



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“APLICACIÓN DEL PROGRAMA VONTRON PARA  
LA SIMULACION DE LA DESALINIZACION DE  
AGUA SALOBRE MEDIANTE OSMOSIS INVERSA  
PARA LA OBTENCION DE AGUA POTABLE”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Autores:**

Jose Briones Chumbiauca

Andrea Saucedo Murguia

**Asesor:**

Mg. Ing. Elifio Gustavo Castillo Gomero

<https://orcid.org/0000-0002-5474545X>

Lima - Perú

**2022**

### **JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Margeo Javier Chuman Lopez	<b>45997406</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Leonidas Fernando Contreras Blanco	<b>06122272</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Marieta Eliana Cervantes Peralta	<b>29425048</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## **DEDICATORIA**

Dedicado a todos nuestros seres queridos que ya no nos acompañan el día de hoy y no pueden compartir nuestros logros.

Dedicado para nuestra familia, quienes siempre confiaron en nosotros y depositan su total confianza.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres por el apoyo que nos dieron durante todos estos años, en los momentos difíciles siempre nos alentaron a culminar victoriosamente la carrera como  
  
Ingeniero Ambiental.

A nuestro profesor Juan Medina por el acompañamiento y su ayuda a lo largo de toda nuestra investigación, y a nuestro asesor el Ing. Gustavo castillo por la amabilidad y compromiso para culminar victoriosos.

Y a todas las personas que hicieron posible este proyecto de investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>57</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>58</b>
<b>1.4. Hipótesis</b>	<b>58</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	60
CAPÍTULO III: RESULTADOS	82
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	102
REFERENCIAS	105
ANEXOS	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales iones mayoritarios y minoritarios presentes en el agua con alto contenido de sales.....	25
Tabla 2: Clasificación del agua según la cantidad de CE y de SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS  .....	27
Tabla 3: Clasificación de alcalinidad.....	28
Tabla 4: Procesos de Desalinización .....	31
Tabla 5: Salinidad de diferentes tipos de agua .....	32
Tabla 6: Costos de producción y consumos energéticos .....	32
Tabla 7: Operaciones básicas de membrana.....	36
Tabla 8: Serie LP .....	47
Tabla 9: Serie SW.....	47
Tabla 10: Especificaciones y principales propiedades .....	49
Tabla 11: Especificaciones y principales propiedades .....	51
Tabla 12: Niveles de experimentación .....	74
Tabla 13: Matriz de experiencias.....	74
Tabla 14: Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro.....	80
Tabla 15: Análisis de Varianza (ANOVA) para flujo de alimentación.....	83
Tabla 16: Análisis de Varianza (ANOVA) para flujo de concentrado.....	86
Tabla 17: Análisis de Varianza (ANOVA) para presión de alimentación. ....	89
Tabla 18: Análisis de Varianza (ANOVA) para presión de concentrado.....	92
Tabla 19: Análisis de Varianza (ANOVA) para energía específica.....	95
Tabla 20: Análisis de Varianza (ANOVA) para SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Permeado. ....	98
Tabla 21: Resultados de parámetros fisicoquímicos .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los Solidos totales.....	23
Figura 2: a) Variación de las especies iónicas en función del pH y b) fases en la titulación del agua para determinar la alcalinidad. ....	28
Figura 3: Esquema general de proceso de salinización .....	31
Figura 4: Principio de una operación de membrana. ....	34
Figura 5: Diagrama de rechazos típicos para diversas membranas de filtración.....	36
Figura 6: Proceso de osmosis .....	37
Figura 7: Proceso de osmosis Inversa.....	38
Figura 8: Clasificación de la calidad del agua respecto a su contenido salino .....	42
Figura 9: Nomenclatura de los elementos de las membranas industriales .....	46
Figura 10: Selección de los elementos de la membrana en función de la salinidad del agua de alimentación.....	48
Figura 11: Diagrama de selección de los elementos de la membrana .....	48
Figura 12: Dimensiones de la membrana .....	50
Figura 13: Dimensiones de la membrana .....	53
Figura 14: Interface del software VONTRON – valores de entrada características del agua de alimentación- ANALISIS DE AGUA .....	54
Figura 15: Interface del software VONTRON– valores de entrada de los parámetros de diseño. ....	55
Figura 16: Paso 1. Realizamos el acondicionamiento del lugar para un adecuado muestreo.....	61
Figura 17: Paso 2: A continuación, se procedió a realizar la limpieza del envase donde se dispondrá la muestra de agua.....	61
Figura 18: Paso 3: Posteriormente, se continúa con el análisis de los parámetros insitu PH, Temperatura y Conductividad en ese orden.....	62

Figura 19: Paso 4: A continuación, se realiza el trasvase de la muestra a los diferentes frascos con su etiquetado correspondiente de nombre de punto de muestreo, hora, fecha y parámetro de análisis. ....	62
Figura 20: Paso 5 Asimismo, se realiza la preservación de la muestra, con su respectivo preservante según corresponda el parámetro de análisis. ....	63
Figura 21: Paso 6: Finalmente se realiza la conservación de la muestra en el envase adecuado (cooler) el cual hará uso, de mantener la muestra en la condiciones adecuadas para llevarlas al laboratorio para su posterior análisis.....	63
Figura 22: Introducción de datos en el software VONTRON .....	65
Figura 23: Ventana de escala de información en el software VONTRON (desarrollo).....	66
Figura 24: Ventana de diseño de sistema en el software VONTRON (desarrollo).....	67
Figura 25: Guia de diseño de parámetros .....	68
Figura 26: Numero de membranas de elementos en serie vs Velocidad máxima de recuperación del sistema .....	70
Figura 27: Coeficiente de ensuciamiento .....	71
Figura 28: Rango de tasa de recuperación.....	71
Figura 29: Hoja de resultados de software Vontron .....	72
Figura 30: Diagrama de procesos con variables .....	73
Figura 31: Diagrama del proceso de simulación con software de osmosis inversa con las variables.....	74
Figura 32: Diagrama de Pareto Flujo de alimentación .....	84
Figura 33: Diagrama de Pareto Flujo de concentrado .....	87
Figura 34: Diagrama de Pareto Presión de alimentación .....	90
Figura 35: Diagrama de Pareto Presión de concentrado.....	93
Figura 36: Diagrama de Pareto Energía específica .....	96
Figura 37: Diagrama de Pareto TDS Permeado .....	99

