtración	Tamaño de poro	Diferencia de presión	Agua, sólidos disueltos	Suspensiones (aceites, emulsionados, sólidos finos en suspensión). Bacterias compuestos de peso molecular > 500 000
Ultrafiltración	Tamaño de poro	Diferencia de presión	Agua, compuestos de bajo peso molecular	Coloides, macromoléculas (1000- peso molecular < 100000), proteínas y polímeros.
Osmosis inversa	Solubilidad y difusión en la membrana	Diferencia de presión	Agua	Iones compuestos orgánicos (100- peso molecular < 1 000)
Dilísis	Difusión en la membrana	Diferencia de concentración	Compuestos orgánicos de bajo peso molecular	Sales, compuestos orgánicos de peso molecular > 1.000
Electrodilísis	Carga de los iones en solución	Diferencia de potencial eléctrico	Iones	Compuestos orgánicos

*Figura 1.* Características de las tecnologías de las membranas

Fuente: Salazar, G. (2009)

## Comparación en la remoción de contaminantes entre procesos convencionales y MBR

**Tabla 5** Comparación de la calidad del efluente entre un proceso convencional de fangos activados y uno de membrana.

Parámetro	Influyente	Lodos activados		MBR sumergido	
		Efluente	Eficiencia %	Efluente	Eficiencia %
DQO (mg/l)	520	75	85.6	15	97.1
Pt (mg/l)	15	7.9	47.3	2.25	85
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	10.5	7.1	32.4	1.90	81.9
SS (MG/l)	110	40	63.6	~0	100
Turbidez	38	15	60.5	0.44	98.8
NTK (mg/l)	48.3	30.2	37.5	3.4	93
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	35	20	42.9	1.90	94.6

Fuente: Arévalo V. (2011)

En la Tabla 5 mostrado anteriormente se puede desprender que el uso del sistema MBR es mucho más eficiente de entre 10% y 20% además de que ocupa mucho menos espacio en comparación con los sistemas tradicionales usados en el Perú sobre todo en la sierra donde los sistemas son para poblaciones de entre mil a cinco mil habitantes, la figura 18 nos muestra el flujo del permeado.

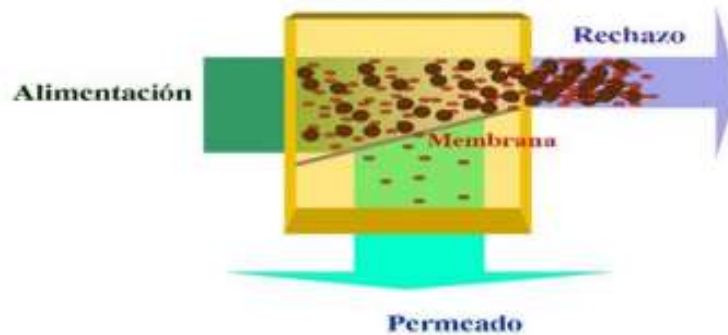


Figura 2. Funcionamiento de membrana de ultrafiltración UF

Fuente. Prats. 2015

## Pre dimensionamiento de Pretratamiento previo a la ultrafiltración

### Cámara de rejas

Es el pretratamiento aquí se retendrá sólidos grandes y otros flotantes que entran al sistema como plásticos papel o descartables.

El afluente será pre tratado por esta estructura que separará sólidos grandes que estén presentes en el caudal, para su diseño se tomará la población calculada con el factor de crecimiento de 0.78.

### Cálculo del tirante mínimo para la cámara de rejas

Para ello usaremos el ABACO:

**EJE "X"**

$$\frac{Q * n}{S^{1/2} * B^{8/3}} = 0,01789$$

### EJE "Y"

$$\frac{Y}{B} = 0,0000323$$

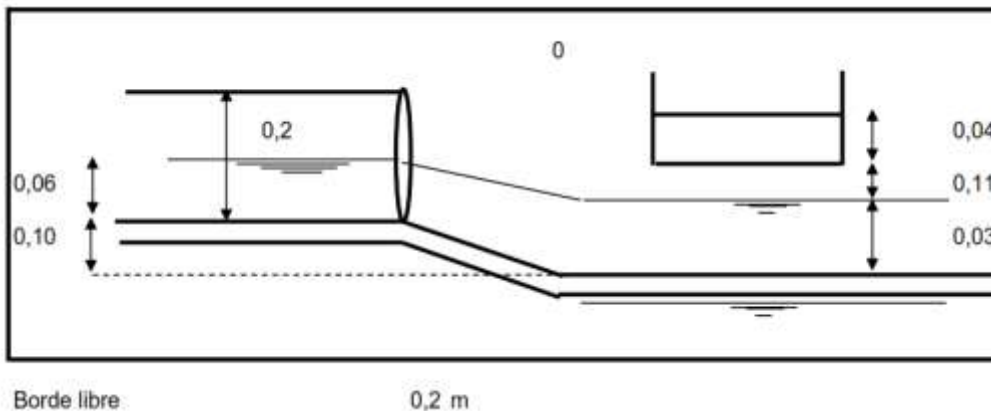
$$Y \text{ min.} = 0,0157 \text{ (H canales)}$$

### Vertedero de salida

$$Q = 1,838 * L * H^{3/2}$$

$$L = 0,30 \text{ m}$$

$$H = 0,04 \text{ m}$$



### Desarenador con Medidor Parshall

En el desarenador se removerá arenas y sólidos en suspensión, que pasaron el cribado, para no dañar las membranas de UF.

La canaleta Parshall es un elemento primario, se controlará el caudal de ingreso al sistema para un mayor control, figura 4

W	ft	cm	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacidad (L/s)		
																	Min.	Máx.	
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9									
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	41	30	77	2	4	0.85	53.8		
6"	15.2	62.1	61	39.4	40.3	45.7	30.5	61	7.6	11.4	41	30	90	5	8	1.52	110.4		
9"	22.9	88	86.4	38	57.5	61	30.5	45.7	7.6	11.4	41	30	108	5	8	2.55	251.9		
1'	30.5	137.2	134.4	61	84.5	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	149	5	8	3.11	455.6		
1 <sup>1/2</sup> '	45.7	144.9	142	76.2	102.6	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	168	5	8	4.25	696.2		
2'	61	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	185	5	8	11.9	936.7		
3'	91.5	167.7	164.5	122	157.2	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	222	5	8	17.3	1426		
4'	122	183	179.5	152.5	193.8	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	271	5	8	36.8	1922		
5'	153	198.3	194.1	183	230.3	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	308	5	8	62.8	2422		
6'	183	213.5	209	213.5	266.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	344	5	8	74.4	2929		
7'	214	228.8	224	244	303	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	381	5	8	115	3440		
8'	244	244	239.2	274.5	340	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	417	5	8	131	3950		
10'	305	274.5	427	366	475.9	122	91.5	183	15.3	34.3						200	5660		

Figura 3. Elección de las dimensiones de Canaleta Parshall.

Fuente: Elaboración propia

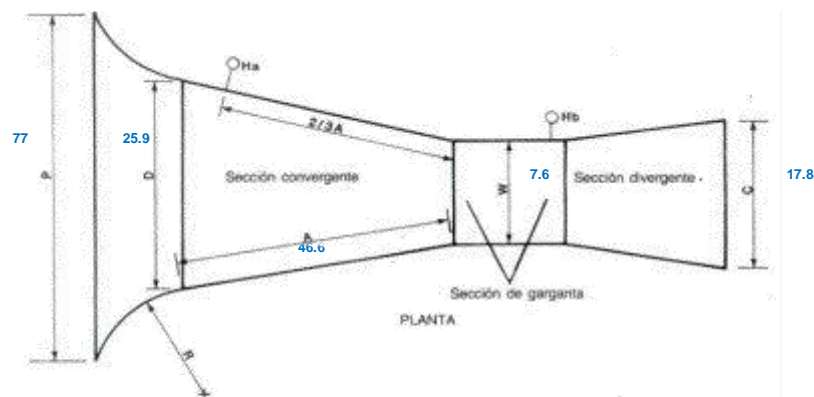


Figura 4. Croquis de planta Canaleta Parshall.

Fuente: Elaboración propia

## Tanque Imhoff

Aquí es ya donde se da el tratamiento primario de las aguas residuales se da en dos fases, la sedimentación en la parte superior del tanque y la digestión de los lodos sedimentados, en la parte inferior del tanque. Este elemento será importante para el sistema ya que integra la sedimentación y la digestión del agua residual cruda en un solo tanque además de la estabilización del lodo. Las ventajas del tanque Imhoff es su bajo costo, su sencillez de operación, además de soportar cambios en la carga orgánica del agua residual cruda, El tratamiento primario es esencial en la propuesta de ultrafiltración, como paso previo de eliminación de DBO, SST, porcentaje de Nitrógeno y Fosforo como elementos contaminantes que serán removidos con la propuesta sin necesidad de construir más estructuras, de tratamiento dando un efluente de calidad para el reusó en riego.

### DISEÑO TANQUE IMHOFF - POBLACION TOTAL

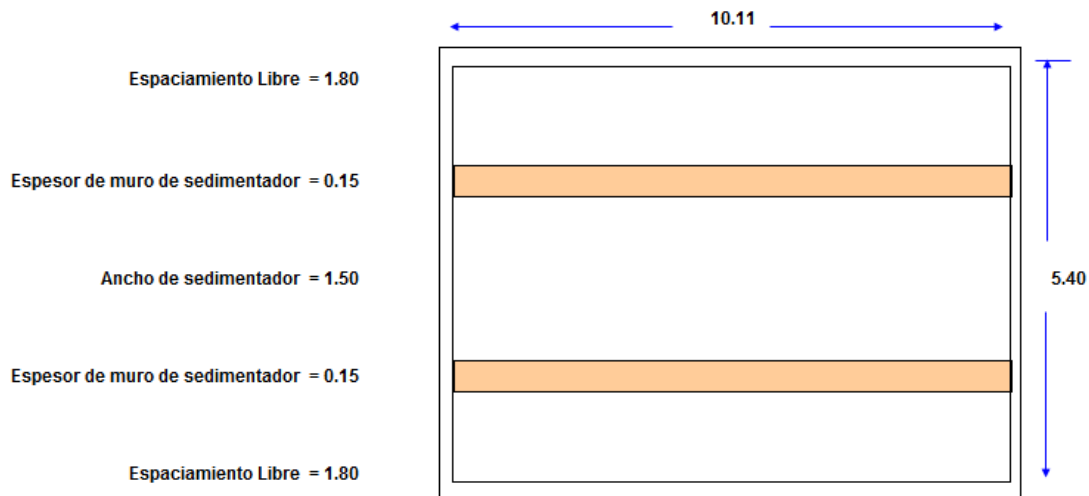


Figura 5. Croquis de planta T. Imhoff.

Fuente: Elaboración propia

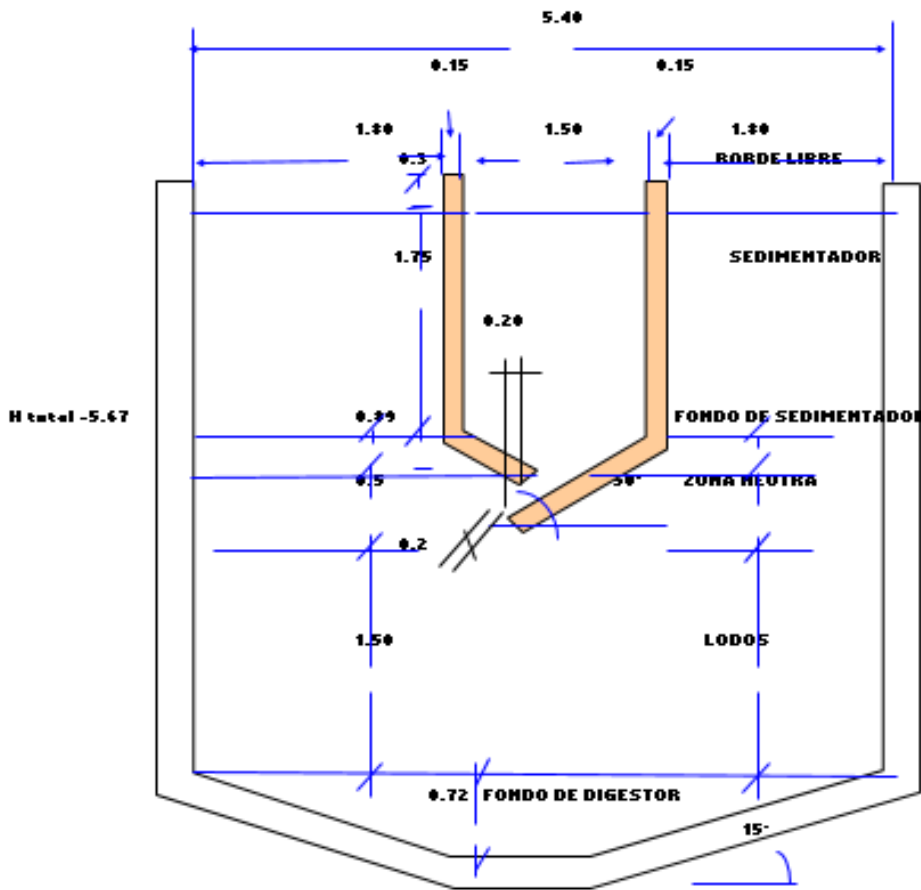


Figura 6. Croquis de corte T. Imhoff

Fuente: Elaboración propia

### Lecho de secado

Los lodos extraídos serán depositados por acción de la gravedad en una zona donde por acción del aire se secarán y el material granular dentro del lecho filtrará la humedad hacia unos pozos percoladores para su disposición final. El bio film generado sobre este lecho la OMS indica la quema del material final.



**A.- CARGA DE SÓLIDOS QUE INGRESA AL SEDIMENTADOR**

<b>Contribución per cápita</b>	gr SS/(hab x día)	90.00
<b>Temperatura del mes más frío =</b>	en °C	15.00
<b>Población de Diseño</b>	hab	1337
<b>Carga de Sólidos</b>	Kg de SS / día	120.33
<b>Masa de sólidos que conforman los lodos</b>	Kg de SS / día	39.11

**B.- VOLUMEN DIARIO DE LODOS DIGERIDOS**

<b>Densidad de lodos</b>	Kg/litros	1.05
<b>% de sólidos contenidos en el sólido</b>	%	10.00
	% varía entre 8 y 12	
<b>Volumen Diario de Lodos Digeridos</b>	litros / hab / día	0.279

**C.- VOLUMEN DE LODOS A EXTRAERSE DEL TANQUE**

<b>Tiempo de Digestión</b>	días	55.00
----------------------------	------	-------

Temperatura	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
22	40
25	30

**D.- ÁREA DEL LECHO DE SECADO**

<b>Profundidad de Aplicación</b>	m	0.40
	varía entre 0.20 y 0.40 metros	
<b>Área del Lecho de Secado</b>	m <sup>2</sup>	51.21
<b>Ancho del Lecho de Secado</b>	m	5.00
	El ancho está entre 3 y 6 m, aunque en instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.	
<b>Largo del Lecho de Secado</b>	m	10.24
	a Usar	12.00

RESUMEN	Ancho	Largo	Altura
Lecho de Secado	5.00	10.24	0.40
a Usar	5.00	12.00	0.40

Nota: se plantea 02 Lecho de Secado de 5.00m x 6m

Figura 7. Calculo de lecho de secado

Fuente: Elaboración propia

## **Diseño de Tratamiento con Membranas de Ultrafiltración**

El sistema propuesto depurará hasta un 99% de las aguas con las membranas, el agua será bombeada desde el tanque Imhoff hasta las membranas de UF será removido todo material hasta 0.01 micrón, el efluente resultante será de calidad, el sistema propuesto dejará un porcentaje de Nitrógeno y fósforo que en el reusó en riego será aprovechado como nutrientes para los cultivos así se ahorrarán estructuras que normalmente son parte de un tratamiento de aguas residuales y que remueven biológicamente estos nutrientes en todo tipo de Planta de tratamiento de aguas residuales que vierte a un cuerpo receptor y que no se construirán porque ya no serán necesarios.

## **Retro lavado de membranas**

El uso de las membranas es eficiente y para mantener esa eficiencia se tiene que dar un mantenimiento de lavado de los poros en sentido inverso al flujo de filtrado. Este retro lavado removerá el “fouling”, figura 19 este ensuciamiento dependerá de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales a tratar, el tipo de membrana utilizada y forma de operación en el tratamiento.