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfica de probabilidad normal de variables respuestas .....	82
Gráfico 2: Gráfica de efectos principales para flujo de alimentación .....	85
Gráfico 3: Gráfica de contorno de Flujo de alimentación vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm) .....	85
Gráfico 4: Gráfica de efectos principales para flujo de concentrado .....	87
Gráfico 5: Gráfica de contorno de Flujo de concentrado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm) .....	88
Gráfico 6: Gráfica de efectos principales para presión de alimentación .....	90
Gráfico 7: Gráfica de contorno de Presión de alimentación vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm) .....	91
Gráfico 8: Gráfica de efectos principales para presión de concentrado .....	93
Gráfico 9: Gráfica de contorno de la Presión de concentrado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm) .....	94
Gráfico 10: Gráfica de efectos principales para energía específica.....	96
Gráfico 11: Gráfica de contorno de la Energía específica vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm) .....	97
Gráfico 12: Gráfica de efectos principales para TDS permeado.....	99
Gráfico 13: Gráfica de contorno de la el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm).....	100

## RESUMEN

El objetivo fue simular con el software Vontron la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para obtener agua potable. Se usó una muestra de agua salobre de un pozo en Lurín, considerando parámetros de campo, enviándose las demás muestras al laboratorio para analizarlas con los parámetros de concentraciones de cloruros, nitratos, sulfato y metales totales y con el informe emitido se pasó a la siguiente etapa. Se ingresaron los datos al programa VONTRON para la simulación, se consideraron parámetros de operación y diseño, se hizo una simulación de diseño de sistema de osmosis inversa para obtener agua potable. Se realizó una matriz de experimentos con los parámetros de operación obteniéndose variables respuestas: flujo de alimentación, flujo de concentrado, presión de alimentación, presión de concentrado, energía específica y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Permeado (Solidos Totales disueltos), extraídos de las hojas de resultados del software para ingresar los parámetros de operación y diseño. También se usó el software Minitab 19, ingresando los datos de las hojas de resultados del software Vontron dándose diferentes combinaciones de tratamientos con tablas y gráficas para determinar el mejor tratamiento para diseñar un sistema de osmosis inversa, resultando favorable los parámetros de operación Ni 1, con ellos se podrá diseñar una planta de osmosis inversa y obtener agua potable eficientemente con datos reales según nuestro software comparándolo con el reglamento de calidad del agua.

**PALABRAS CLAVES:** Software, agua potable, osmosis inversa, desalinización.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

“No dejar a nadie atrás” así título su Informe Mundial Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el año 2019, basado en el sexto compromiso de los diecisiete de la Agenda 2030 celebrada en el año 2015. Para Hounbo (2019), la edición 2019 del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos demuestra que mejorar la gestión de estos recursos y el acceso al agua potable y el saneamiento seguros y asequibles para todos contribuye a los objetivos que sustentan la Agenda 2030. Y es para recalcar, nuestro mayor recurso natural es esencial para erradicar la pobreza, cimentar poblaciones pacíficas y eco amigables, con el fin de eliminar las desigualdades, (Azoulay, 2019): Es mucho lo que hay en juego: casi un tercio de la población mundial no tiene acceso a servicios de agua potable administrados de manera segura, es decir, que solo dos tercios de la población mundial tiene acceso a estos servicios.

No obstante, cabe recordar que el recurso hídrico contiene diferentes clasificaciones y una de ellas es el agua dulce capaz de convertirse ser agua potable en base a unos procesos químicos, biológicos o físicos, pero escasa a la vez y año tras año su necesidad aumenta y a la vez aumenta su escasez. Para Azoulay (2021), en la actualidad, más de 2 mil millones de personas viven en zonas que sufren estrés hídrico. Cerca de 3.4 mil millones de personas, es decir el 45% de la población mundial, carecen de acceso a instalaciones de saneamiento seguras.

Pérez (2017), afirma que, “El agua es un bien de primera necesidad que debe contar con exigencias de calidad, control sanitario, universalidad y continuidad en el suministro y

control sanitario, ya que es un bien renovable, único e irremplazable entre nuestros recursos naturales”. (p. 5)

De una forma aproximada en nuestra sociedad, “consumimos esta agua potable en cantidades de 250 litros por persona y día” según Sánchez (2017), variando estos datos en función a la tipología edificatoria, zona geográfica, nivel adquisitivo, etc. De esta cantidad, una pequeña parte es destinada realmente al consumo humano, pero esta no suele ser superior a los 10-15 litros, es decir, menos del 10%. Debido a que los suministros de agua dulce son el elemento esencial que permite la supervivencia y el desarrollo, se está optando por el agua salobre, que es menos salada que el agua de mar, requiere menos tratamiento para ser utilizada como agua potable. Si bien puede usarse para el riego en algunas partes del mundo, la mayoría de las industrias no pueden usarlo porque daña el equipo y no es apto para el consumo humano o el ganado. Pero a medida que el costo de la desalinización ha disminuido y los recursos de agua dulce se han agotado de manera radical, muchos tomadores de decisiones están dando una segunda mirada a la desalinización del agua salobre. Después de todo, el agua salobre es significativamente más fácil de desalinizar que el agua de mar.

La realidad nacional peruana no es ajena a la realidad mundial, a pesar de ser el octavo país con mayor disponibilidad hídrica en el mundo según la (Comision Preparatoria para el VII Foro Mundial del Agua), sin embargo, cuenta con una irregular distribución temporal y espacial del recurso agua. El 98% de la producción hídrica se presenta en la región amazónica y apenas el 1,8% en la Región Hidrográfica del Pacífico, constituyendo una de las mayores dificultades del país, reconociendo que el 53% de la población nacional habita en la zona costera. El 2,5% del agua es agua dulce y consumible por el ser humano.

Y el 23,8% de los hogares peruanos consumen agua proveniente de camión de cisterna, pozo o agua de río (INEI, 2020). Debido a que el agua salobre puede tratarse para proporcionar una fuente de agua potable confiable, más empresas y comunidades están investigando la desalinización de agua salobre como un medio práctico para evitar la escasez de agua.

La desalinización es un proceso que permite obtener agua potable a partir de agua con alta salinidad. Para llevar a cabo este proceso existen diversas tecnologías las cuales varían en costos, impacto ambiental, calidad del producto, energía consumida, entre otras más. Sin embargo, todas tienen el mismo objetivo: reducir la concentración de sales disueltas del agua salobre o marina, al grado de producir agua destilada o desionizada.

La investigación titulada “Propuesta de uso de agua desalinizada de mar para el procesamiento de Harina y Aceite de Pescado en la provincia de Ilo – Región de Moquegua” publicado por Peña (2017), de la Universidad Católica de San Pablo, sostiene que la presente investigación se analizó los procedimientos de desalinización actuales de agua de mar, en el cual se mencionaron diversos métodos de desalinización y estos se diferencian por costos, impacto ambiental, calidad del producto y energía consumida. Se tomó mayor importancia al método de desalinización de ósmosis inversa; por ser el que brinda mayores niveles de recuperación de agua. Lo mencionado nos permite analizar el procedimiento de desalinización actual de agua de mar, determinando los pros y contra, los beneficios e implicancias sociales, de esta investigación saco la mayor parte de mis bases teóricas ya que tenemos palabras claves en su marco conceptual tales como: desalinización y osmosis inversa.

La tesis titulada “Desalinización de agua marina simulando un sistema de osmosis

inversa con el software reverse osmosis system analysis (R.O.S.A)” publicada por Calvo (2016) en la Universidad Nacional tecnológica de Lima Sur; manifiesta que el proyecto formulado por medio del software R.O.S.A. brindo un sistema óptimo para poder desalinizar el agua de mar, teniendo como condiciones un precio accesible para el distrito, ligado a un tiempo de vida útil de 10 años teniendo como referencia que el proyecto trabaje las 24 horas del día sin descanso. Al llevar a cabo el proceso de osmosis inversa, la concentración o proporción de los diferentes sales y/o iones disminuye considerablemente, los cuales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, dicho valor se aprecia en la entrada de concentración de sales con un valor de 34089.39 mg/l , y luego a la salida del filtrado con un valor de 463.78 mg/l lo que equivale a un porcentaje de reducción del 98,63%, así como el valor del pH, que también se encuentra dentro de los límites máximos permisibles. Esta información es muy relevante ya que contiene información importante en la metodología y bases teóricas para mi investigación de desalar agua y convertirla en agua para consumo humano.

La investigación titulada “Evaluación de los factores de operación de membrana nanofiltración en la desalinización de agua salobre” publicado por Medina (2019,) en la Universidad Nacional del Callao, menciona que , La nanofiltración es una tecnología emergente para la desalinización de baja energía, en el estudio experimental se ha evaluado los parámetros de operación de un módulo de nanofiltración, presión (60, 100 psi), conductividad (3,4 -6,01 ms) mediante un diseño experimenta factorial, como fuente de alimentación y temperatura (20, 28°C) se investigó utilizando agua salobre típica del distrito de Lurín, Lima -Perú. Su efecto fue analizado respecto a la conductividad, sólidos totales disueltos, flujo de permeado, rechazo, porcentaje de rechazo. Los resultados más adecuados obtenidos de los parámetros y operación son presión de 100 psi, conductividad

de alimentación de a y temperatura de 28 °C alcanzado un porcentaje de desalinización de 31,7 % y 80% de recuperación de flujo, la idoneidad como agua potable se verificó comparando con los estándares de calidad del agua, nos indica que no cumplen los estándares de calidad de acuerdo a la norma de nuestro país.

Existen varios métodos para permitir que las sustancias penetren más fácil una membrana; entre ellas están la alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración a ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico.

La tesis titulada “Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable” publicado por Guadalupe (2018), en Centro de Investigaciones en óptica, menciona que se estudió el sistema de desalinización basado en una membrana de Ósmosis Inversa Fotovoltaica (RO-PV, por siglas en inglés), el trabajo experimental exploró el efecto de la concentración de sales minerales del influente y la radiación solar sobre la producción de permeado, el consumo de energía, la tasa de recuperación y la calidad del producto permeado; se utilizara variables de interés donde se explicara las principales variables y parámetros que afectan al funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa, y particularmente, a todos aquellos que se utilizan en el programa Vontron. Esta información nos revela que las membranas de O.I son eficaces y reducen en gran medida las altas concentraciones de iones, aniones y cationes.

El documento técnico titulado “Desalación de agua de mar mediante sistema osmosis inversa y energía fotovoltaica para provisión de agua potable en Islas Damas, Región Coquimbo” publicado por UNESCO (2013) publicado por el programa hidrológico internacional de la UNESCO para América Latina y el caribe (PHI-LAC), afirma que, el proyecto incluyó todos los pasos necesarios desde el desarrollo de la idea de una solución

de obtención de agua potable con energía renovable, la obtención de los permisos ambientales, y la implementación en terreno de las obras de los sistemas: fotovoltaico, destinado a la generación de energía para el proceso de desalación por osmosis inversa, de succión de agua de mar, y de osmosis inversa, consistente en una planta desaladora de capacidad de producción de 1 m<sup>3</sup>/día. Dando como conclusión que este documento se convierte en una guía que describe las principales etapas y actividades realizadas en el proyecto, asociadas a la solución técnica de aprovisionamiento de agua; la gestión de un proyecto, la capacitación y difusión realizada al personal del territorio, la evaluación de la experiencia piloto, además de antecedentes de las tecnologías aplicadas, tanto de osmosis inversa como de energía fotovoltaica.