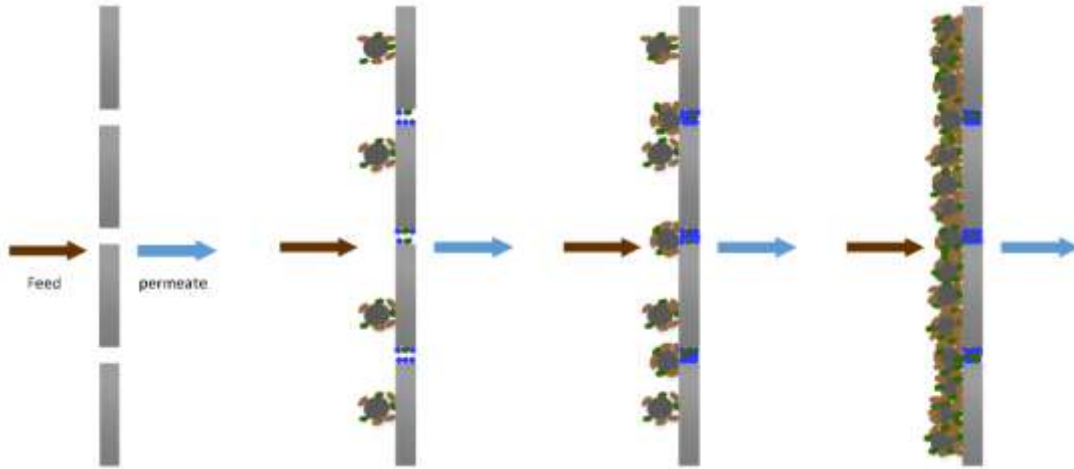


Figura 8. Proceso de formación de la torta en la membrana ultrafiltración UF

Fuente: Iorhemen, O., Hamza, R. y Tay, J. (2016).

### Diagrama de Propuesta de Ultrafiltración

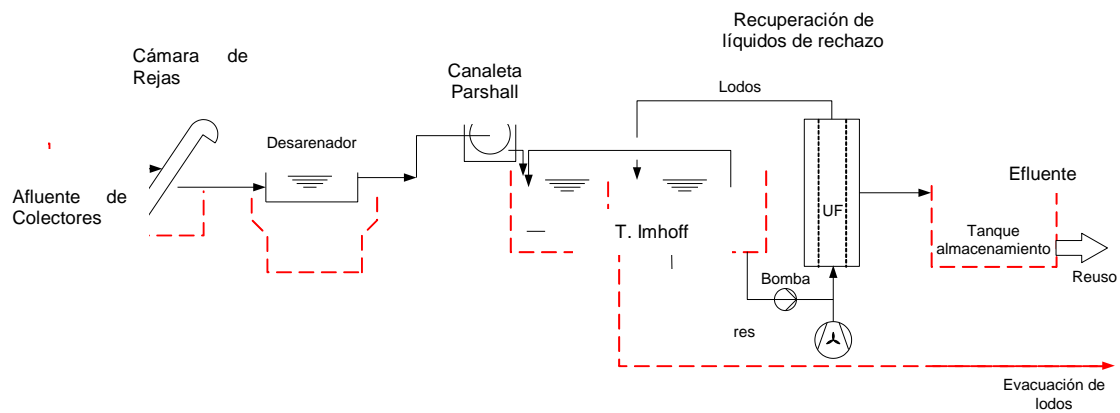


Figura 9. Diagrama del proceso de la propuesta de ultrafiltración UF para aguas residuales

Fuente: Elaboración propia

## **Principios para el diseño y Dimensionamiento del sistema de tratamiento de ultrafiltración.**

Para este paso es el más delicado de la propuesta ya que las tecnologías anteriores están definidas su desarrollo y calculo en normas y modelos comunes, por lo que el diseño de ultrafiltración será el tratamiento secundario en la depuración de aguas residuales y usaremos como mayor referencia el MBR Book de Simon Judd, además de bibliografía encontrada y analizada.

### **Elección del tipo de membrana para la propuesta del diseño.**

Básicamente, hay tres elementos principales en la ultrafiltración (MBR) que contribuyen al coste operativo, sin contar con el reemplazo de la membrana al final de su edad de vida operacional, podemos nombrar tres:

- El bombeo de los líquidos (En la distribución, retorno de lodos de rechazo)
- La aireación, en el cálculo de la digestión previa del agua cruda por oxidación.
- El mantenimiento propio de la membrana (retro lavados, eliminación de fouling)

Independientemente de estos criterios existen dos principios de diseñar la Ultrafiltración, una de ellas es con el reactor sumergido figura 38 con presiones negativas, vacío, y la otra con las membranas fuera del tanque, figura 39.

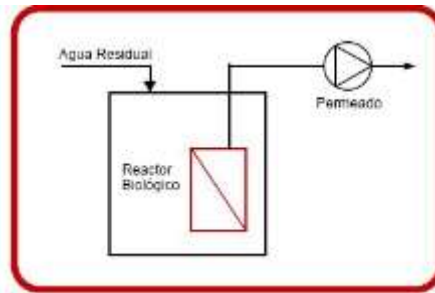


Figura 10. Croquis Membrana sumergida

Fuente: Judd 2011

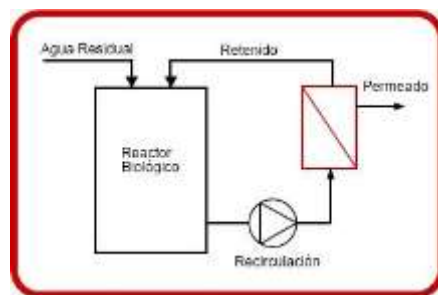


Figura 11. Croquis Membrana externa

Fuente: Judd 2011

Por la forma en que se da el mantenimiento del sistema de Membrana de ultrafiltración interna, el acceso es retirando el casete Figura 38, de membranas por lo que se requiere maquinaria para tal efecto, además de que para su uso será importante la aireación del agua residual a tratar, llamándose en esta etapa licor, cuando está en el tanque reactor, decir, es un hecho que la capacidad del oxígeno puro es transferido a las bacterias digestoras (microorganismos), hasta 5 veces más rápido que con el aire y hace que el proceso MBR conserve y mejore las ventajas, pero esto en condiciones de 20 grados Celsius de temperatura parámetro que no se alcanza en promedio en la sierra.

Los aireadores convencionales pierden eficiencia en la transferencia del oxígeno, siendo la temperatura de trabajo de estos desde 20 grados Celsius a estas concentraciones por lo que

sería necesario elevar los tanques, sobre dimensionarlos, para que el sistema pueda compensarlos, esto a la larga perdería eficiencia, aumentando el volumen de DBO y de los tanques de retención, este sistema acarreará más costos en infraestructura y energía en el tiempo por lo que elegiremos por este motivo usar las membranas externas, el acceso será mucho fácil, las comparaciones de costos serán también analizados.

### **Diseño del bombeo de la ultrafiltración.**

El bombeo del licor y licor mixto en las membranas tubulares de Ultrafiltración son los litros de flujo por  $m^2$  hora, (LMH) que la atraviesa dejando un caudal de rechazo y lo que la atraviesa se llamará flujo permeado, que al atravesar la membrana por los poros lo convierte en flujo limpio que cumplirá los límites permisibles y estándares de calidad ambiental. En una membrana de forma tubular la corriente lateral como se generaría en la MBR elegida, la demanda de energía específica para un trabajo de permeación continua de la membrana, se relaciona principalmente con la fuerza de presión y la conversión del flujo, y viene dada aproximadamente por:

$$W_h = \frac{1}{\rho \xi \theta} \sum \Delta P$$

*Ecuación 2.* Demanda de energía específica de energía kWh

Fuente: Judd 2011

$W_h$  Es la demanda de energía en kilowatt por hora

$\rho$  es la densidad, (kg/m<sup>3</sup>) del fluido.

$\xi$  es la eficiencia de la bomba de impulsión

$\Theta$  es la conversión en un solo paso del flujo a lo largo del canal o tubería

$\sum \Delta P$  es la sumatoria de las pérdidas de carga, de los diferentes elementos del tren.

Entendiendo que, para disminuir trabajo de las bombas, basta con aumentar la longitud del canal donde fluye el flujo a permear esto es aumentar los metros cuadrados de área de membrana, y también aumentar la velocidad, (Judd 2011), ante ello igual las pérdidas de carga serán mayores por al aumento mismo de la tubería y accesorios para esto, por lo que  $Wh$ , se desprende es sencillo determinar el cálculo siendo la complicado la naturaleza no newtoniana del lodo. Dada la capacidad de limpieza de la ultrafiltración.

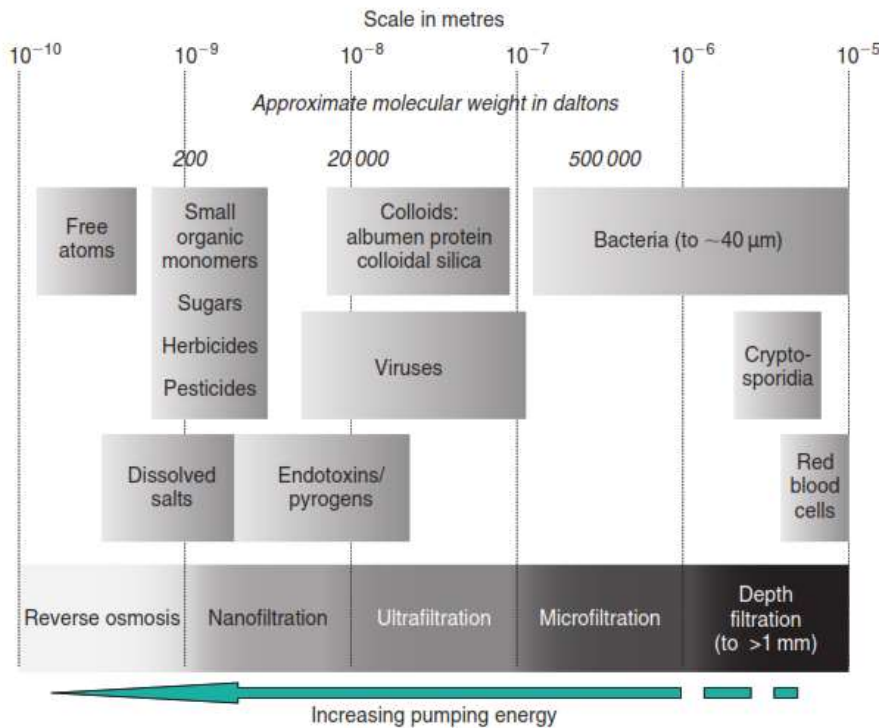


Figura 12. Incremento de energía de bombeo para cada tipo de membrana

Fuente: Judd 2011



*Figura 13.* Cada tipo de configuración interna membrana tubular de ultrafiltración

Fuente: Judd 2011

### **Diseño de la limpieza**

El cálculo a usar para la remoción del fouling o ensuciamiento de la membrana tiene cuatro conceptos previos a tomar en consideración, el primero es que el fouling resultante no es compresible, las partículas se tocan entre sí, pero debido a que se forman tres tipos de flujos, el primero flujo sub crítico al tocar el licor la superficie de la membrana, donde el permeado constante va dejando partículas retenidas donde la presión baja pero sigue filtrando el flujo hasta llegar a un flujo crítico, pasando de un estado de permeado constante a no constante; la capa de fouling o ensuciamiento formado será considerado fluido newtoniano, por tener una viscosidad constante, cuando ya está fijada sobre la membrana, la colmatación dentro de la membrana, se da en varias etapas como se puede ver en la figura 42 y las más eficaz en su etapa de ensuciamiento superficial o reversible (c, d), es el retro lavado, para el



ensuciamiento en la etapa (b) usaremos el lavado químico con hipoclorito de sodio, (Strugholtz, 2005).

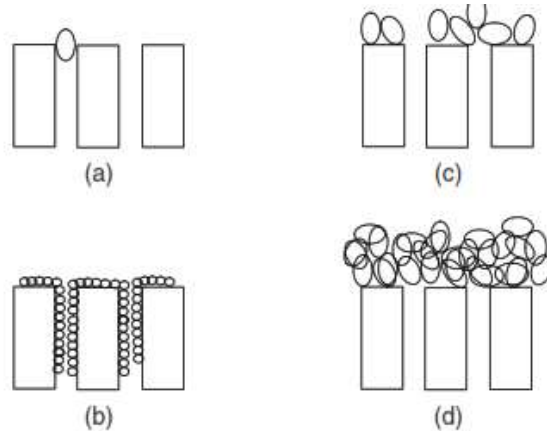


Figura 14. Mecanismos de ensuciamiento, (a) obstrucción completa, (b) patrón de obstrucción normal, (c) obstrucción intermedia, (d) torta de filtrado

Fuente: Judd S. (2011)

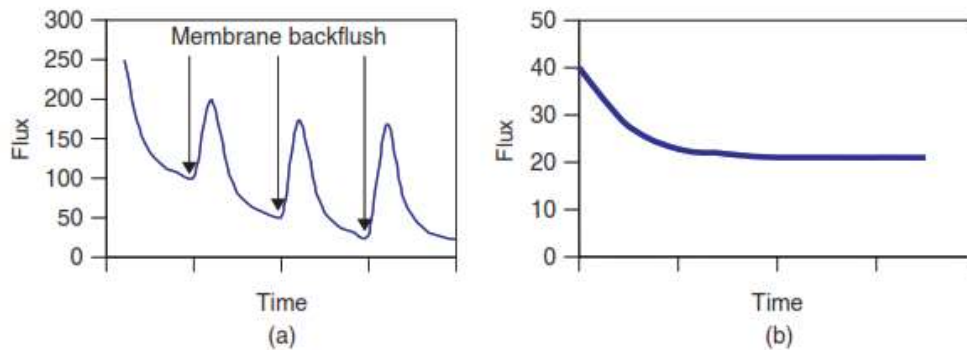


Figura 15. Tránsito de flujo para, (a) punto muerto, y (b) filtración de flujo cruzado para funcionamiento a presión constante.

Fuente: Judd 2011

El “fouling” merma el flujo en la membrana figura 43, y salvo cuando es irreversible el retro lavado para mantenimiento ya no es necesario y solo recuperable por métodos químicos.

Entonces la ecuación se entiende así  $TPM = TMP_i + (r)t$  donde,  $TPM_i$  es la presión inicial del tratamiento sin ensuciamiento, pero iniciándose este de forma constante, donde  $(r)t$ , es la

expresión de la velocidad de ensuciamiento en el tiempo, ahora se tiene varios conceptos derivados por los flujos descritos anteriormente por período entre limpiezas físicas ( $t_p$ ), donde la limpieza física puede ser retro lavado. (Judd, 2011).

- Duración de la limpieza física ( $\tau_p$ );
- Periodo entre limpiezas físicas ( $t_p$ )
- Período entre limpiezas químicas ( $t_c$ );
- Duración de la limpieza química ( $\tau_c$ );
- Flujo de retro lavado ( $J_b$ );
- Concentración de reactivo de limpieza ( $c$ ) y volumen ( $v$ ) normalizados a área de membrana. (Judd, 2011).

Usaremos entonces la fórmula donde relaciona Simon Judd entre la cantidad de limpieza química con la física y plantea:

$$n = \frac{t_c}{t_p + \tau_p}$$

*Ecuación 3.* Relación de limpieza física por limpieza física

Fuente: Judd 2011

Donde  $n$  es la cantidad de limpieza física por limpieza física (Judd, 2011).

Duración de la limpieza física ( $\tau_p$ )

Período entre limpiezas químicas ( $t_c$ )

Periodo entre limpiezas físicas ( $t_p$ )

Teniendo la fórmula de bombeo vista anteriormente se puede modificar para tiempo de limpieza quedando:

$$W_{h,net} = W_h \frac{t_c}{t_c + \tau_c}$$

*Ecuación 4.* Demanda de energía neta para retro lavado en función a tiempo.

Fuente: Judd, 2011

Donde:

$W_{h,net}$  Energía neta

Período entre limpiezas químicas ( $t_c$ )

Duración de la limpieza química ( $\tau_c$ )

Además, también el reciclaje del fluido de rechazo de regreso al tanque Imhoff por la formula.

$$W_p = \frac{\rho g H}{1000 \xi} Q_{a\ bombear} / Q_p$$

*Ecuación 5.* Demanda de energía para el reciclaje de flujo de rechazo.

Fuente: Judd, 2011

Donde:

$W_p$  Energía para bombeo de caudal de rechazo

$\rho$  es la densidad, (kg/m<sup>3</sup>) del fluido.

$\xi$  es la eficiencia de la bomba de impulsión.