El artículo titulado "Diseño y optimización de plantas desaladoras de agua de mar por ósmosis inversa utilizando software de simulación especial" publicada por Verhuelsonk, Attenborough, Lex, & Altmann, (2009), publicado por ELSEVIER, sostiene que en base a el software de entorno de simulación de procesos integrados (IPSEpro) y su aplicación para la desalación por osmosis inversa. Le enseña al lector los conceptos básicos de modelado y como las unidades de proceso individuales pueden ser simplemente simulado con una interfaz gráfica de estilo de diagrama de flujo. El artículo describe un ejemplo de simulación para el diseño externo de una bomba integrada, bastidor de membrana y dispositivo de recuperación de energía isobárica, investigando los efectos de cambiar la calidad del agua, el estado de la membrana y también, la influencia del sobrelavado del dispositivo de recuperación de energía isobárica. IPSE proporciona una plataforma de software integrada en la que la clave se puede simular procesos de desalación. Los estudios de caso demuestran que el modelo de proceso integrado se puede utilizar para varios análisis definidos por el usuario. Los cálculos pueden ser se llevó a cabo muy

rápidamente, incluso para los casos que requerirían un enfoque iterativo si los métodos convencionales (por ejemplo, la proyección del proveedor software y hojas de datos).

El artículo llamado “Diseño de membrana de osmosis inversa para ablandar el agua subterránea en la Universidad de un sitio de la agricultura – Universidad de Tikrit – Iraq mediante el uso de ROSA-72 software” publicada por Abbas & Ahmed (2021), en la revista ELSEIVER, menciona que este trabajo de investigación se logró para el diseño de una membrana de osmosis inversa para la desalinización y ablandamiento de las aguas subterráneas en el sitio de la Universidad de Tikrit. El agua subterránea cruda tiene SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS entre 1570 y 2910 mg/L, temperatura, (23-25) °C, pH (6.27-8.6), Conductividad eléctrica (3070-3620) ms/cm, Ca (492-640) mg/L, Mg (41-437) mg/L, Dureza total (1400-3400) mg/L, SO<sub>4</sub> (700-1296) mg/L, NO<sub>3</sub> (18.5-40) mg/L. Oxígeno disuelto (1,5-4,5) mg/L y turbidez (1,3-5) NTU. ROSA72, sistema de osmosis inversa. El análisis se aplica para diseñar el sistema de osmosis inversa para ablandar el agua subterránea, el resultado mostro criterios de diseño confiables y agua de alta calidad que son agua de alimentación de 0.3 m<sup>3</sup>/h, prensa de alimentación 7,91 bar, caudal de concentración 0.26 m<sup>3</sup>/h, área de la membrana 2,6 m<sup>2</sup>, flujo de permeado 0.05 m<sup>3</sup>/h. Recuperación de agua y el rechazo de sal fueron del 15% y 98,64% respectivamente, permeado SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS 39,41 mg/L. El software ROSA-72 se puede utilizar de manera eficiente en el diseño de osmosis inversa de sistemas. Se utilizó en la membrana de diseño eligiendo el tipo BW30-2540 para ablandar y desalar agua salobre.

En este sentido utilizaremos el método de osmosis inversa ya que es una excelente alternativa para obtener agua potable a partir de la desalinización de agua salobre, esta última será extraída de un pozo del distrito de Lurín del AA.HH. Héroes de Cenepa, ya que

se encuentra cerca al mar, haremos un monitoreo y llevaremos las muestras a un laboratorio para que nos emitan una data, data que será ingresada a un software de simulación llamado “VONTRON” en el cual está dispuesto por sus mismos fabricantes para el diseño y evaluación de sistema de osmosis inversa utilizando membranas específicas para así evidenciar el buen desempeño de remoción y que aplique al agua caracterizada de nuestro interés.

### ***1.1.1. Agua***

El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales.

#### **1.1.1.1. Disponibilidad de agua en Perú**

Se estima en 2739,3 MMC la reserva de agua explotable en la costa, actualmente se aprovecha 1508 MMC anuales con fines poblacional, pecuario, agrícola, industrial y minero. Por otro lado, existe una creciente degradación de acuíferos por contaminación difusa y mal estado de la red de alcantarillado.

En la zona costera sur de la vertiente del Pacífico, existe una sobreexplotación de los acuíferos; mientras que en el norte ocurre lo contrario, generando problemas de drenaje y salinización de los suelos, con la consecuente pérdida de áreas agrícolas y reducción de la producción. (Chavez de Allain, 2012)

### **1.1.1.2. Agua Potable**

Se denomina agua potable al agua “bebible” en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. Es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano.

El agua potable es aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes sensibilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. (Organizacion Mundial de Salud, 2006).

El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal.

### **1.1.1.3. Calidad del agua**

Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, menciona que la calidad del agua es un conjunto de características organolépticas, físicas, Químicas y microbiológicas del agua, determinadas básicamente por los valores establecidos por la presente Reglamentación de concentraciones máximas admisibles y las establecidas en las guías de calidad, que aseguran la inexistencia de algún tipo de riesgo o peligro de carácter sanitario.

### **1.1.1.4. Indicadores de Calidad de Agua**

Los indicadores de calidad de agua se diferencian según sus orígenes biológicos, químicos y físicos; por causas principalmente de carácter antropocéntricos como el caso del uso de la tierra. Entre ellos se mencionan el pH, Turbidez, Oxígeno disuelto, Nitrato,

Fosfato, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Totales, Coliformes Fecales (DIGESA, 2011)

#### *1.1.1.4.1 Parámetros organolépticos*

Son los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos cuya presencia en el agua para consumo humano pueden ser percibidos por el consumidor a través de su percepción sensorial. (MINSA, 2011)

##### **a. Turbiedad**

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánico solubles coloreados, plancton, sedimento procedente de la erosión y microorganismo, el tamaño de esas partículas varía desde 0.1 a 1.000nm (nanómetros) de diámetro. La turbidez influye en la aceptabilidad del agua por los consumidores y se utiliza para indicar la calidad del agua y eficacia de los procesos de tratamiento, en particular la eficacia de la desinfección con cloro (Organizacion Mundial de Salud, 2010).

Los niveles elevados de turbiedad pueden proteger a los microorganismos contra los efectos de la desinfección, estimular el crecimiento de bacterias y ejercer una demanda significativa de cloro. Por lo tanto, en todos los procesos que utiliza la desinfección, la turbiedad siempre debe ser baja, de preferencia por debajo de 1UNT, para conseguir una desinfección efectiva. Se recomienda que la turbiedad máxima debe ser de 5 UNT, pero preferible que sea menor a 1UNT, cuando se utiliza la desinfección. La turbiedad por encima de 5UNT, puede ser perceptible y, en consecuencia, generar rechazo por el consumidor (OPS, 1988).

Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano la Turbiedad máximo recomendable es de 5 UNT.

### **b. PH**

El pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, ya que determinados procesos químicos ocurren tan solo a un determinado pH. Por ejemplo, para que las desinfecciones con cloro sean eficaces es necesario que el pH se encuentre entre un valor de 6.5 y 8.5 de esta manera, se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las fases del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias. Además, el pH de la misma se debe controlar durante su sistema de distribución para evitar la corrosión e incrustaciones en las redes de distribución, ya que el agua con un pH bajo será probablemente corrosiva (Organizacion Mundial de Salud, 2008).

“El pH del agua es un factor muy importante a determinar principalmente en agua potable o susceptible de potabilizar, debido a que este parámetro puede influir en varias de las operaciones o procesos unitarios de tipo químico en una línea de tratamiento de agua potable y es un factor condicionalmente para otros resultados esperados en algunos parámetros importantes” (Rojas, 2008, pág. 138).

Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y el OMS el pH recomendable es de 6.5 a 8.5.

### **c. Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua es la capacidad que tienen las sales inorgánicas presentes en el agua para conducir corriente eléctrica. Es por ello, que la conductividad eléctrica es un perfecto indicador de la cantidad de sales disueltas, pues a mayor cantidad

de éstas, mayor será la conductividad del agua (DIGESA, 2010)

El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. La conductividad eléctrica nos indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en  $\mu\text{mho/cm}$  (DIGESA, 2007)

“Se puede decir que la conductividad es la expresión numérica de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Este valor corresponderá a la concentración y naturaleza de los iones que se encuentren presentes en la muestra, así como de la temperatura” (Rojas, 2008, pág. 138).

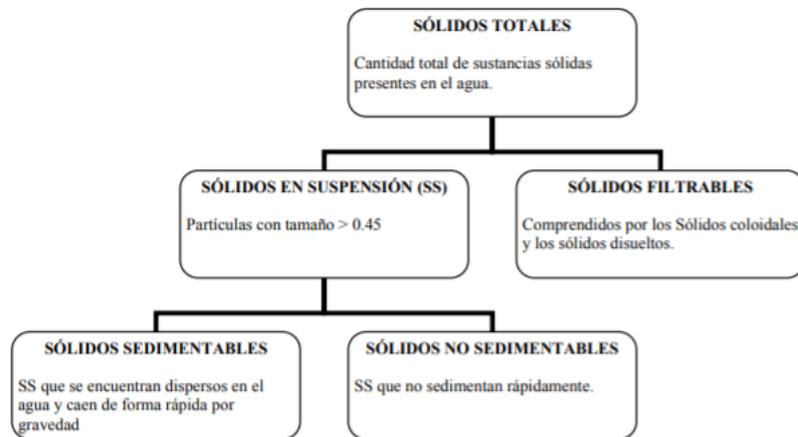
Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano la Conductividad máximo recomendable es de  $1500 \mu\text{ohm/cm}$ .

#### **d. Sólidos totales disueltos**

El término solidos se refiere a la materia suspendida o disuelta en una muestra de agua. Los Solidos se pueden clasificar según su tamaño como se aprecia en la Figura 1. Teniendo en cuenta los métodos de eliminación de partículas del agua; cada uno de estos a su vez está formado de una fracción fija y una volátil. (Rojas, 2008)

**Figura 1.**

*Clasificación de los Sólidos totales*



Fuente: Rojas, Juan

Los sólidos totales son productos de la erosión de los suelos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificados con la descripción de características visibles del agua incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua. Los sólidos totales pueden afectar negativamente a la calidad del agua a suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos totales suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional (DIGESA, 2007)

Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano los sólidos totales recomendable máximo establecido es de 1000 mg/L.

#### **e. Cloruros**

El cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual.

En el agua potable el sabor salado producido por el cloruro es variable y depende de la composición química del agua. Ese sabor es más detectable si el catión predominante en el medio es el sodio, y se nota menos si el catión es calcio o magnesio. La concentración de cloruros es mayor en las aguas residuales ya que el Cloruro de Sodio (NaCl) es muy común en la dieta y pasa inalterado a través del sistema digestivo. (Mautino Cano & Acha de la Cruz, 2014).

Según DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano los cloruros recomendable máximo establecido es de 250 mgCl/L.

#### **1.1.1.5. Agua salobre**

Agua que contiene sales en una proporción significativamente menor que el agua de mar. La concentración total de sales disueltas esta generalmente comprendida entre 1000 – 10 000 mg/L. El agua salobre puede producirse y encontrarse de varias maneras: En estuarios, cuando se mezcla el agua de mar con el agua dulce. En acuíferos, cuando se asocian con rocas salinas. En actividades humanas, como los diques, pozos, las inundaciones de marismas costeras para producir estanques de agua salobre para el cultivo de camarones de agua dulce.

- **Características fisicoquímicas del agua con alto contenido de sales**

El agua con alto contenido de sales se caracteriza por la presencia de sales minerales denominadas iones. Por su presencia, estos iones se pueden clasificar en iones mayores o menores; por su carga, en aniones (-) y cationes (+); y por su estado de oxidación o valencia, en monovalentes (una valencia) y divalentes (dos valencias). Estos iones disueltos en el agua pueden provocar un incremento en el valor de la conductividad eléctrica (CE), así como un aumento en la concentración de sólidos disueltos totales (SDT), de la dureza y de

la alcalinidad total. Estos cuatro parámetros fisicoquímicos están relacionados directamente con la temperatura y el pH del agua (Guadalupe, 2018).