$Q_{a\ bombear}$  es el flujo de reciclaje para la desnitrificación.

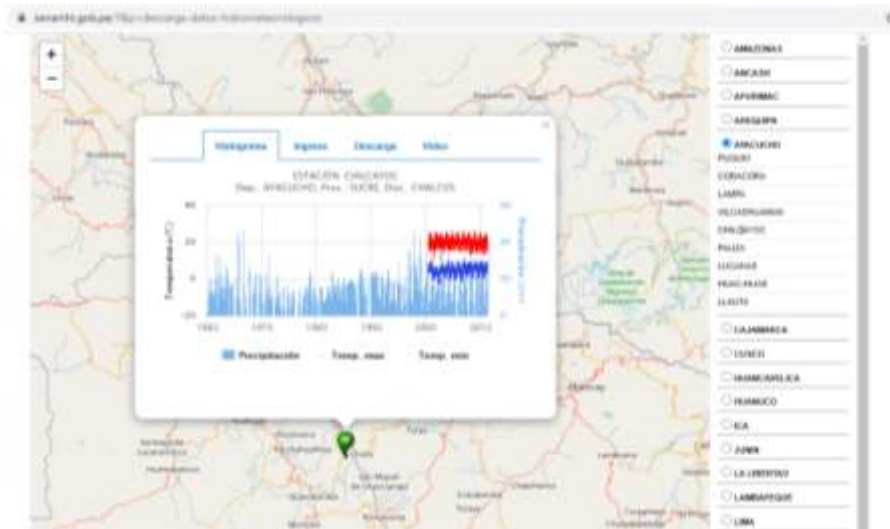
$Q_p$  flujo de alimentación.

## **Aireación del sistema**

Simon Judd plasma en su Libro MBR BOOK, la idea de la aireación debe de ser aplicada a una temperatura ideal, para el caudal que se convertirá, será normalizada a una temperatura seleccionada, siendo 20 grados Celsius, (Judd, 2011). No se sugiere menores temperaturas ya que por esto aumentará los sólidos en suspensión, dada la característica mesófila de las bacterias nitrificantes y de la cantidad de oxígeno disuelto presente en las aguas a tratar.

El sistema de membranas con ultrafiltración, para la bibliografía encontrada se sugiere airear a 20 grados Celsius, para el inicio del tratamiento biológico preliminar a temperatura mínima de trabajo, dado que las bacterias que degradan la carga orgánica tienen como factor la temperatura esta condición antes descrita que beneficia el crecimiento de los microorganismos a favor de la degradación de la materia orgánica, expresado en la disminución de la DBO, DQO y coliformes, (Romero, 2017). Entonces para el sistema de micro inyección de aire donde estos a temperaturas más bajas de 20 grados Celsius no logran operar o bajan su eficiencia, las burbujas de aire forman una columna que se perdería en la atmosfera si se aumenta con inyección de aire incrementando el consumo de energía en la propuesta y no ayudarían a oxidar la materia orgánica presente en el tratamiento primario, para esto será útil el tanque Imhoff, para nuestra población menor a 2000 mil habitantes, que empezara la digestión de la materia orgánica presentes en las aguas residuales, el sistema de ultrafiltración retendrá entre el 21% y 57%, para el nitrógeno y el fosforo orgánico entre 25% y 76% (Lara-Borrero, 2002). Con la ultrafiltración propuesta; estos nutrientes el porcentaje que lograrán pasar la membrana serán usados en el reúso en la agricultura, como abono, los tejidos de los vegetales en forma inicial contienen N y P (Salas, 2002). Entonces

esta aireación es recomendada evita en parte que se formen flóculos, arrastran grasas, y emparejan el licor mezclado, esto es el afluente de entrada con el líquido rechazado desde el módulo de membranas; como en la sierra en general y en el piso altitudinal quechua entre 2,000 a 3,000 m.s.n.m., figura 16.



*Figura 16.* Temperatura del aire promedio en la zona de la población de estudio.

Fuente: SENAMHI

Donde se ubica la Comunidad de Porvenir la temperatura oscila entre 15 grados Celsius y 0 grados Celsius, llueve en verano (enero a marzo), escasa humedad atmosférica, vientos dominantes del Sur-Este (Alisios), (SENAMHI, 2020). La estación más cercana es Ayacucho - Chilcayoc como vemos la figura 14, la temperatura no supera ni llega a los 20 grados Celsius por lo que no funcionaría las micro inyección planteada, para ello es que funcionaria el Tanque Imhoff como tratamiento que decantara y que digerirá la materia orgánica además de SST, SSV, en porcentajes aceptables para pasar a conversión con el módulo de ultrafiltración propuesto.

## Dimensionamiento y diseño de la propuesta de Ultrafiltración para tratar aguas residuales en hoja de calculo

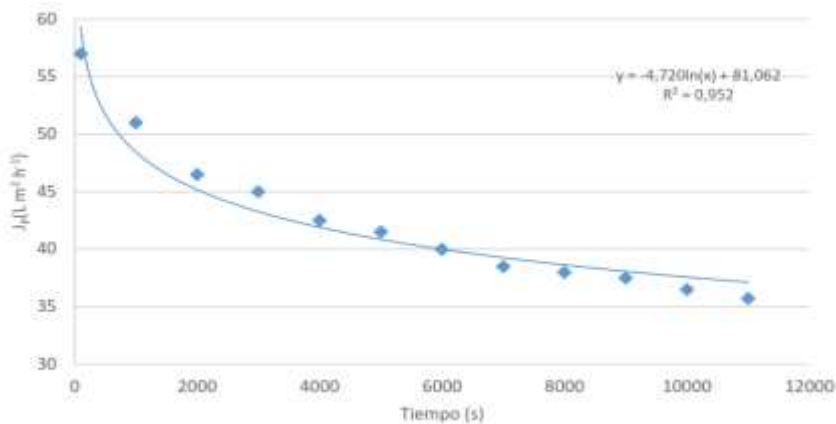
En la siguiente tabla 6 mostramos la caracterización y parámetros de lodos de aguas residuales.

**Tabla 6** *Parámetros para la caracterización de lodos*

Parámetro	Unidad	Lodo Primario	Lodo Primario*	Lodo Primario**
pH		7.127 ±0.007	5-8	5-8
Solidos totales	%	6.5464 ±0.2616	2-7	2-8
Solidos totales	%	75.3339 ±0.1288	60-80	60-80

Fuente: Mancipe Arias L., Triviño Restrepo M. (2018). \*Turovskiy I., Mathai P. (2006), \*\*Donado. H. (2013)

Para las consideraciones del retro lavado se usarán los datos obtenidos del libro de Simon Judd, el tiempo de bombeo se considerará la siguiente relación estadística de la figura 16.



*Figura 17.* Relación ensuciamiento del permeado con el tiempo de bombeo

Fuente. Reche N.: 2016

La fórmula usada para definir la influencia de la temperatura en el permeado

$$J = J_{20} 1.025^{(T-20)}$$

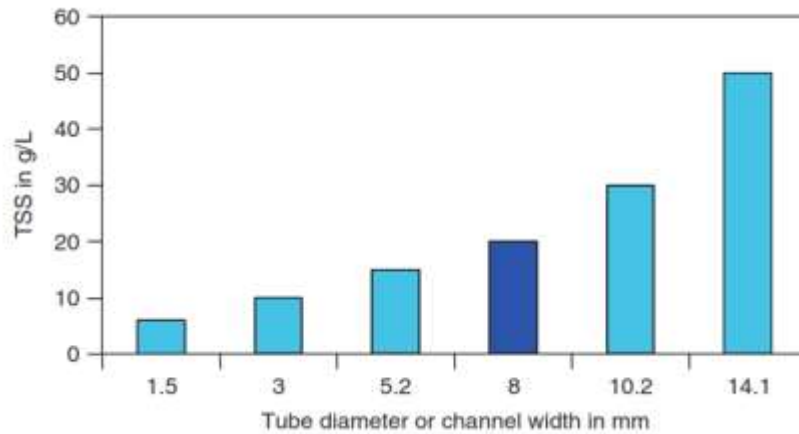
*Ecuación 6.* Ajuste del flujo por la temperatura.

Fuente: Judd, 2011

Donde:

J flujo permeado

T temperatura ambiente



*Figura 18.* Selección diámetro de tubos de membrana con la concentración de solidos en suspensión.

Fuente: Judd S., 2011

En la figura 18 se muestra la elección del diámetro de la membrana interior o micro tubo de la estructura tubular exterior. En la tabla 7, se muestra el ingreso, en la hoja de cálculo, de los parámetros iniciales de diseño para la propuesta de la Ultrafiltración.

**Tabla 7** Resumen de valores iniciales de aguas residuales.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES		
Población 2020	1156	Hab.			
Tasa de crecimiento	0.78	%			
Población Futura	1337	Hab.	Según Calculo Poblacional		
Dotación	100	L/hab./día	Según MEF		
% Contribución	80%		Según RNE		
Caudal promedio	1.75	L/s			
Caudal máximo diario	2.28		1.3	K1	Coeficientes de variación
Caudal máximo horario	3.50		2	K2	
DBO	625.00	mg/L	50	gr./hab./día	Aportes Per cápita según RNE OS.090
SST	1125.00	mg/L	90	gr./hab./día	
Coliformes	2.50E+08	nmp/100ml	2.00E+11	Bact./hab./día	
Temperatura	15	Celsius	Del mes más frío		
Altitud promedio	3010	m.s.n.m.			

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Ingreso de los parámetros calculados iniciales para el diseño de la Ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del módulo de membrana de ultrafiltración utilizando el modelo de MBR tubular, de instalación de forma externa, elegimos este modelo por la ventaja de fácil acceso a las membranas (Judd, 2011). Desmontando y montando para su mantenimiento e inspección anual, las membranas sumergidas requieren otras maquinarias para este proceso.

Utilizamos las ecuaciones 2, 3, 4 y 5 para el diseño de los trenes de ultrafiltración. Usando 3 trenes de 4 módulos de 1.8 metros de largo con 20 metros de tubería la densidad del fluido de 1,005.551 kg/m<sup>3</sup>,  $\xi$  eficiencia de la bomba de impulsión de 0.60 eficiencia de paso del flujo 0.4, con la sumatoria de las perdidas.



$$W_h = \frac{1}{1,005.551 * 0.6 * 0.4} * 3(1.8 * 4) + (9 * 3 * 5.5) + (5 * 4)$$

$$W_h = 0.7877110 \text{ kWh/m}^3$$

Para saber el ciclo de limpieza.

Duración de la limpieza física (Tp); 0.3 horas Judd, 2011

Período entre limpiezas químicas (t c); 4380 horas Norit, 2020

Duración de la limpieza química (Tc); 0.25 horas Mí y Elimelech, 2010

Periodo de limpieza física (tp) 8760 horas Judd, 2011

$$n = \frac{4380}{8760+0.3}$$

$n = 0.50$  donde  $n$  es el número de ciclos de limpieza física por limpieza química.

Para la energía para el retro lavado.

$$W_{h,net} = 0.7877 \frac{4380}{4380+0.25}$$

$$W_{h,net}=0.78766 \text{ kWh/m}^3$$

Calcularemos la energía para el bombeo.

Usando una salida del t. Imhoff 2.5 metros (H),  $g$  la gravedad, densidad del fluido de

1,005.551 kg/m<sup>3</sup>,  $\xi$  eficiencia de la bomba de impulsión de 0.60 eficiencia de paso del flujo

0.4, con la sumatoria de las pérdidas.

Qa bombear / Qp, donde Qa bombear es el flujo de reciclaje para la desnitrificación y Qp es el flujo de alimentación.

$$W_p = \frac{1005.551 * 9,81 * 2,5}{1000 * 0,6} 266.89/102 * 32 * 3$$

$$W_p = 1.12 \text{ kWh/m}^3$$

## Comprobación de dimensionamiento y diseño de la propuesta de Ultrafiltración para tratar aguas residuales en Software Wave

El diseño presentado en base al libro de Simon Judd del 2011 y de la bibliografía encontrada se comprobará mediante el software WAVE de Dupont, con los mismos datos iniciales de aguas residuales y temperatura a 15 grados Celsius como vemos en la figura 59 cargamos los datos iniciales del programa.



Figura 20. Configuración inicial del programa WAVE.

Fuente: Elaboración propia.



Wave—13/11/2020PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACION EN EL TRATAMEN...

Configuración: Apoyos de usuario Agua de alimentación Informa Ayuda Centro de respuestas

Información Límite de alarma

Configuración del programa

Iniciar: Agua de alimentación

Wave—13/11/20  
 TRATAMIENTO DE  
 APURÍMAC 2020  
 Manual de Funcionamiento  
 1. Especificar el nivel de  
 2. Seleccionar las tecnologías  
 3. Seleccionar el tipo de esp

Tecnología	Nombre	Eficiencia de bombeo	Eficiencia de motor	Eficiencia total
UF	Feed	0.60	0.90	0.540
UF	Backwash	0.60	0.90	0.540
UF	CP	0.60	0.90	0.540
UF	AI Compressor	0.90	0.90	0.810
UF	Heating	0.60	0.90	0.540
NO	Feed + 400 gal	0.90	0.90	0.810
NO	Feed + 400 gal	0.90	0.90	0.810
NO	Heating	0.60	0.90	0.540
NO	Feed	0.60	0.90	0.540
NO	Backwash	0.60	0.90	0.540
NO	Separation	0.60	0.90	0.540
NO	AI Compressor	0.90	0.90	0.810

Tipo de agua: Agua residual

Botones: Solucionar informe Operar, Cancelar, Guardar y cerrar

DUBONT © 2011 DuPont de Nemours Inc. Todos los derechos reservados. Water Application Value Engine Water Solutions

Figura 21. Feed y backwash a 0.60 en programa WAVE.

Fuente: Elaboración propia.

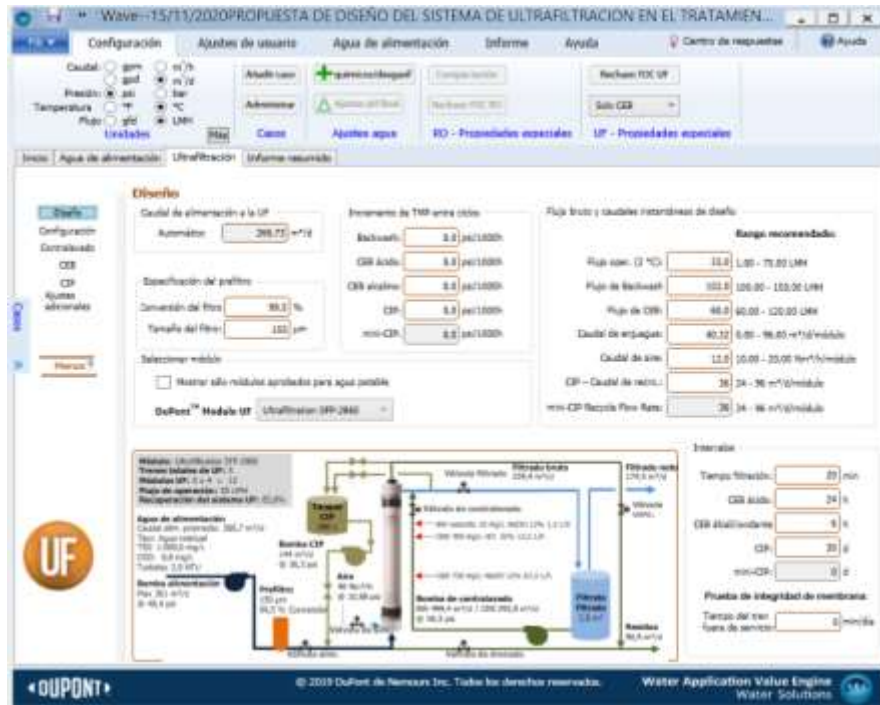


Figura 22. Salida de datos con el diseño de los trenes de ultrafiltración del programa WAVE.