**Tabla 1**

*Principales iones mayoritarios y minoritarios presentes en el agua con alto contenido de sales*

IONES MAYORITARIOS		IONES MINORITARIOS	
CATIONES	ANIONES	CATIONES	ANIONES
Sodio (Na)	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Estroncio (Sr <sup>2+</sup> )	Bromuro (Br <sup>-</sup> )
Potasio (K <sup>+</sup> )	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> )	Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Fluoruro (F <sup>-</sup> )
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>2+</sup> )	Bario (Ba <sup>2+</sup> )	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>+</sup> ) y Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>+</sup> )
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	Boro (B <sup>+</sup> )	Silicatos (SiO <sub>3</sub> <sup>2+</sup> )
	Hidróxidos (OH <sup>+</sup> )		Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>+</sup> )

Fuente: Guadalupe Omar

La salinidad del agua está en función del tipo y de la cantidad de sales que contenga. Por su salinidad, el agua con alto contenido de sales se puede clasificar en agua potable, salobre, marina o salmueras. Por una parte, la salinidad del agua salobre estará en función de la geología del subsuelo (carbonatos, sulfatos, silicatos, etc.), mientras que la salinidad del agua marina está dada, en su mayoría, por cloruro de sodio (NaCl) disociado en el catión sodio (Na<sup>+</sup>) y el anión cloruro (Cl<sup>-</sup>).

- **Calidad del agua Parámetros fisicoquímicos directos e indirectos de la salinidad y composición química**

La CE como los SDT son dos parámetros fisicoquímicos que están relacionados entre sí, ya que un valor de CE es directamente proporcional a la concentración de SDT, es decir, a mayor CE mayor SDT. Estos dos parámetros son denominados “medidas indirectas de la salinidad”, debido a que por un lado, pueden cuantificar la concentración total de sales en una solución, sin embargo, no pueden indicar qué tipo de sal o sales están presentes en

ella. Ambos parámetros a su vez, se pueden determinar cuantitativamente por métodos ya establecidos para la determinación del valor de la CE y la concentración de los SDT, o a través de un instrumento de medición, en este caso un conductímetro. Los parámetros fisicoquímicos directos además de cuantificar la concentración total pueden predecir las especies iónicas presentes en la solución (Guadalupe, 2018)

### 1. Conductividad Eléctrica (CE)

Es un parámetro operativo importante para evaluar la eficacia de la desmineralización del agua desalinizada. Los valores normales (en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para el agua desalinizada son muy bajos, mientras que el agua tratada de manera satisfactoria debe tener unos valores más altos.

Una contaminación del destilado o filtrado de agua del mar se puede detectar fácilmente debido a la alta conductividad del agua de mar (por ejemplo: 50,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

La ecuación 1 expresa la Ley de Ohm simplificada, la cual es necesaria para determinar teóricamente la CE.

$$V = R * I \quad (1)$$

*Donde:*

*V= Voltaje o Diferencia de Potencial [=] (V)*

*R= Resistencia Eléctrica [=] ( $\Omega$ )*

*I= Corriente Eléctrica [=] (A)*

La tabla 2 muestra la clasificación del agua según la cantidad de CE y de  
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS:

**Tabla 2**

*Clasificación del agua según la cantidad de CE y de SÓLIDOS TOTALES*

*DISUELTOS*

Clasificación	SDT (mg/l)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Agua potable	50 – 1,000	100 – 2,000
Agua salobre	1,000 -10,000	2,000 -5,000
Agua marina	10,000 – 100,000	5,000 – 45,000
Salmuera	> 100,000	45,000 – 100,000

**2. Alcalinidad total (AT)**

La alcalinidad total (AT) es la capacidad de una solución para neutralizar ácidos o aceptar protones, representa la sumatoria de las bases tituladas y es inversamente proporcional a la acidez total. La AT puede ser determinada empleado dos indicadores: fenolftaleína y anaranjado de metilo. Ambas formas se determinan por titulación con un ácido fuerte (sulfúrico o clorhídrico). Dado que la AT de las aguas superficiales y subterráneas se debe por el contenido principalmente de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas, los cuales a su vez se hidrolizan en el agua generando como producto de la hidrólisis el ión hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) (Guadalupe, 2018) Sin embargo, pueden estar presentes algunas otras sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos que en menor proporción pueden contribuir a la AT.

$$AT = AF + AAM \quad (4)$$

*Donde:*

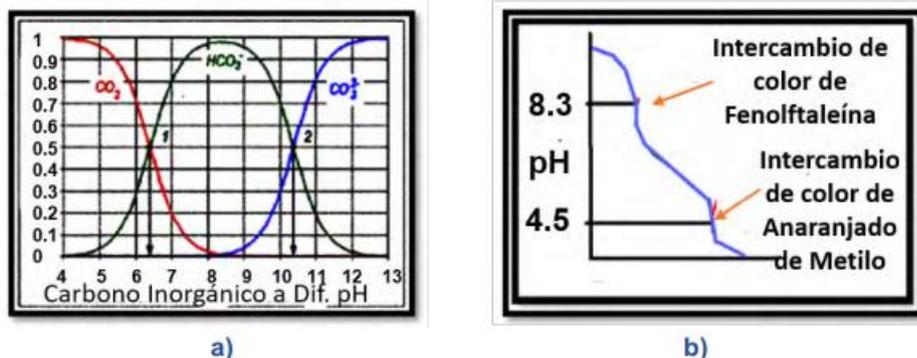
*AT= Alcalinidad total*

*AF = Alcalinidad a la fenolftaleína (titular la muestra hasta un pH de 8.3)*

*AAM= Alcalinidad al anaranjado de metilo (titular la muestra hasta un pH de 4.5)*

**Figura 2**

a) Variación de las especies iónicas en función del pH y b) fases en la titulación del agua para determinar la alcalinidad.