Fuente: Elaboración propia

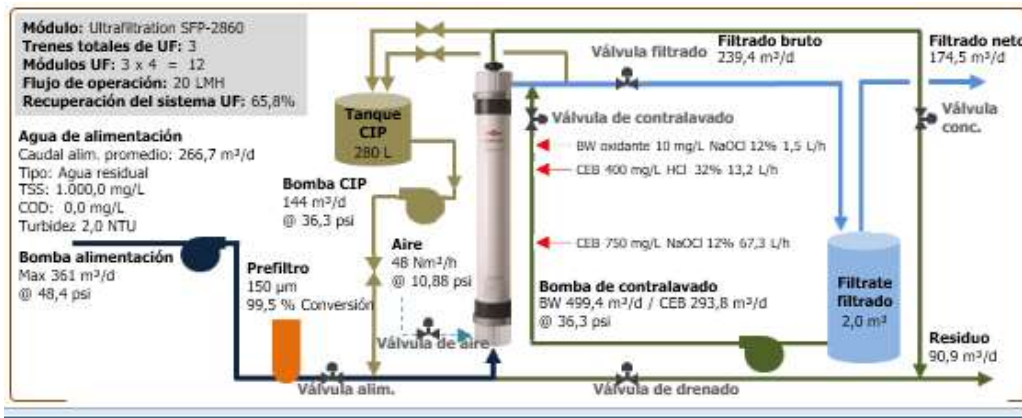


Figura 23. Resumen del diseño de trenes de Ultrafiltración programa WAVE.

Fuente: Elaboración propia

## **Para el objetivo específico 2: Reúso del efluente para riego**

Para el reúso del efluente se comparará los parámetros obtenidos de la propuesta midiendo y comparándolos con los parámetros de la OMS, FAO y del D.S. 004-2017 MINAM, en el proceso de tratamiento a proponer; se diseñará de tal forma que se adecue a las condiciones existentes en el lugar zona de la sierra alejada y de difícil acceso y a las características del agua residual que para este diseño se usará los parámetros nacionales de aguas residuales. Se le dio gran importancia al objetivo que debe cumplir el sistema de ultrafiltración, a la obtención de afluentes de calidad para su reúso en agricultura con estándares de la establecidos por la FAO, ya en su informe titulado Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe 2017, con la reducción de DBO, arenas, lodos y sin producir malos olores, con la simplicidad de su operación y a que debe ser un proceso innovador. El sistema a proponer se diferencia de las plantas de tratamiento convencionales (lodos activados), particularmente en los siguientes aspectos:

- El tratamiento del agua no produce malos olores
- El agua tratada sale con pureza, con carga bacteriana baja
- El área para su construcción es pequeña, se ahorra 2/3 de área
- Capacidad de tratamiento flexible; se puede ampliar modularmente
- No son necesarios tanques de sedimentación;
- No se necesita reductor de olores
- El afluente es adecuado para su reúso, sin riesgos para la salud
- La planta es de fácil operación, no se necesitará personal especializado.

### Patógenos en el tratamiento de aguas servidas para su reúso en riego de la OMS.

Se muestran los parámetros aceptados por la OMS en la tabla 9 para el reúso de los efluentes de calidad y su posterior uso en riego donde notamos que el nitrógeno y los fósforos son importantes para el uso como nutrientes en la agricultura, pero mucho más es que no presente riesgo por patógenos humanos, que generen problemas a la salud de los usuarios.

**Tabla 8** Ejemplos de diferentes tipos de peligros asociados con el uso de aguas residuales municipales en la agricultura de los países en vías de desarrollo

Peligro	Ruta de Exposición	Grado de importancia
Bacterias (por ejemplo E. coli, Vibrio cholerae, Salmonella spp. Shigella spp.)	Contacto; Consumo	Bajo–alto
Helmintos (gusanos parasitarios) Ascaris, anquilostomas, Taenia spp. y otros helmintos transmitidos a través del suelo	Contacto; Consumo	Bajo–alto Nulo–alto
Schistosoma spp.	Contacto	
Protozoos (Giardaintestinalis, Cryptosporidium, Entamoeba spp.)	Contacto; Consumo	Bajo–medio
Virus (por ejemplo, virus de la hepatitis A, virus de la hepatitis E, adenovirus, rotavirus, norovirus)	Contacto; Consumo	Contacto; Consumo
irritantes de la piel	Contacto	Medio -alto
Patógenos transmitidos por vectores (Filaria spp., virus de la encefalitis japonesa, Plasmodium spp.)	Contacto con el vector	Nulo–medio
Metales pesados y metaloides (por ejemplo, arsénico, cadmio, plomo, mercurio)	Consumo	Generalmente bajo

Hidrocarburos halogenados (dioxinas, furanos, PCB)	Consumo	Bajo
Pesticidas (aldrín, DDT)	Contacto; Consumo	Bajo

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. FAO (2017)

En la guía del 2017 de la OMS- FAO se presentan lo organismos biológicos de referencias para el control de la contaminación.

**NOTA ORIENTATIVA 2.5**

**Compilación de información sobre peligros biológicos**

- Las medidas de control definidas por las Directrices de la OMS de 2006 abordan la contaminación **bacteriana, viral y protozoaria** combinada sin distinguir entre los diferentes tipos y especies. Sin embargo, un indicador importante para evaluar las cargas de patógenos en residuos fecalmente contaminados, así como la eficiencia del tratamiento de las medidas de control, es la concentración de *Escherichia coli* como un organismo de referencia.
- La presencia y frecuencia de las diferentes infecciones por **helmintos** es específica al contexto. Dado que la especie y concentración de huevos de helmintos en los residuos influye en el diseño de las medidas de control, es importante determinar qué especies de helmintos son endémicas en el área de estudio.

Figura 24. Organismos biológicos peligrosos indicador de la contaminación en aguas residuales.

Fuente: OMS 2006

**Categoría A:**

- Cultivos alimenticios que se consumen crudos: lechuga, espinaca.
- Frutas regadas por aspersión, aun con tallo alto.

Figura 25. Cultivos categoría A.

Fuente: Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales doméstica. (ANA, 2016)

La OMS clasifica los cultivos en las dos categorías cuando su riego puede ser con aguas residuales y lo vemos en la siguiente figura 25.

## Recomendaciones de la FAO en el reúso de aguas residuales

La tecnología de ultrafiltración ya se ha empleado principalmente para la separación de sólidos, virus, bacterias y demás patógenos de menos 1  $\mu\text{m}$ , los sistemas de ultrafiltración separan los componentes del afluente en función de sus propiedades físicas dando un pretratamiento para evitar que la membrana sufra daños, y esta separación sucede al aplicar presión a través de la misma. El funcionamiento de la membrana está dividido en dos: un permeado, conteniendo el material que ha pasado a través de la membrana y un concentrado o rechazo, alrededor del 60%, (Judd S., 2011). Siendo este porcentaje el más desfavorable usado para el diseño este porcentaje y que contiene el material que no atraviesa la membrana también llamado rechazo y lo que no logra permear en el tiempo de bombeo. Antes de la conversión el agua residual, ya tiene los nutrientes para el reúso con fines de riego y los recursos aprovechables están en el agua como Nitrógeno y fósforo (FAO, 2017), según Tabla 9.

**Tabla 9** *Nutrientes presentes en las aguas residuales sin tratar.*

Recursos	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Nitrógeno (Total como N)	mg/l	20	40	85
Fosforo (total como P)	mg/l	4	8	15
Carbono Orgánico Total	mg/l	80	160	90

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (2017).



### Peligros en la salud en el reúso de aguas residuales no tratadas

Las aguas residuales municipales por su naturaleza de origen vienen cargadas de bacterias, virus y demás patógenos (Tchobanoglous et al., 2003). Cuando las aguas residuales se utilizan en la agricultura, los patógenos no removidos son el principal peligro para la salud en el contacto con aguas residuales y el consumo de productos cultivados de tallo bajo y medianos regados con aguas residuales no tratadas, el siguiente Tabla 7 nos da los peligros de bacterias de aguas no tratadas figura 16.

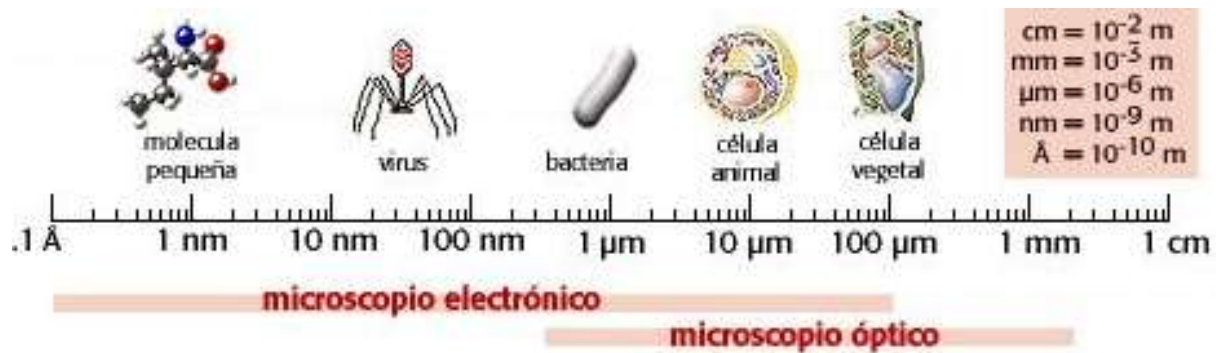


Figura 26. Escala de tamaños de diferentes microorganismos y células

Fuente: Wordpress.com 2016

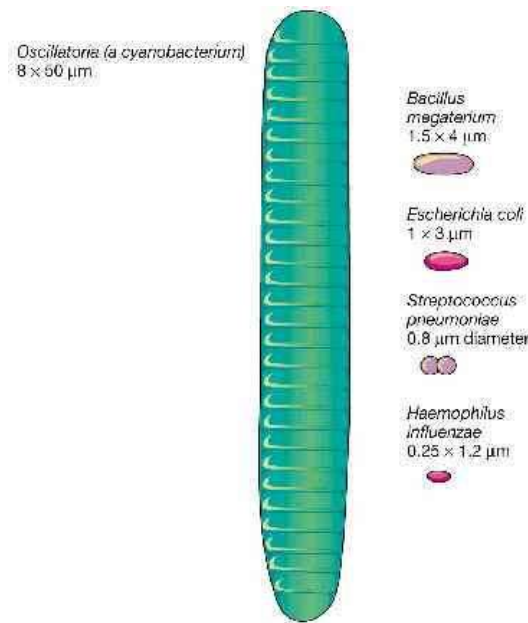


Figura 27. Esquema comparativo del tamaño de diferentes bacterias

Fuente: Universidad de Granada.

Los usos de nuevas tecnologías en general siempre han generado rechazo y resistencia en el país, costos, materiales nuevos, y hasta cierto punto dependiendo de circunstancias políticas, económicas y medioambientales, siendo los principales impulsores, legislación, escasez de agua local, retorno de la inversión, impacto, medioambiental, aceptación pública y política, (Judd, 2011), La organización Mundial de la Salud establece parámetros para el reúso de las aguas residuales tratadas municipales, colocando este reúso en categoría 3, figura 28.

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 4$		$\geq 5$
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Figura 28. Parámetros Físico Químicos de Categoría 3 el diseño de la Ultrafiltración.

Fuente: D.S. 004-2017 MINAN

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

Figura 29. Parámetros Microbiológicos de Categoría 3 para el diseño de la Ultrafiltración.

Fuente: D.S. 004-2017 MINAN

### Comparación de parámetros obtenidos y parámetros de calidad

Obtuvimos los valores de los parámetros teóricos de nuestra propuesta con una hoja de cálculo volcando las eficiencias de las membranas de ultrafiltración contra esos parámetros y estándares de Calidad Ambiental (ECA) es superada por lo obtenido por la propuesta de Ultrafiltración de 15 mg/l para el DBO y 2.00E+003 para Coliformes totales, dando cumplimiento también en los parámetros que exige la OMS.

**Tabla 10** Eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro DBO

Unidad	Desarenador	T. Imhoff	Propuesta de Ultrafiltración	Resultado Final
Ingreso mg/l	625.00	562.50	421.88	
Alcance de remoción acumulada	10.00%	25.00%	98%	
Salida mg/l	562.50	421.88	8.44	8.44
				<b>Cumple LMP</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11** Eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro E. Coli

Unidad	Desarenador	T. Imhoff	Propuesta de Ultrafiltración	Resultado Final
Ingreso mg/l	2.50E+08	1.88E+08	3.75E+07	
Alcance de remoción acumulada	25.00%	80.00%	100%	
Salida (nmp/100ml)	1.88E+08	3.75E+07	0.00E+00	0.00E+00
				<b>Cumple ECA, LMP</b>

Fuente: Elaboración propia

Ahora calcularemos la cantidad de área a regar con el reúso del caudal generado, usaremos las fórmulas para hallar el módulo de riego (MR), y asumiremos la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>), el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), además de las eficiencias de un sistema de riego por aspersión coeficientes del Manual de riego parcelario de la Organización de las Naciones

Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, la precipitación efectiva (P. Efec.) valor asumido de SENHAMI.

$$Kc \text{ pon} \frac{\sum(AxKC)}{\sum A}$$

*Ecuación 7.* Factor Kc ponderado

Fuente: MEF

$$UC = Eto \times K \text{ pon}$$

*Ecuación 8.* Evapotranspiración real UC

Fuente: MEF

$$Req = UC - P. Efec$$

*Ecuación 9.* Requerimiento de agua

Fuente: MEF

$$Req. Vol. Neto = Req(mm) \times 10$$

*Ecuación 10.* Requerimiento neto de agua

Fuente: MEF

$$MR = Req. Vol. Neto \times \frac{1000}{N^{\circ} \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times N^{\circ} \text{ horas} \frac{\text{riego}}{\text{día}} \times 3600}$$

*Ecuación 11.* Módulo de riego.

$$Q. dem = Area total \times MR$$

*Ecuación 12.* Caudal disponible a la demanda.

Las hectáreas que servirán el caudal de reúso el cálculo usado son las fórmulas de la 7 a la 12 de los efluentes de la propuesta de ultrafiltración dependerán, mucho de datos como la eficiencia de tuberías de riego, evapotranspiración y la precipitación, obteniendo estos de SENHAMI, FAO y MEF, y los mostramos en la siguiente tabla 10, 11, 12, y 13

**Tabla 12** Valores asumidos para el cálculo del módulo de riego

Descripción	Valor
ETo(a)	1.596 mm/s
Precipitación efectiva 75% (b)	0.8483 mm/s
<b>Eficiencias de riego</b>	
Aplicación por aspersión (c)	0.50
Conducción por tubería (d)	0.90
Distribución por tubería (e)	0.90

Fuente: (a), (b) datos de proyectos anteriores en la zona, (c) MEF, (d), (e) FAO.

**Tabla 13** Valores  $K_c$  y áreas asumidos para el cálculo del módulo de riego

Descripción	valores	
Efectividad del proyecto	0.405	
	<b>Área x cultivo Ha</b>	
Kc papa	0.40	142
Kc Maíz	0.35	142
Kc pasto	0.85	284
Kc pon	0.61	

Fuente: FAO

**Tabla 14** Valores calculados para el caudal demandado

Descripción	valores
UC	0.98 mm/s
Req.	0.13 mm/s
Req. Volumen Neto	1.29 m <sup>3</sup> /Ha/mes
MR	0.0010 l/s
Qdem.	0.57 l/s/Ha

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15** Reúso de caudal generado

Descripción	Unidades	Valor
Caudal promedio horario	l/s	1.56
Caudal anual	m <sup>3</sup>	49,102
Caudal usado para riego tecnificado (Método de riego sistema por aspersión)	l/s	0.57
Posible Frontera agrícola	Ha	568
Posibles campañas al año	Und	2

Fuente: Elaboración propia



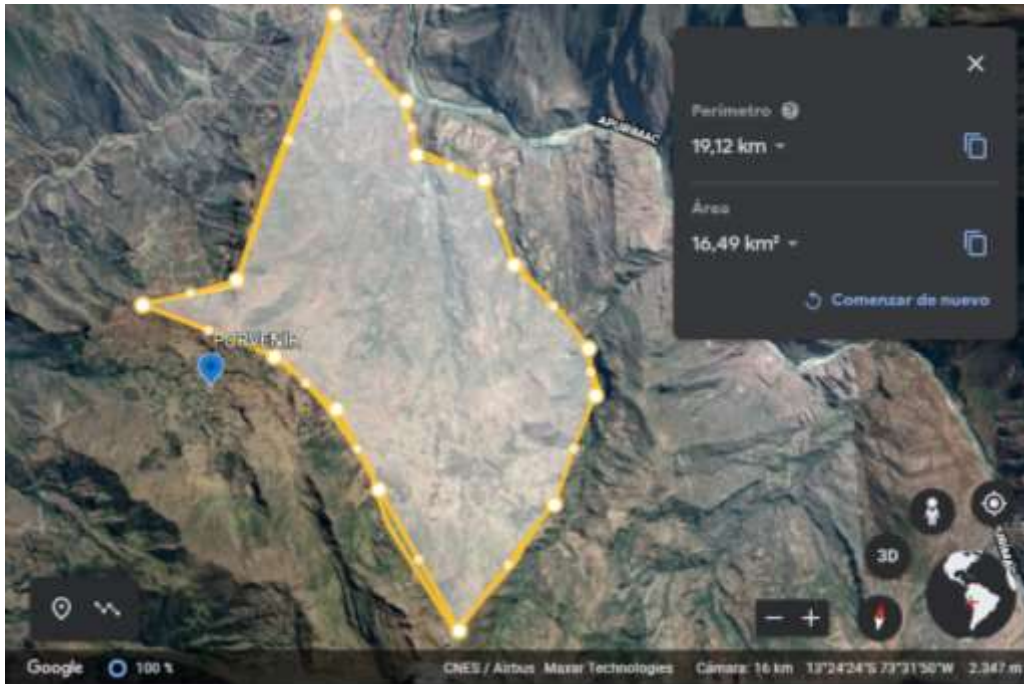


Figura 30. Área potencial de explotación agrícola con el caudal permeado resultante de la propuesta de diseño de la Ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia.

La eficiencia por riego tecnificado por aspersión es mucho mayor usando como dato un caudal de 0.57 l/s por hectárea.

### Aspectos éticos

La propuesta de diseño de ultrafiltración abarcara el aspecto social de la misma definiendo el análisis de la sostenibilidad, usando para ello el presupuesto tentativo de la Ultrafiltración con los elementos de construcción y el modelo que el MEF usa en su sistema de INVIERTE.PE, en la evaluación de proyectos, esto para poder valorar su trascendencia justa y social.

### **Análisis de la sostenibilidad de la propuesta de ultrafiltración**

La propuesta de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales deberá ser evaluada en el tiempo la sostenibilidad, el costo del tratamiento, comparada con un proyecto sin Ultrafiltración, para ello se ha generado dos presupuestos de ejecución solo de una planta de tratamiento con la propuesta de ultrafiltración y otra sin la propuesta, entendiéndose que esta deberá de contener el sistema de depuración de las aguas municipales, para evaluar la sostenibilidad se evaluara la capacidad de pago de la población con el cálculo de la tarifa incremental tomado de Invierte.pe en la evaluación de proyectos de saneamiento, se calculara sin tomar en cuenta el pago por canon de agua que la población a través de sus comités de regantes hacen por concepto del caudal anual usado y autorizado por el ANA para riego.

CALCULO DE LA TARIFA INCREMENTAL PROMEDIO DE LARGO PLAZO ALTERNATIVA SOLUCION

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14											
											Años	Población Total	Producción de agua (m³/año)			% de Pérdidas	Consumo (m³/año)	Consumo Incremental (m³/año)	Inversión Total a precios privados (S/.)	Costos de OM a precios privados	Costos de OM incremental a precios privados	Total Costos a precios privados	Factor de Actualización	Valor Actual		
																								Costos de Inversión OM Precios Privados	Costos de OM Precios Privados (Soles)	Consumos (Soles)
0	1,156	97,090	40.0%	58,254		2,523,259.64	19,838		2,523,259.64	1.000	2,523,260	0	0													
1	1,165	118,625	30.0%	83,038	24,784		69,560	49,722	49,722.06	0.917	45,617	45,617	22,737													
2	1,174	122,640	30.0%	85,848	27,594		71,305	51,467	51,466.51	0.842	43,318	43,318	23,225													
3	1,183	129,940	30.0%	90,958	32,704		73,485	53,647	53,647.07	0.772	41,425	41,425	25,253													
4	1,192	137,240	30.0%	96,068	37,814		75,448	55,610	55,609.58	0.708	39,395	39,395	26,788													
5	1,201	144,540	30.0%	101,178	42,924		77,192	57,354	57,354.04	0.650	37,276	37,276	27,898													
6	1,210	151,840	30.0%	106,288	48,034		78,718	58,880	58,880.43	0.596	35,108	35,108	28,641													
7	1,219	159,140	30.0%	111,398	53,144		79,809	59,971	59,970.72	0.547	32,806	32,806	29,072													
8	1,229	166,440	30.0%	116,508	58,254		81,335	61,497	61,497.11	0.502	30,863	30,863	29,236													
9	1,238	173,740	30.0%	121,618	63,364		82,643	62,805	62,805.45	0.460	28,917	28,917	29,175													
10	1,247	181,040	30.0%	126,728	68,474		84,170	64,332	64,331.85	0.422	27,174	27,174	28,924													
11	1,256	188,340	30.0%	131,838	73,584		85,696	65,858	65,858.24	0.388	25,522	25,522	28,516													
12	1,265	195,640	30.0%	136,948	78,694		87,005	67,167	67,166.58	0.356	23,880	23,880	27,978													
13	1,274	202,940	30.0%	142,058	83,804		87,877	68,039	68,038.81	0.326	22,193	22,193	27,335													
14	1,283	210,240	30.0%	147,168	88,914		89,403	69,565	69,565.21	0.299	20,817	20,817	26,607													
15	1,292	217,540	30.0%	152,278	94,024		90,275	70,437	70,437.43	0.275	19,338	19,338	25,813													
16	1,301	224,840	30.0%	157,388	99,134		91,802	71,964	71,963.83	0.252	18,126	18,126	24,969													
17	1,310	232,140	30.0%	162,498	104,244		92,892	73,054	73,054.11	0.231	16,881	16,881	24,088													
18	1,319	239,440	30.0%	167,608	109,354		94,419	74,581	74,580.51	0.212	15,811	15,811	23,182													
19	1,328	246,740	30.0%	172,718	114,464		95,727	75,889	75,888.85	0.194	14,760	14,760	22,262													
20	1,337	254,040	30.0%	177,828	119,574		96,599	76,761	76,761.07	0.178	13,697	13,697	21,336													
						2,523,259.64	1,705,197.47		<b>VALOR ACTUAL</b>		<b>3,076,184</b>	<b>552,924</b>	<b>523,036</b>													

Figura 31. Cálculo de tarifa incremental de largo plazo del tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia

---

**Presupuesto: TRATAMIENTO TERCIARIO ULTRAFILTRACION (20.05.20)**

---

**CODIGO**

<b>RESUMEN</b>		
1	OBRA CIVIL	49,371.05
2	EQUIPOS	350,944.30
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS	18,170.00
4	SEGURIDAD Y SALUD	4,917.87
	<b>TOTAL, PRESUPUESTO EJECUCION</b>	<b>423,403.22</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10%)</b>	<b>42,340.32</b>
	<b>UTILIDAD (8%)</b>	<b>33,872.26</b>
	<b>I.G.V. (18%)</b>	<b>89,930.84</b>
	<b>TOTAL, EUROS</b>	<b>589,546.64</b>
	<b>TOTAL, MONEDA NACIONAL SOLES</b>	<b>2,523,259.64</b>

---

*Figura 32.* Presupuesto de propuesta de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

CIP (I+OM)      3,076,184      = S/      5.88 por M3

523,036

TARIFA  
AGUA=      552,924      = S/      1.06 por M3  
POTABLE      523,036

Agua Potable (A)	
Tarifa x m3 =	VAC O,M y Repos. VAC Consumo (m3)

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE PAGO Y REQUERIMIENTOS DE SUBSIDIOS**

COSTOS UNITARIOS/M3	Soles por M3	*Pago / conex./mes por consumo de 24.17m3 (Soles)**	Limite de Capacidad de Pago (Soles)***	Esta dentro Capacidad Pago ??	PAGO(S/mes) por conexión
		Q=P*0.21*COSTO M3			
Costo Unitario pago SOLO O & M del sistema	1.06	5.37	30.00	SI	5.00
Costo Unitario de Inv + O & M	5.88	29.85			
		CANTIDAD DE CONSUMO POR MES FACTOR ECONOMETRICO 0.21		SI	30.00

Categoría de Usuario	m3/mes/cnx
Doméstico	
Consumo Unitario c/medidor	0.00
Consumo Unitario s/medidor (P)	24.17

Figura 33. Cálculo de sostenibilidad de la propuesta del sistema de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

De lo analizado se desprende que la población está en posición de darle la sostenibilidad a la propuesta, logrando cubrir los costos de operación y mantenimiento con cinco soles mensuales por conexión, estando presupuestados a costos con estándares europeos el diseño de las obras para la propuesta de ultrafiltración, esto para garantizar la calidad del efluente y no perjudique a los agricultores en posteriores regulaciones y normas de comercialización de los productos que podrían producir y estar regados con este tipo de agua tratada ya que está demostrado que se puede alcanzar a regar más de 500 Hectáreas con dos campañas al año tomando para esto como referencia que en la zona de Piura se requieren 20mil metros cúbicos de agua por hectárea al año para producir cultivos de calidad de exportación, haciendo este volumen un caudal de 0.63 litros por segundo, utilizando en esta tesis el ratio de 0.50 litros por segundo para cada hectárea regada por el sistema de ultrafiltración por año.

### **Análisis de la costó de la operación de la propuesta de Ultrafiltración.**

En esta propuesta de ultrafiltración el factor energético es importante, puesto que se disponen de 9 bombas a una eficiencia de 0.60, esto por el bombeo de aguas con solidos en suspensión, y teniendo siempre las bombas con eficiencia eléctrica de 0.80, se diseñó en una hoja de cálculo un escenario donde el sistema ya trabajo 10 años y se tiene condiciones de operación a 15 grados Celsius, 21 metros de cable a los tableros de arranque y parada, la carga de las bombas según diseño son horizontales, el costo del kWh a octubre del 2020 de la empresa Electro sur este es de 3.70 dólares, incluido I.G.V., y características físicas de las bombas.

EVALUACION DE SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO A EQUIPOS DE BOMBEO			
SITIO:	PORVENIR - APURIMAC 2020	FECHA:	24 DE NOVIEMBRE DE 2020
AGENCIA O EMPRESA DE AGUA:			
SISTEMA:	PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA USO EN RIEGO	EQUIPO:	BOMBEO A TRENES DE ULTRAFILTRACION + RETROLAVADO Y RECUPERACION

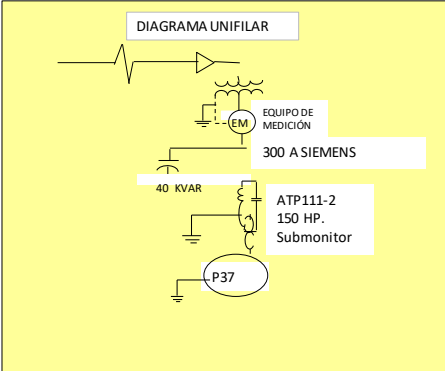
1.1. SISTEMA ELÉCTRICO																					
<b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b> Suministrador: ELECTRO SUR ESTE No. de Servicio: 0 Tarifa contratada:																					
<b>TRANSFORMADOR:</b> Tipo: Capacidad: Rel. de transf.:																					
<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL:</b> Marca: SIEMENS Capacidad: 125 A Ajuste: RÁPIDO																					
<b>ARRANCADOR:</b> Tipo: Capacidad:																					
<b>PROTECCIÓN:</b> Marca: MOELLER ELECTRIC Capacidad: 32-40 A Ajuste: 37 A																					
<b>SISTEMA DE TIERRAS</b> <table border="0"> <tr> <td>¿Hay sistema de tierras?</td> <td>SI <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>NO <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Están separados el neutro y la tierra?</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el transformador?</td> <td>SI <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>NO <input type="checkbox"/></td> <td>Calibre: 8</td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el arrancador?</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Calibre: 8</td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el motor?</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Calibre: -</td> </tr> </table>		¿Hay sistema de tierras?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		¿Están separados el neutro y la tierra?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>		¿Está aterrizado el transformador?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Calibre: 8	¿Está aterrizado el arrancador?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Calibre: 8	¿Está aterrizado el motor?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Calibre: -
¿Hay sistema de tierras?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>																			
¿Están separados el neutro y la tierra?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>																			
¿Está aterrizado el transformador?	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Calibre: 8																		
¿Está aterrizado el arrancador?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Calibre: 8																		
¿Está aterrizado el motor?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Calibre: -																		
<b>OBSERVACIONES:</b> El arrancador está aterrizado por la estructura de la tubería del poste																					
<b>DIAGRAMA UNIFILAR</b> 																					
<b>CAPACITORES:</b> Capacidad: 40 kVAr																					
<b>CONDUCTORES:</b> Transformador - Arrancador Calibre: 1HXF-4/0AWG Longitud: 21 m Agrupamiento: C-3H+N-8 Arrancador - Motor Calibre: XHF-4/0 AWG Longitud: 22 m Agrupamiento: C-3H+N-8																					

Figura 34. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, escenario de trabajo de la bomba simulando condiciones climáticas de la zona.

Fuente. Adaptado publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluación-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Hoja-de-cálculo.xlsx.

1.2 MOTOR ELÉCTRICO			
DATOS DE PLACA o NOMINALES:			
Marca:		Tensión:	220 V
Capacidad:	2 HP	Corriente:	53 A
Velocidad:	3600 RPM	Eficiencia:	60.0%
Tubo:		Tubo: HORIZONTAL CENTRIFUGA	
Frame:		Frame:	
F.S.:		F.S. 1.15	
HISTORIAL:			
Antigüedad:	10 años	# de rebobinados:	0
Operación:		Operación: 8760 h/año	
OBSERVACIONES: Motor controlado por un arrancador a tensión reducida, modelo ATP112-2 DE 150 hp.			
Falta que los datos de placa del motor instalado estén visibles en la tapa del arrancador.			
1.3 BOMBA			
CUERPO:		IMPULSOR:	
Marca:		Tipo:	Cerrado
Tipo:	HORIZONTAL CENTRIFUGA	Material:	A. Inox.
Modelo:	0	Diámetro:	0.5 m
Antigüedad:	10 años	Antigüedad:	10 años
FLECHA:	Diámetro: 4 pulgadas	Longitud:	0.5 m
DATOS DE DISEÑO:	Carga: 6 m.c.a.	Gasto:	2 l/s
OBSERVACIONES: Bomba lubricación por aceite, descarga a red interconectada			
1.4 CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO			
FLUIDO:	Agua con SST	Temp.:	15 °C
Peso específico:		1006 kg/m <sup>3</sup>	
OBSERVACIONES: AGUA RESIDUAL			

Figura 35. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, condiciones de trabajo eléctricas de los motores a 10 años de trabajo.

Fuente: Adaptado publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluación-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Hoja-de-cálculo.xlsx.

3.3 EVALUACIÓN DE LA BOMBA										
CARGA DE BOMBEO:										
Pérdidas en la línea de succión:	0.01 m			Pérdidas en la línea de descarga:	0.00 m					
Peso específico del fluido:	1006 kg/m <sup>3</sup>			Velocidad en la línea de descarga:	0.21 m/s					
Carga neta de bombeo:	9.19 mca			Desviación con respecto al diseño:	53.2%					
GASTO:										
Gasto medido:	0.002 m <sup>3</sup> /s			Desviación con respecto al diseño:	0.0%					
POTENCIA MANOMÉTRICA:										
De Diseño:	0.12 kW			De acuerdo a mediciones:	0.181409 kW			Desviación:	53.18%	
EFICIENCIA:										
Eficiencia electromecánica:	0.7%			Eficiencia de la bomba:	0.1%					
Pérdidas en la tubería										
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs	Rug. rel	fr	Hfr	
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>2</sup> /s		mm			mca	
Succión	0.0036	0.0033	1.085	1.1E-06	6.157E+04	0.046	7.08E-04	0.0226	0.010	
Descarga	0.0020	0.0095	0.210	1.1E-06	2.021E+04	0.046	4.18E-04	0.0268	0.001	

Figura 36. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, evaluación de la bomba de impulsión.

Fuente: Adaptado publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluación-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Hoja-de-cálculo.xlsx.