Al igual que la dureza también la alcalinidad total puede ser clasificada dependiendo del valor obtenido, como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 3**  
*Clasificación de alcalinidad*

Clasificación	Alcalinidad total (mg/l de $CaCO_3$ )
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

### 3. Temperatura

La temperatura es la medida de la energía cinética de las moléculas y expresa la cantidad de calor que contiene una solución, ya sea en grados Kelvin (K) o en grados Celsius ( $^{\circ}C$ ). La solubilidad de minerales (iones) depende de la temperatura, algunos son más solubles a medida que aumenta la temperatura, a esto se le llama solubilidad directa o normal. La temperatura del agua debe estar siempre por debajo de  $25^{\circ}C$  o por encima de  $50^{\circ}C$ . En el rango de temperatura de  $25^{\circ}C$  -  $50^{\circ}C$  existe un alto riesgo de proliferación de bacterias, especialmente de *Legionella* spp., y debe realizarse un análisis de agua.

#### **4. Sodio**

Es el metal alcalino más frecuente en la composición de las aguas y además el único presente en cantidades significantes en las aguas naturales. En el agua de mar es el ión metálico más abundante, con concentraciones de alrededor de 10,000 mg/l. Su efecto en las membranas es que no precipita. Los efectos sobre la salud humana se ven relacionados a los problemas cardiovasculares. Cuantitativamente puede determinarse por una técnica llamada fotometría de llama.

#### **5. Sulfatos**

Contribuyen a la salinidad del agua, en ocasiones suele alcanzar concentraciones de 2,000 mg/l, el contenido máximo permisible por la reglamentación sanitaria es de 250 mg/l. El problema de los sulfatos en el proceso de desalación por ósmosis inversa es que pueden formar precipitados de calcio y magnesio sobre las membranas. Se puede determinar la cantidad de sulfatos en el agua por medio del método de Nefelometría.

#### **6. Nitratos**

En concentraciones mayores a 45 mg/l en agua para consumo doméstico pueden ser indeseables, especialmente para los niños, ya que puede ocasionar cianosis. Los nitratos no pueden ser eliminados por evaporación, se debe recurrir a la desmineralización o a la separación por membranas. La cantidad de nitratos se puede cuantificar por medio de 3 métodos las cuales son: Método espectrométrico ultravioleta selectivo, Método del electrodo de nitrato y el Método cromatográfico de iones.

#### **7. Calcio y Magnesio**

Se encuentra en todas las aguas y son especialmente abundantes en las aguas subterráneas, contribuyen conjuntamente al establecimiento de la dureza del agua, que es

causada fundamentalmente por las sales que forman estos dos elementos con los bicarbonatos, sulfuros, cloruros y nitratos.

## **8. Carbonatos y bicarbonatos**

Se encuentran en todas las aguas y en ocasiones en proporciones muy elevadas. Las membranas de osmosis inversa tienen un alto porcentaje de rechazo de estos iones, razón por la cual se concentran en el rechazo y pueden llegar a precipitar.

## **9. Hierro**

Todas las aguas contienen hierro, en mayor o menor cantidad, el contenido de este puede ser problemático para ciertos usos, doméstico o industrial. Contenidos de 0.5 mg/l suelen ser perjudiciales, en la industria no se permiten contenidos mayores a 0.1 mg/l. Para alcanzar dicha concentración suele procederse a un proceso de aireación del agua.

## **10. Manganeso**

Tiene un comportamiento similar al del hierro, incluso se presenta en las mismas condiciones que éste. Suele adicionarse anti incrustante para retardar la oxidación y en consecuencia la precipitación del hierro y manganeso.

## **11. Sílice**

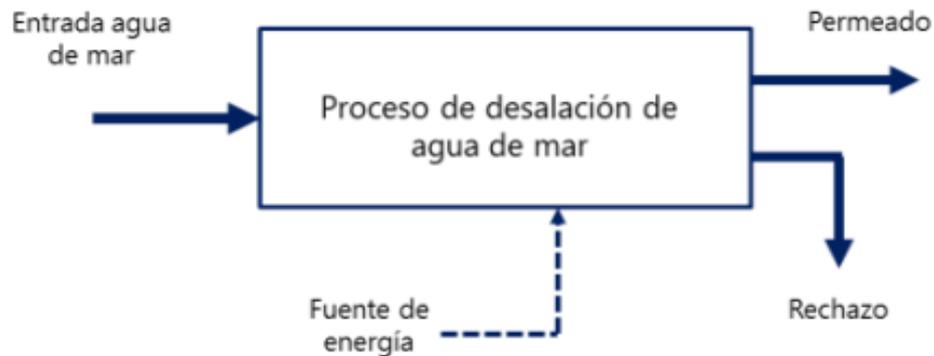
Es el elemento más abundante en la corteza terrestre, se puede encontrar en aguas subterráneas de cantidades de hasta 100 mg/l, contenidos de 20 mg/ son bastantes normales.

### **1.1.1.6. Proceso de desalinización de agua salobre**

El proceso de desalinización del agua salobre consiste en separar el agua con alto contenido de sales en dos flujos diferentes; un flujo con baja concentración de sales disueltas llamado permeado y otro contenido con el resto de las sales disueltas denominadas salmuera de concentración. Es necesario el contribuir energía ya sea mecánica, térmica, química o eléctrica. (Peña, 2017).

La Figura 3 muestra un esquema general de un proceso de desalinización.

**Figura 3**  
*Esquema general de proceso de salinización*



Fuente: Peña, 2017 (Cabero, 2014).

En la tabla N°4 se encuentra los principales procesos de desalinización:

**Tabla 4**  
*Procesos de Desalinización*

<b>Térmica</b>	Evaporación	Destilación flash Destilación Multi efecto
<b>Mecánica</b>	Cristalización Filtración y evaporación Filtración	Congelación Destilación con membranas Osmosis Inversa Nanofiltración
<b>Eléctrica</b>	Filtración Selectiva	Electrodialisis

La calidad del agua varía de acuerdo con la región y el tipo de subsuelo. El grado de salinidad del agua está determinado por la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (SDT) que contiene, y se expresa en miligramos de sales por litro de solución (partes por millón) (Medina, 2019). En la tabla N°4 se indica los diferentes tipos de agua:

**Tabla 5**

*Salinidad de diferentes tipos de agua*

<b>Tipo de agua</b>	<b>Solidos Totales (PPM)</b>
Ultra pura	0,03
Pura	0,3
Desionizada	3
Dulce	<1000
Salobre	1 000 – 10 000
Salina	10 000 – 30 000

La Tabla N°5 muestra una comparación de costos aproximados de producción (USD/m<sup>3</sup>) y consumos energéticos (kWh/m<sup>3</sup>) entre tecnologías térmicas y de membranas a nivel global.