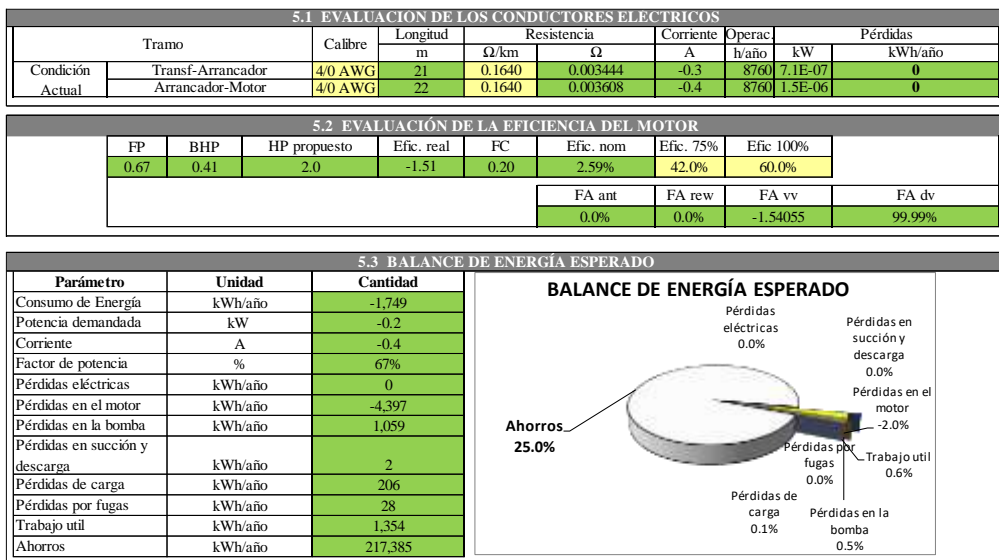


Figura 37. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, balance de energía esperado.

Fuente: Adaptado publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluación-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Hoja-de-cálculo.xlsx.

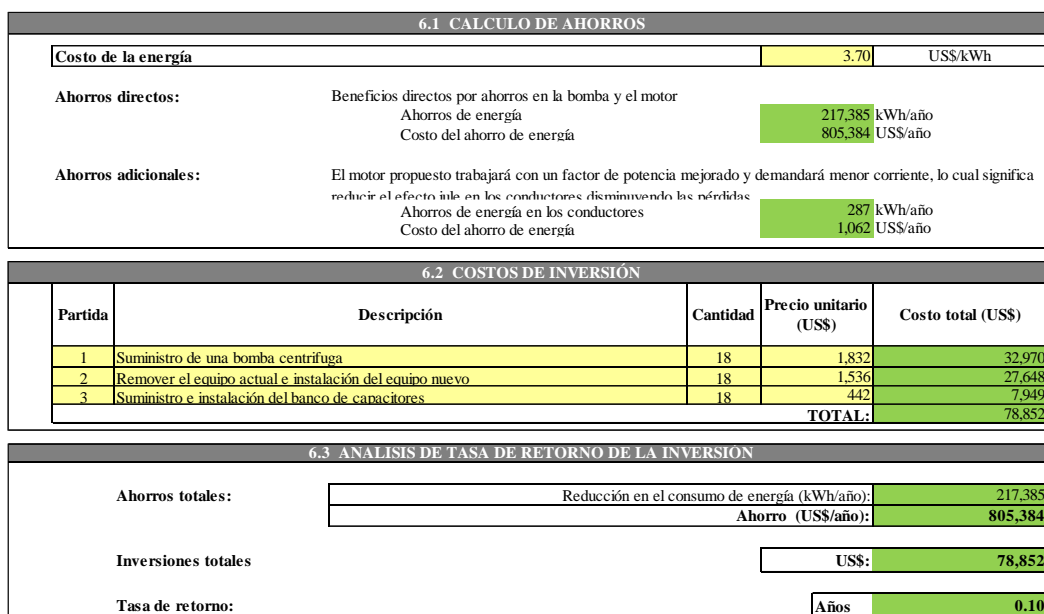


Figura 38. Estimación de Ahorros kWh de la propuesta del sistema de ultrafiltración, ahorros e inversiones totales a 10 años de uso.

Fuente. Adaptado publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evaluación-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-Hoja-de-cálculo.xlsx.

### CAPITULO III. RESULTADOS

En este capítulo presentaremos los resultados obtenidos mediante el análisis de los datos encontrados en el estudio de informes de investigación precedentes y su aplicación.

**Para el Objetivo Especifico 1. Obtención de las características de diseño con membranas de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales para un efluente de calidad con fines de riego.**

En esta tesis se obtuvo un diseño de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego, con membranas de Ultrafiltración obteniendo las siguientes características de diseño:

- Módulos cuerpo tubular diámetros de 6 pulgadas 33 m<sup>2</sup> por módulo.
- 3 trenes de Membranas de Ultrafiltración de 4 módulos cada tren, total de 12 módulos.
- Bomba de impulsión de 900 watts de potencia, para un permeado de 102 LHM (litros de presión de membrana por metros cuadrado) de permeado. siendo un permeado por tren de 19 LHM.
- Para nuestros cálculos esto distribuido en tres trenes y cada tren con cuatro módulos de 1.80 metros de largo.
- Con una bomba de recirculación de lodos de rechazo de 1200 watts de potencia.
- Para el mantenimiento una bomba de 900 watts de potencia para el retro lavado cada 24 horas cuando se baja la permeabilidad de los módulos a 33 LHM total.
- Lavado químico con hipoclorito de cloro a 2000 ml. Cada 24 horas de operación.

- Las membranas están construidas con poros de  $0.01\mu\text{m}$ , este material con ese diámetro de poro logra retener un 98% del DBO presente en el efluente y la totalidad de sólidos totales suspendidos.
- Pretratamiento de Cámara de rejas, Desarenador y tratamiento primario de Tanque Imhoff.

**Tabla 16** Comparación de resultados de software WAVE y calculados.

Unidad	Valores calculados	Software WAVE	Propuesta de Ultrafiltración
Trenes de Operación	3	3	3
LHM de operación	19	20	19
Módulos por tren	4	4	4
Retro lavado LHM	102	102	102
Intervalo de Retro lavado	Cada 24 h	23 h	24
SST Salida_mg/l	1022.72	1022	0.00
			<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17** Valores de remoción obtenidos de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro DBO, SST

Unidad	Desarenador	T. Imhoff	Propuesta de Ultrafiltración	Valor Final Obtenido
DBO	625.00	562.50	421.88	
Ingreso mg/l				
Alcance de remoción acumulada	10.00%	25.00%	98%	
DBO	562.50	421.88	8.44	8.44
Salida mg/l				
SST	1125	1022.72	889.32	
Ingreso mg/l				
Alcance de remoción acumulada	10.00%	15.00%	100%	
SST	1022.72	889.32	0.00	0.00
Salida_mg/l				
				<b>Cumple LMP</b>

Fuente: Elaboración propia

**Para el Objetivo Especifico 2: Obtención de un efluente de calidad con fines de riego en el tratamiento de aguas residuales con membranas de ultrafiltración.**

En esta tesis se obtuvo un efluente de calidad con fines de riego con el sistema de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales, por lo cumplen los límites de la OMS, FAO recogidos por el DS-004-2017 del Ministerios del Ambiente en la tabla 16.

Se medirá la calidad del efluente teniendo como referencia el valor de 0.00E+00, para Coliformes termo tolerantes.

**Tabla 18** Medición de eficiencia de remoción de la propuesta de Ultrafiltración de parámetro E. Coli y Coliformes termo tolerantes.

Unidad	Desarenador	T. Imhoff	Propuesta de Ultrafiltración	Resultado Final
Ingreso mg/l	2.50E+08	1.88E+08	3.75E+07	
Eficiencia de remoción acumulada	25.00%	80.00%	100%	
Salida (nmp/100ml)	1.88E+08	3.75E+07	0.00E+00	0.00E+00
				<b>Cumple ECA, LMP OMS-FAO</b>

Fuente: Elaboración propia

La propuesta deja los nutrientes como el Nitrógeno (N) 43% y el Fosforo(P) orgánico 24%, nutrientes tomando los valores bajos de presencia de nutrientes en aguas residuales de N y P siendo 20 mg/l y 4 mg/l porque son necesarios para el crecimiento de los cultivos.

El fósforo promueve la formación de raíces y el desarrollo de flores y frutos, y el Nitrógeno el crecimiento del cultivo, la Tabla 17, nos da los requerimientos de nutrientes por mg/l de cultivo típico de la zona, y que las aguas residuales tratadas con la propuesta de membranas de ultrafiltración aportan sin riesgos a la salud de los usuarios.

**Tabla 19** *Medición de Requerimientos de nutrientes por cultivo de referencia.*

Descripción	Nutrientes mg/l		Nutrientes que la propuesta de Ultrafiltración mantiene en al agua tratada	
	N	P	N mg/l	P mg/l
Cultivo de papa*	2.35	0.71	8.6	0.96
Cultivo frejol**	2.21	0.24	8.6	0.96
Cultivo Maíz***	1.83	0.65	8.6	0.96

Fuente: Elaboración propia \*, \*\*, \*\*\*FAO (2017)

## CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### **Discusión.**

De acuerdo con Galán, P. (2016), “sugieren que la utilización de la UF para depurar aguas residuales es factible siempre y cuando vaya acompañada o bien, de un pretratamiento” en su tesis Evaluación de la Ultrafiltración Directa de agua residual doméstica por medio de un módulo rotativo de fibra hueca sumergido. Por este motivo la propuesta de la presente tesis aplica un pretratamiento con la cámara de rejillas, desarenador y Tanque Imhoff para el sistema de la propuesta.

De acuerdo con Robles M. (2013), “Los resultados obtenidos en las aguas depuradas en cuanto a la DBO, DQO y SS son buenos lo cual es muy positivo a la hora de llevar a cabo un proyecto de reutilización”, de su tesis de Master Reutilización de aguas residuales.

Aplicación al riego de campos de golf. Por lo que en esta tesis se ha encontrado los mismos resultados aceptables y óptimos para su reutilización en riego.

De acuerdo con Bohórquez, C. y Sarmiento D. (2017). Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia.

“Cuando se presenta alta acumulación de lodo puede influir de forma negativa en el funcionamiento correcto de está y ocasionando la disminución del flujo a través de la membrana.” Por lo tanto, en nuestra propuesta del sistema de Ultrafiltración incluimos en “backflush” o retro lavado y lavado químico para el mantenimiento de las membranas tubulares.

De acuerdo con Gamarra, R., (2015).de su tesis, Eficacia de la tecnología de membranas para convertir efluentes mineros, en aguas para riego, “En todos los casos se han considerado los valores establecidos para la categoría 3: riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo es decir

que después del tratamiento pueda ser utilizada para consumo humano.” Nuestra propuesta de sistema de membranas de ultrafiltración también puede ser aprovechada por cultivos de tallo alto y tallo bajo.

## Conclusiones

Las características de la ultrafiltración este sistema de trenes de permeado permite trabajar mayores caudales y mayores poblaciones siempre con un tratamiento primario con cámara de rejillas para eliminar sólidos en suspensión gruesos que dañen las membranas y estas serán:

- Módulos cuerpo tubular diámetros de 6 pulgadas 33 m<sup>2</sup> por módulo.
- 3 trenes de Membranas de Ultrafiltración de 4 módulos cada tren, total de 12 módulos.
- Bomba de impulsión de 900 watts de potencia, para un permeado de 102 LHM (litros de presión de membrana por metros cuadrado) de permeado. siendo un permeado por tren de 19 LHM.
- Para nuestros cálculos esto distribuido en tres trenes y cada tren con cuatro módulos de 1.80 metros de largo.
- Con una bomba de recirculación de lodos de rechazo de 1200 watts de potencia.
- Para el mantenimiento una bomba de 900 watts de potencia para el retro lavado cada 24 horas cuando se baja la permeabilidad de los módulos a 33 LHM total.
- Lavado químico con hipoclorito de cloro a 2000 ml. Cada 24 horas de operación.
- Las membranas están construidas con poros de 0.01µm, este material con ese diámetro de poro logra retener un 98% del DBO presente en el efluente y la totalidad de sólidos totales suspendidos.



- Pretratamiento de Cámara de rejillas, Desarenador y tratamiento primario de Tanque Imhoff.
- Se medirá la calidad del efluente teniendo como referencia el valor de 0.00E+00, para Coliformes termo tolerantes.
- La propuesta dejara los nutrientes como el Nitrógeno (N) 43% y el Fosforo(P) orgánico 24%, nutrientes tomando los valores bajos de presencia de nutrientes en aguas residuales.

## **CAPITULO V. RECOMENDACIONES**

Promover el uso de nuevas tecnologías con el apoyo del cálculo matemático y monitoreo de las aguas residuales para el tratamiento de aguas residuales, generar políticas que promuevan mejoras en la normativa que logre que el efluente sea considerado un recurso del cual se pueda aprovechar toda su potencialidad aprovechables para la agricultura así como en el sector energético, aprovechando los gases que también se generan y pueden ser recuperables haciendo sostenible en el tiempo este tratamiento de aguas residuales, transformando las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en Plantas de recuperación, transformación y comercialización de recursos (PRETC), que ayuden a bajar la presión por estrés hídrico del cambio climático a las cuencas y microcuencas de nuestro país.

## CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angarita, J., Rojas, B., (2019). *Evaluación de la viabilidad técnica y financiera de la aplicación de tecnologías de ultrafiltración para el reúso de aguas residual industrial en una empresa del sector alimenticio, mediante el uso de un piloto con membrana*. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá, Colombia.
- Arévalo V., (2011). *Aplicación de biorreactores de membrana al agua residual urbana: consideraciones para la modificación de los parámetros de proceso*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España.
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Calidad del Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Recuperado de: <http://www.dar.org.pe>.
- Bohórquez, C. y Sarmiento D., (2017). *Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia*. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Campos, B., (2014). *Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa variedad Huayro en la comunidad de Aramacha y (Valle del Mantaro)*. Tesis de Grado. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Clean Water Technology. (2017). *Como Hacer Una Planta de Tratamiento de Aguas (PTAR) Eficiente*. Recuperado de: <http://www.alapre.org/Downloads/>
- Corbatón, M., (2015). *Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas en la industria alimentaria por medio de técnicas no convencionales y caracterización del ensuciamiento de las membranas*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Damián, D., (2019). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de proceso de lavado de filtros de EPSEL S.A. Lambayeque para su aprovechamiento*. Tesis de Grado. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Lambayeque, Perú.
- Drews, A., (2010). *Membrane fouling in membrane bioreactors Characterisation, contradictions, cause and cures*. *Journal of Membrane Science*, (363), 1-28.
- Fernández, M., (2018). *Evaluación experimental y diseño preliminar de un módulo rotativo de membrana de fibra hueca para ultrafiltración de aguas residuales*. Tesis de Grado. Universidad de la Laguna, Tenerife, España.
- Fernández, S., (2015). *Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile*. Tesis de Grado. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

- Fletcher, H., Mackley, T. y Judd, S., (2007). The cost of a package plant membrane bioreactor. *Science Direct*, (41), 2627– 2635.
- Galán, P., (2016). *Evaluación de la Ultrafiltración Directa de agua residual doméstica por medio de un módulo rotativo de fibra hueca sumergido*. Tesis de Grado. Universidad de la Laguna. Tenerife, España.
- Gamarra, R., (2015). *Eficacia de la tecnología de membranas para convertir efluentes mineros, en aguas para riego*. Tesis de maestría. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- García, J., (2017). *Estudio de viabilidad técnica y económica de una instalación mixta, Membranas + SBR, para la eliminación de contaminantes emergentes de salida de EDARU (400.000 HE/día)*. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Valencia.
- González, N., (2019). *Evaluación del funcionamiento de un prototipo de airlift con diferentes tamaños de granulos de arena*. Tesis de grado. Universidad de las Américas de Puebla, Puebla, México.
- Instituto Científico del Agua. (2017). El Agua en el Perú: Situación y Perspectivas. Recuperado de: <https://ciga.pucp.edu.pe/publicaciones/el-agua-en-el-peru-situacion-y-perspectivas/>
- Iorhemen, O., Hamza, R. y Tay, J. (2016). Tecnología de biorreactor de membrana (MBR) para el tratamiento y la recuperación de aguas residuales: incrustaciones de membranas. *Membranas*, 6 (2), 33
- Judd S. (2011). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Oxford, Great Britain: Elsevier Ltd.
- Keerthi y Balasubramanian, N., (junio del 2014) Estrategias de mitigación y ensuciamiento en membrana, Biorreactores para el tratamiento de aguas residuales. *Revista de investigación de química y medio ambiente*. (6), p.84 – 93.
- Lara J., (2002). *Eliminación de Nutrientes Mediante procesos de membrana*. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Lorente, M., (2017). *Membranas cerámicas de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis Doctoral, Universidad Jaime I de Castello, Castellón, España.
- Mancipe Arias LM, Triviño Restrepo MP. (2018). *Valoración de lodos de plata de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiesel*. *revion.*;31(1):71-79. Recuperado: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018012>.

- Martínez, R., (2010). *Descontaminación de efluentes de la industria cervecera mediante el uso de membranas UF arrolladas en espiral como barrera de seguridad*. Tesis Doctoral. Universidad Católica de San Antonio. Murcia, España.
- Masoud, Z. (2014). *Design, Cost & Benefit Analysis of a Membrane Bioreactor*. Tesis de maestría, Politecnico di Milano, Milán, Italia.
- Mendes, L., (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, Alicante, España.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Guía N° 5: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero - Sector Desechos. Categoría: Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas. Recuperado de: [http://infocarbono.minam.gob.pe / infocarbono@minam.gob.pe](http://infocarbono.minam.gob.pe/infocarbono@minam.gob.pe)
- Olsson, G., Ahmad, N. S., Zainon, Z. N. y Hassan, M. A., Yuniarto, A. (2013). Membrane bioreactor: Applications and limitations in treating high strength industrial Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, (225), 109 – 119.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Recuperado de: [http:// www.oefa.gob.pe](http://www.oefa.gob.pe).
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (2017). Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe. Estado, Principios y Necesidades. Recuperado de: <http://www.fao.org/publications>.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Planificación de la seguridad del saneamiento: manual para el uso y la disposición seguros de aguas residuales, aguas grises y excretas. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/ssp-manual/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/es/)
- Palacios, H., Abraham, J., Hernández D., Romero, V. H., Florentina Zurita, F. y Coromoto B., (2017). *Sistemas de tratamiento de agua residuales por membranas*. *Innovación y desarrollo tecnológico*. (4), p. 195 – 200.
- Rodríguez, Diego J.; Serrano, Héctor Alexander; Delgado, Anna; Nolasco, Daniel y Saltiel, Gustavo. (2020): *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. Banco Mundial, Washington, DC
- Romero, J., (2010). *Control Avanzado en Procesos Industriales de Microfiltración y Ultrafiltración tangencial*. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

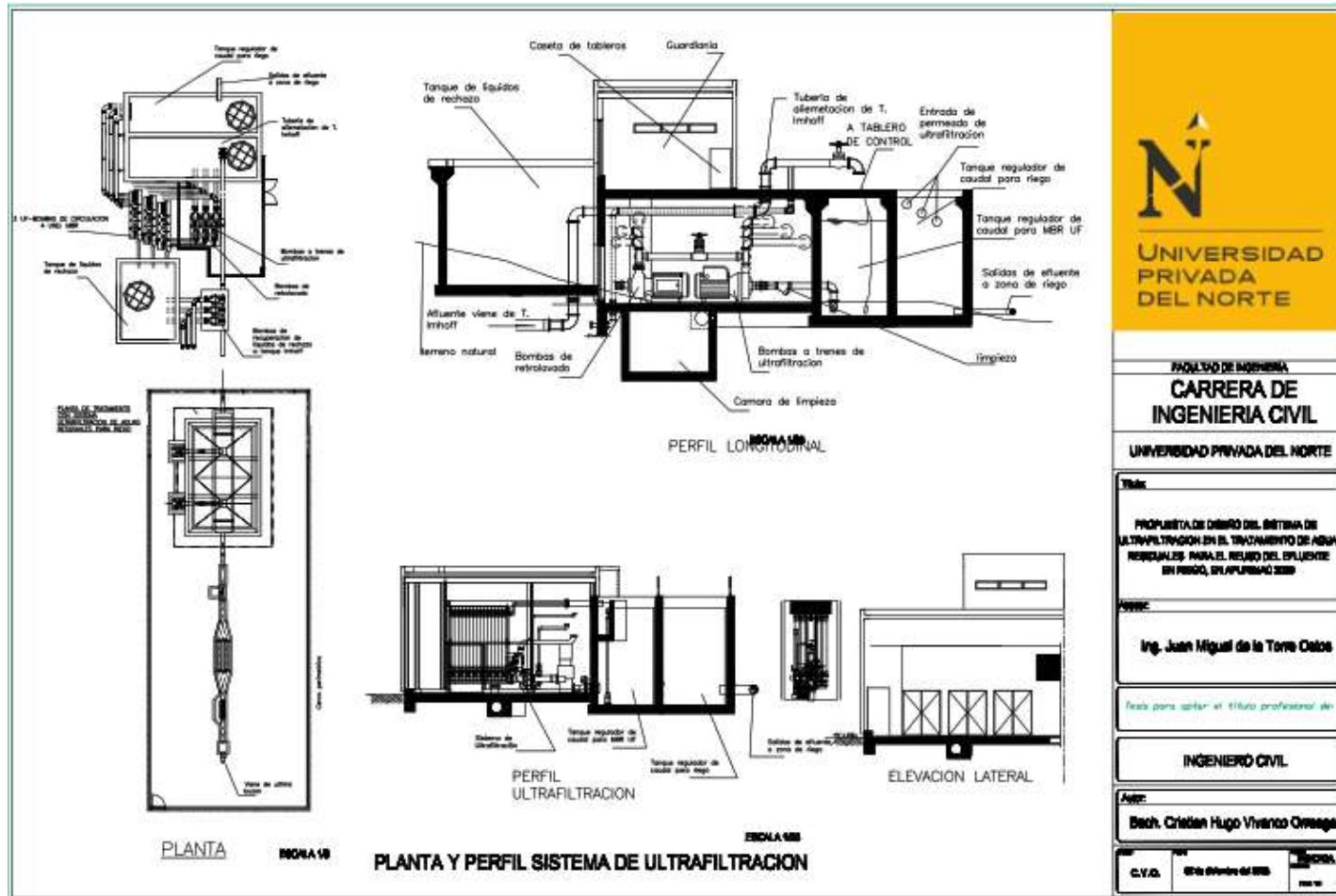
- Sánchez J., Mejía, A. y Amorocho, C., (24 de mayo del 2015). Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revisión. *Revista Ingeniería y Región*, (13) p. 57 - 71
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). Escenarios climáticos para el Perú en el año 2030. Recuperado de <http://www.senamhi.gob.pe>
- Solís C.A., Vélez C.A. y Ramírez-Navas J.S., (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería* (22), p.26 - 36
- Torre, A., (2018). *Diseño y análisis ambiental de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huaraz*. Tesis de Grado. Universidad Católica del Perú, Lima Perú.
- Tuset, S. (16 de abril 2019). Tratamiento de aguas residuales: tipos de membranas de filtración y posibles configuraciones [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://blog.condorchem.com/?s=TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES%3A+TIPOS+DE+MEMBRANAS+DE+FILTRACION%3A+Y+POSIBLES+CONFIGURACIONES>.
- Tutillo, H., (2012). *Investigación Básica para el Dimensionamiento de un Sistema de Tratamiento Aerobio de las Aguas Residuales Domesticas Del Recinto “El Prado” Parroquia Limonal Cantón Daule – Guayas*. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- World Health Organization. (2009). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39333>

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

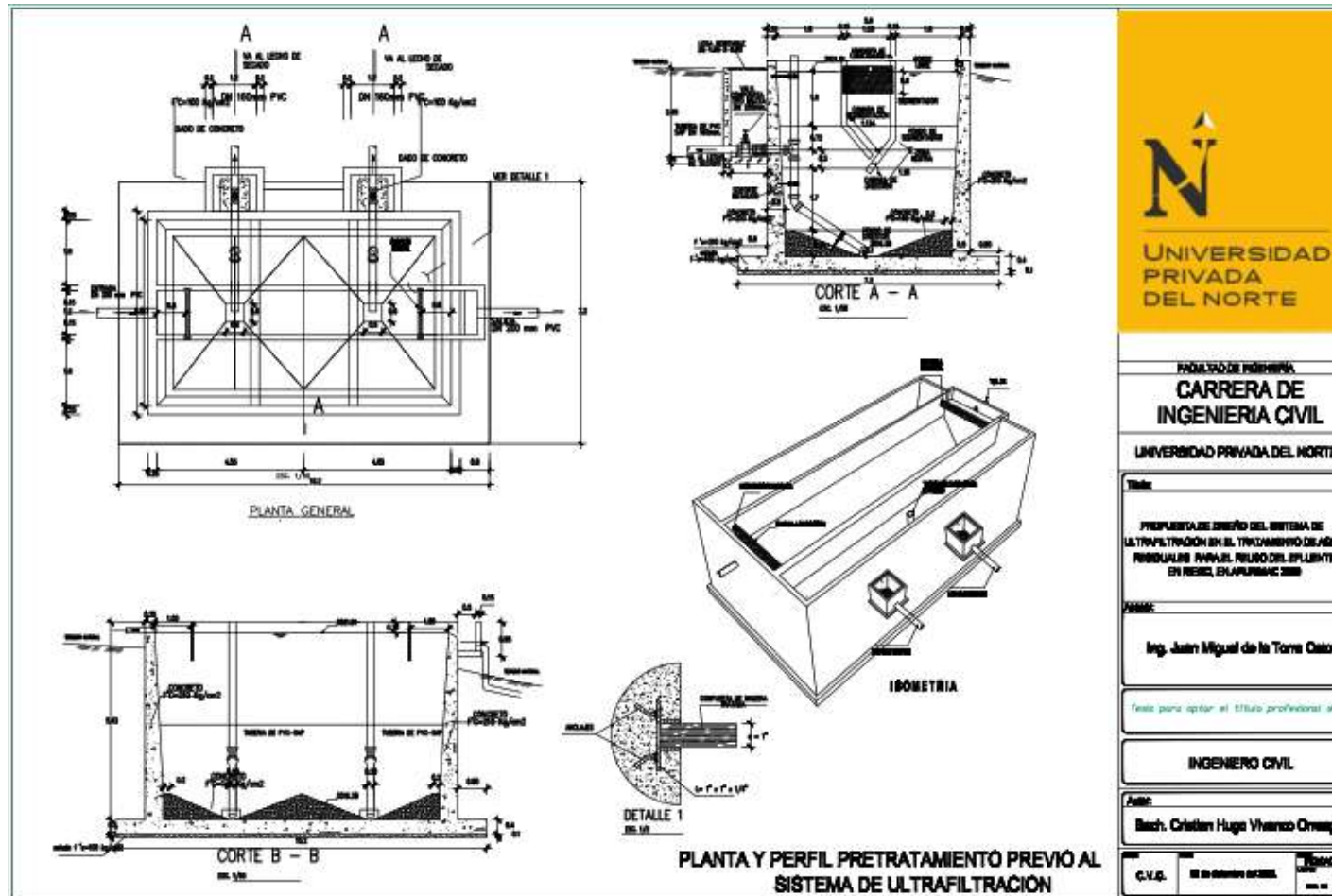
<b>PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL REUSO DEL EFLUENTE EN RIEGO, EN APURIMAC 2020</b>						
<b>Formulacion del problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipotesis</b>	<b>Variables</b>			<b>Diseño de la investigacion</b>
<b>Problema General:</b>	<b>Objetivo General:</b>	<b>Hipotesis general:</b>	<b>Variable dependiente:</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
¿De qué manera proponemos un diseño con ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego?	Proponer un diseño de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego.	El diseño con ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales logra obtener un efluente de calidad con fines de riego.	Diseño del sistema de ultrafiltración para tratamiento de aguas residuales.	Unidades de Trenes con modulos de ultrafiltracion Unidades de bombas de impulsión de permeado Unidades de bombas de retrolavado	Metros cuadrados de modulos de ultrafiltracion kWh de bombas de impulsión de permeado kWh de bombas de retrolavado	TIPO: aplicada por el propósito y es cuasi experimental por el tratamiento de la variable, será desarrollada de forma descriptiva.
<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos específicos:</b>	<b>Hipótesis específicos:</b>	<b>Variable independiente:</b>	DBO mg/l	mg/l de eliminacion de DBO	
<b>Problema específico 1.-</b> ¿Cuáles son las características de diseño con ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales para obtener un efluente de calidad con fines de riego?	<b>Objetivo específico 1</b> Obtener las características de diseño con ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales para un efluente de calidad con fines de riego.	<b>Hipótesis Especifica 1</b> Las características del sistema de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales se determinarán con el uso de membranas.	El reusó del efluente de aguas residuales.	Bacteria E. Coli nmp/100ml presente en el agua Huevos de Helminto nmp/100ml presentes en el agua	nmp/100ml de eliminacion de Bacteria E. Coli nmp/100ml eliminacion de Huevos de Helminto	
<b>Problema específico 2.-</b> ¿De qué manera el sistema de ultrafiltración en el tratamiento de aguas residuales nos permite obtener un efluente de calidad con fines de riego?	<b>Objetivo específico 2</b> Obtener un efluente de calidad con fines de riego producto del tratamiento de aguas residuales con ultrafiltración.	<b>Hipótesis Especifica 2</b> Existen parámetros, que debe de cumplir un efluente en el tratamiento de aguas residuales para que sea considerada de calidad con fines de riego y que se alcanzaran con el diseño de la propuesta de un sistema de ultrafiltración.				

**ANEXO 2 PLANO DEL PERFIL DEL SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION**



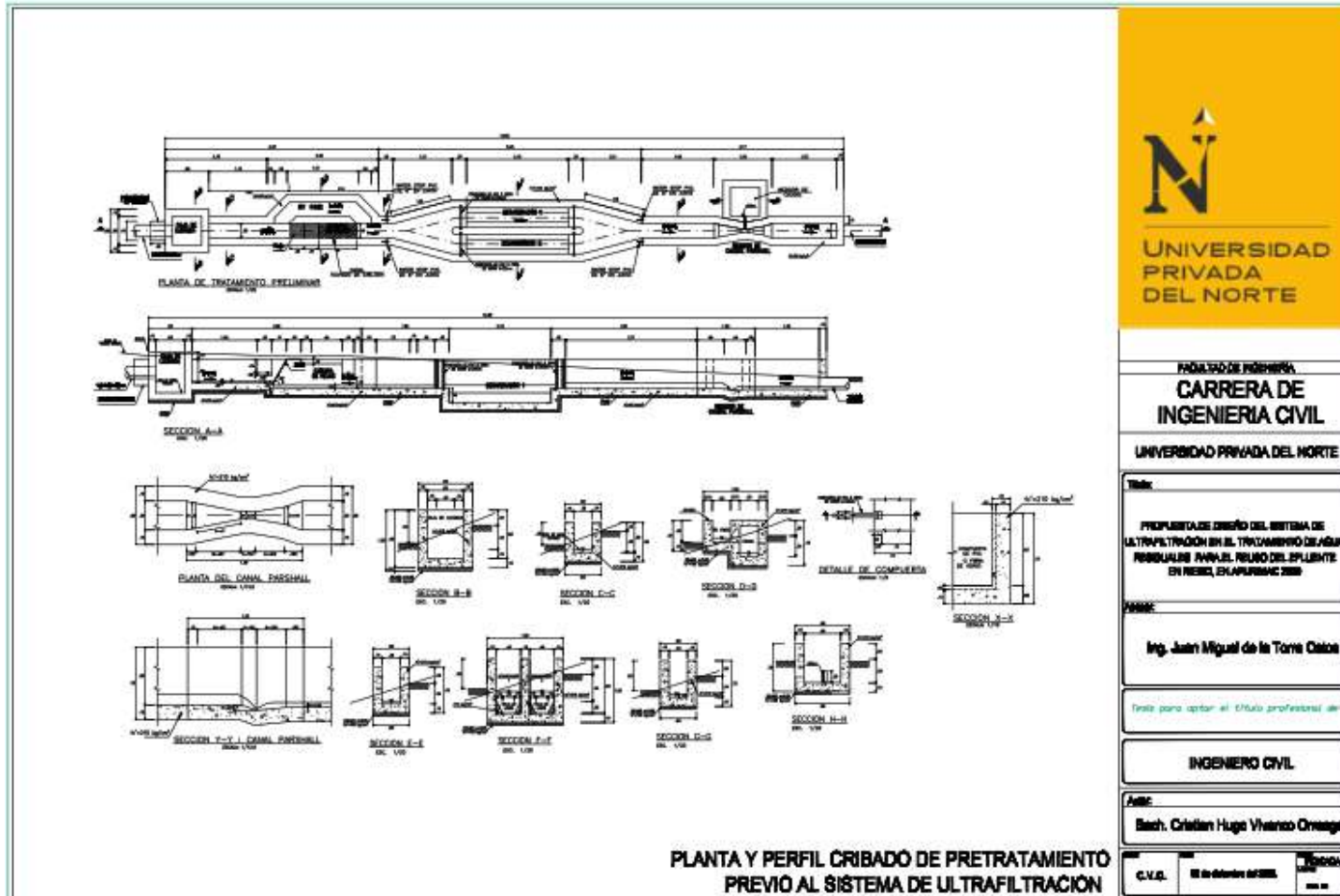


**ANEXO 3 PLANO DE PLANTA Y PERFIL DEL PRETRATAMIENTO AL SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION**

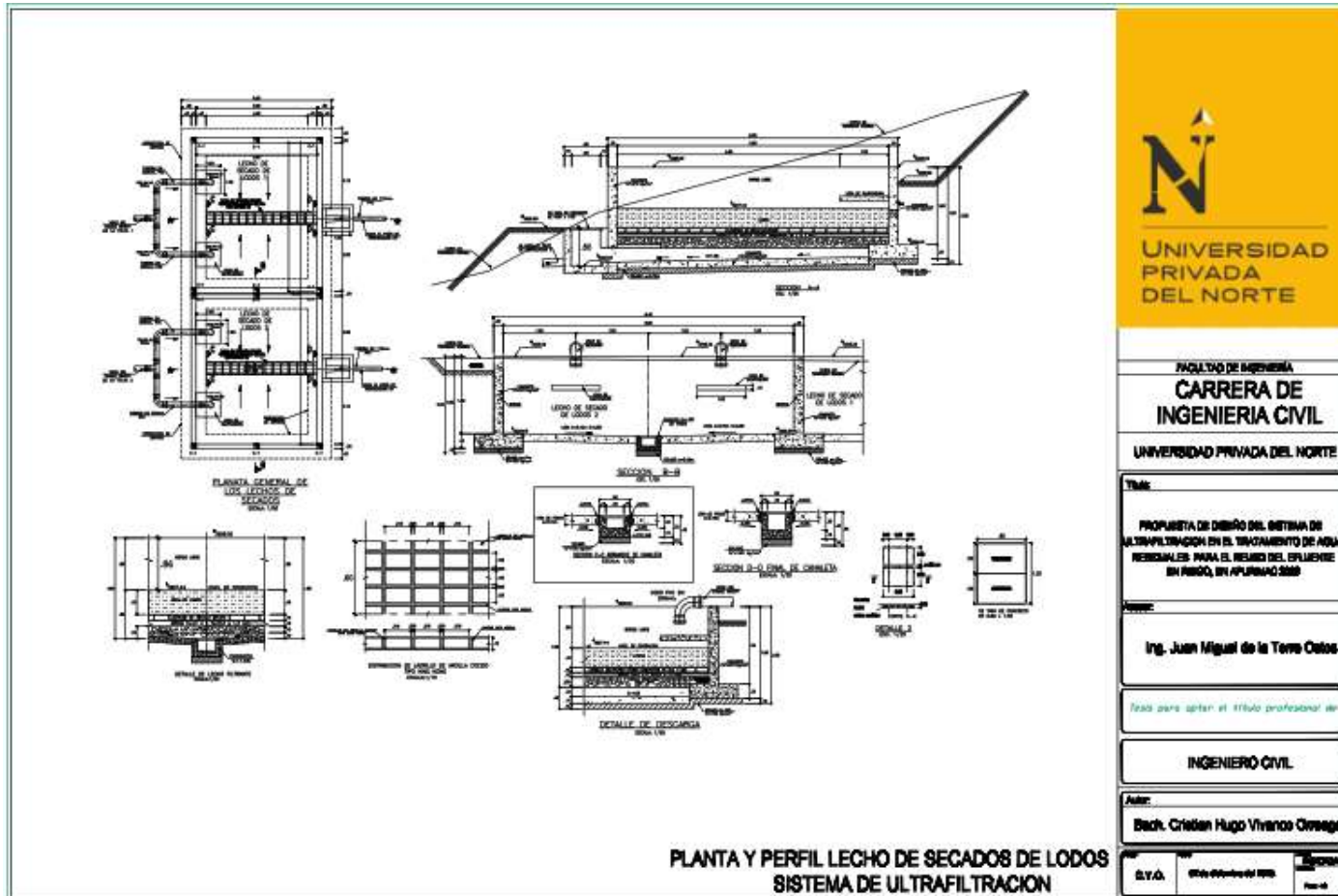


FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
Título:	
PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ULTRAFILTRACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL REÚSO DEL EFLUENTE EN RIEGO, EN APURÍMAC 2020	
Autor:	
Ing. Juan Miguel de la Torre Castro	
Fecha para optar al título profesional del:	
INGENIERO CIVIL	
Asesor:	
Bach. Cristian Hugo Vivanco Orreaga	
C.V.G.	El 20 de febrero del 2020.
FECHA	2020

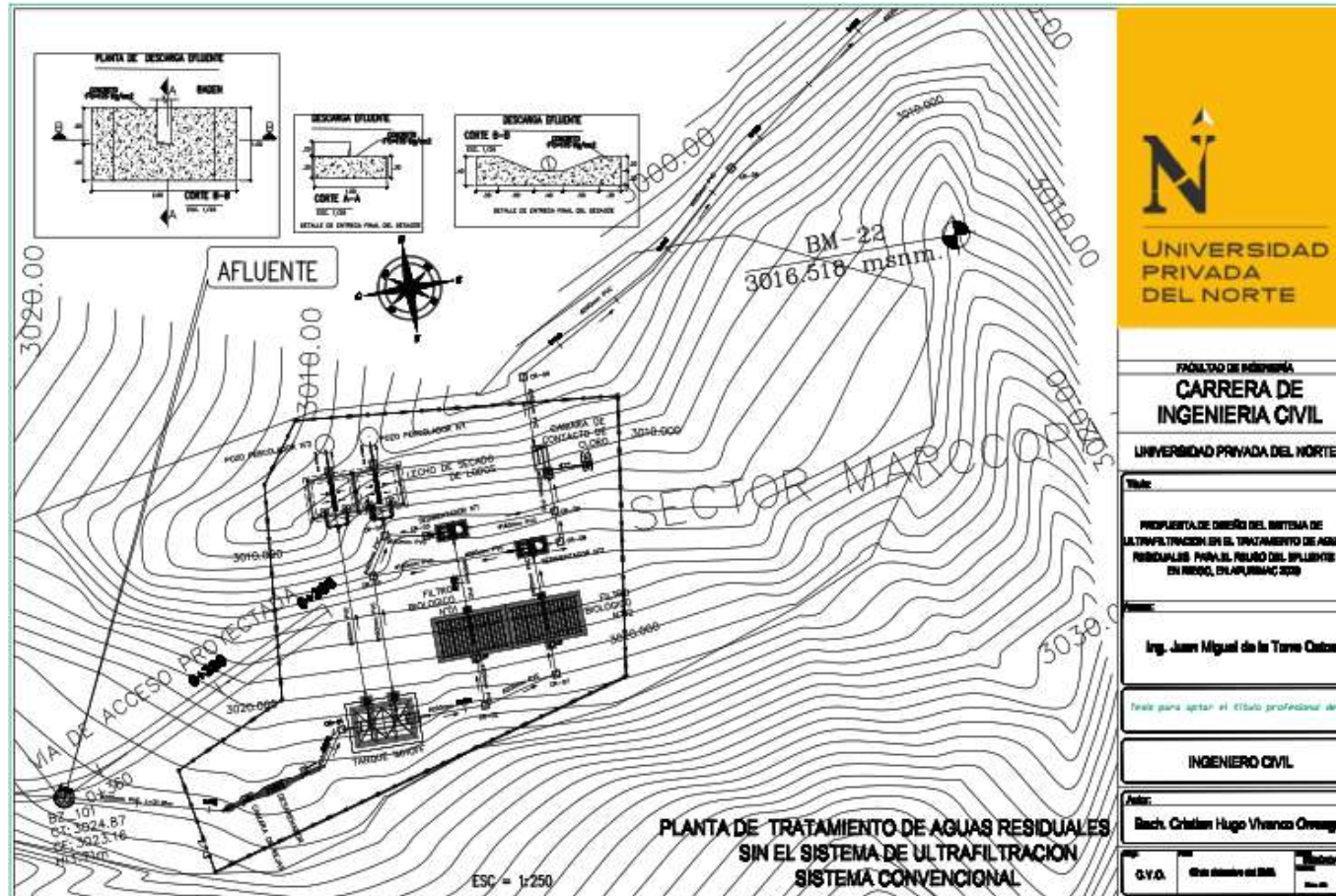
**ANEXO 4 PLANO DE PLANTA Y PERFIL DEL CRIBADO AL SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION**



**ANEXO 5 PLANO DE PLANTA Y PERFIL DEL LECHO DE SECADO SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION**

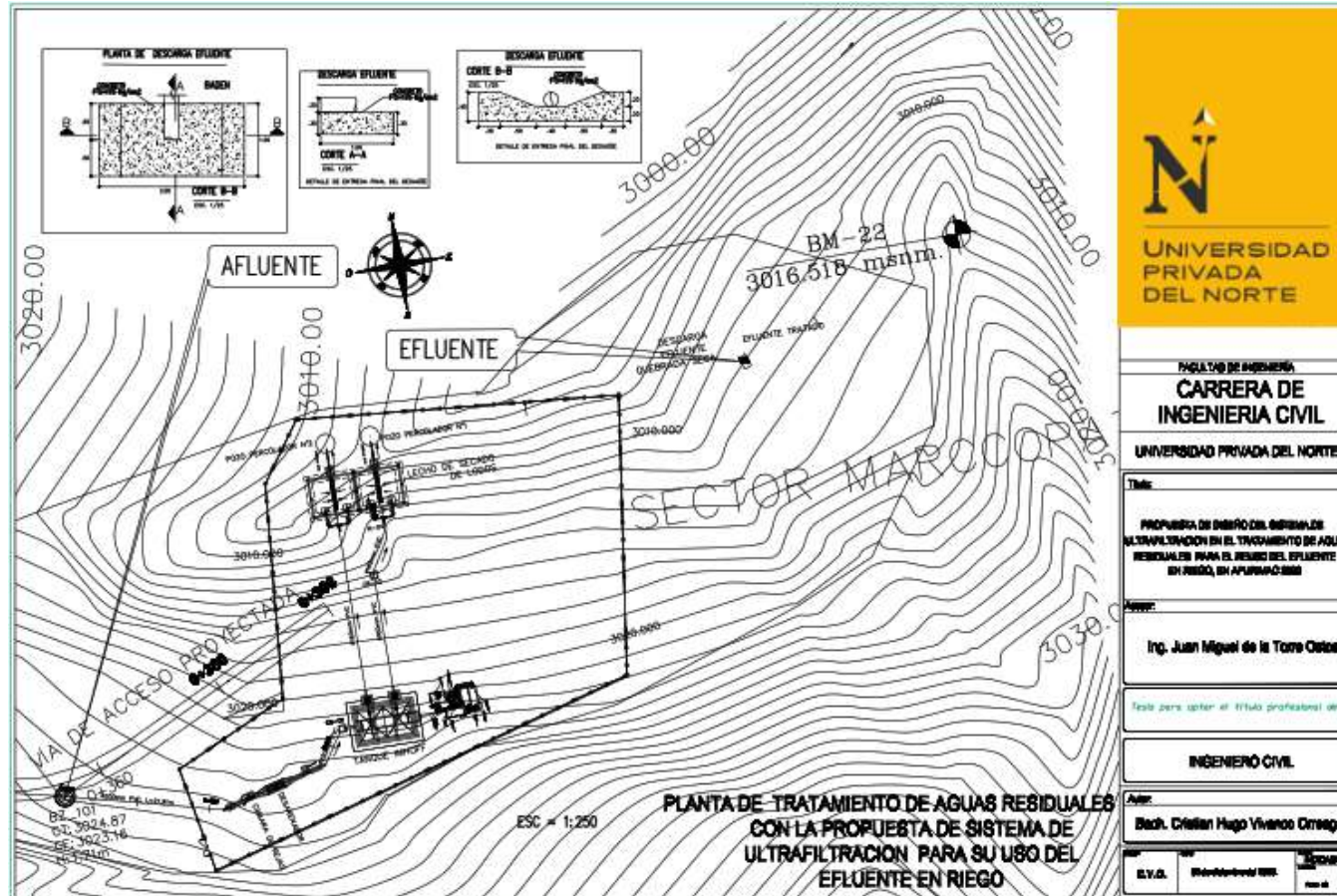


## ANEXO 6 PLANO DE PLANTA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SIN EL SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION





## ANEXO 7 PLANO DE PLANTA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON EL SISTEMA DE LA PROPUESTA DE ULTRAFILTRACION



## ANEXO 8

### MODULO DE MEMBRANA PROPUESTA POR EL PROGRAMA WAVE



Product Data Sheet

#### DuPont Ultrafiltration Modules

Model SFP-2660 and SFD-2660

#### Description

The DuPont ultrafiltration (UF) modules are made from high strength, hollow fiber membranes that have excellent features and benefits:

- 0.03  $\mu\text{m}$  nominal pore diameter for removal of bacteria, viruses, and particulates including colloids to protect downstream processes, such as RO
- PVDF polymeric hollow fibers for high strength and chemical resistance allows longer membrane life
- Hydrophilic PVDF fibers for easy cleaning and wettability that help maintain long term performance
- Outside in flow configuration for high tolerance to feed solids that helps reduce the need for pretreatment processes
- U-PVC housing, helping to eliminate the need for costly pressure vessels



This module is an ideal choice for systems capacities of 50 m<sup>3</sup>/hr (220 gpm) or less. The shorter, 60 inch length module offers higher efficiencies over a wider range of feed water conditions compared to longer length modules. The smaller, 6 inch diameter module allows a more compact design for space constrained installations.

DuPont Ultrafiltration Modules can be used for a wide variety of treatment applications such as surface water, seawater, industrial wastewaters, and secondary effluent wastewater.

#### Typical Properties

Model	Type	Part #	Membrane area		Module volume		Weight (empty/ water filled)	
			m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	liters	gallons	kg	lbs
SFP-2660	Pretreatment	280931	33	355	16	4.2	25/41	55/90
SFD-2660	NSF/ANSI 61 Drinking water	324166	33	355	16	4.2	25/41	55/90

## ANEXO 9

### TREN DE 4 MODULOS DE MEMBRANA EN LA PROPUESTA



## ANEXO 10 MEMORIA DEL PROGRAMA WAVE



### UF – Información general:



### Resumen del sistema de UF

Tipo de módulo	Ultrafiltración UF-2600	
Trenes	En línea = 3	En reserva = 0
		Secundaria = 0
# Módulos	Por tren = 4	Total = 12
Caudal del sistema (m³/d)	Alim. promedio = 200,7	Filtrado neto = 174,5
Caudal por tren (m³/d)	Alim. promedio = 66,9	Filtrado neto = 58,2
Conversion (sistema) (%)	94,7%	
TMP (psi)	3,06 @ 13,0 °C	
Agua de lavado	Enjague: Agua pretratada	Backwash: Agua ultrafiltrada
	Origen agua CDS: Agua ultrafiltrada	Origen agua CIP: Agua ultrafiltrada

### UF Condiciones operación

	Duración	Intervalo	Flujo o Caudal
Filtración	20,0 min	23,7 min	-
Instantáneas			
3 Trenes en Operación			30 L/MH
3 Número total trenes			30 L/MH
Promedio			30 L/MH
Neto			12 L/MH
Controlado	3,7 min	23,7 min	102 L/MH
CDS ácido	10,4 min	24 h	80 L/MH
CDS anabio	10,4 min	2 h	80 L/MH
CIP	138,4 min	30 d	18,00 m³/d

### Calidad del agua de UF

Nombre de la corriente	UF T. 3600UF	
Tipo de agua	Agua residual (2,0 - 20,0 °C)	
	Alimentación	Calidad esperada del agua ultrafiltrada
Temperatura (°C)	13,0	13,0
Turbidez (NTU)	2,0	< 0,1
TSS (mg/l)	1000,0	-
pH	7,0	7,0

## ANEXO 11



## PRESUPUESTO SISTEMA DE ULTRAFILTRACION

---

**Presupuesto: TRATAMIENTO TERCARIO ULTRAFILTRACION (20.05.20)**

---

**CODIGO**

	<b>RESUMEN</b>	
1	OBRA CIVIL	49,371.05
2	EQUIPOS	350,944.30
3	MOVIMIENTO DE TIERRAS	18,170.00
4	SEGURIDAD Y SALUD	4,917.87
	<b>TOTAL, PRESUPUESTO EJECUCION</b>	<b>423,403.22</b>
	<b>GASTOS GENERALES (10%)</b>	42,340.32
	<b>UTILIDAD (8%)</b>	33,872.26
	<b>I.G.V. (18%)</b>	89,930.84
	<b>TOTAL, EUROS</b>	<b>589,546.64</b>
	<b>TOTAL, MONEDA NACIONAL SOLES</b>	<b>2,523,259.64</b>

---