**Tabla 6**

*Costos de producción y consumos energéticos*

<b>Tecnología</b>	<b>Costo de producción (USD/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo energético</b>	<b>Recomendable para</b>
<b>Osmosis Inversa (RO)</b>	0.6	2.4 a 2.8 kWh/m <sup>3</sup>	Agua de mar y salobre
<b>Electrodialisis (ED)</b>	0.32	2 a 2.5 kWh/m <sup>3</sup>	Agua Salobre
<b>Destilación multiefecto (MED)</b>	1.5	3.4 a 4 kWh/m <sup>3</sup>	Agua de mar
<b>Destilación flashing multietapa (MSF)</b>	1.10	5 a 8 kWh/m <sup>3</sup>	Agua de mar

#### **1.1.1.7. Tecnología de membranas**

La tecnología de membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferente que se ha convertido en una tecnología de separación digna. (Pérez, 2017, pág. 8)

Desde el siglo XVIII los procesos de filtración han ido evolucionando a medida que la necesidad de mejorar la calidad del recurso aumentaba. El separar partículas y

microorganismos no deseados del agua es el objetivo básico de los procesos y operaciones de filtración. (Rojas, 2008, pág. 46).

En los últimos 15 años se ha experimentado un creciente interés en cuanto al uso en tratamiento de aguas de tecnología de membranas a la que se puede catalogar como una técnica avanzada de filtración por mallas (Aznar, 2000 citado por (Rojas, 2008).

La producción de agua potable de una alta calidad usando tecnologías de membranas es una buena alternativa para las técnicas convencionales de tratamiento (Cabassud et al., 1991 citado por (Rojas, 2008).

La desalinización del agua de mar por medio de membranas es un proceso que separa el agua salina en dos corrientes, una corriente de agua potable con baja concentración de sales disueltas y una corriente de salmuera concentrada (Hiriart, 2007 citado por (Peña, 2017).

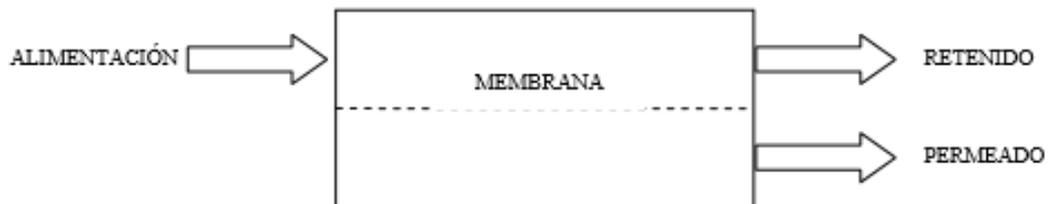
#### *1.1.1.7.1 Membranas*

Las membranas son una “barrera permeable y selectiva, limitando el paso de especies químicas disueltas” (Solis, Velez, & Ramirez, 2015). “En la actualidad las membranas son más competitivas para técnicas convencionales como la obtención de agua de proceso de las aguas subterráneas, aguas superficiales o aguas residuales” (Pérez, 2017, pág. 8). El proceso que realizan las membranas se basa que sean semi-permeables, las cuales permiten separar materiales de distinto peso molecular, ya que de esta manera está reduciendo costos energéticos y preservando los recursos no renovables; entre otros factores.

La separación como se aprecia en la figura 2 demuestra la consecuencia de aplicar una fuerza exterior de un lado (presión) que provoca que la membrana sea atravesada por

diversas especies químicas y se obtenga dos salidas como el retenido y el permeado.

**Figura 4**  
*Principio de una operación de membrana.*



Fuente: Rojas Vargas, Juan Carlos

En este proceso la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará que el agua fluya, mientras atrapa sólidos suspendidos y los componentes de dichos fluidos atraviesan de manera selectiva sin experimentar alteraciones químicas ni físicas, la separación ocurre porque la membrana controla la cantidad de movimiento de varias moléculas entre las fases.

Existen varios métodos para permitir que las sustancias penetren más fácilmente una membrana; entre ellas están la alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración a ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico. El proceso tiene tres etapas: Alimento (fluido a tratar), Rechazo (sólidos y componentes no deseados) y Permeado (producto deseado).

Mientras que las membranas pueden dividirse según tres tipos: Material (poliméricas o cerámicas), estructura (simétricas o asimétricas) y configuración (planas, tubular, espiral, capilar o fibra hueca). (Pérez, 2017).

El desarrollo de las membranas, debido a su gran capacidad para seleccionar los solutos disueltos según el peso molecular en una corriente líquida, ha optimizado diversos

procesos, tales como la desalinización del agua de mar, industria de alimentos, industria papelera, tratamiento de aguas residuales, la obtención de compuestos activos en la industria farmacéutica, entre otros. (Pérez, 2017)

Se manifiestan una serie de ventajas las cuales son:

- No aporta ningún tipo de sustancia química al agua, debido a que es una operación netamente física, pues la separación se lleva a cabo mediante exclusión por tamaño.
- La producción es constante y la calidad del efluente es independiente de la calidad de lagua de alimentación para la mayoría de parámetros medidos en agua potable.
- Los modulo con compactos, de fácil adaptación y su proceso es de fácil automatización.
- Puede eliminar tantas cargas inorgánicas de los productos de desinfección, además de eliminar una gran cantidad de microorganismos dependiendo el poro de la membrana.
- El crecimiento global del uso de la membrana en aplicaciones de ingeniería medioambiental puede ser atribuido por otra parte a tres factores adicionales:
  1. El incremento en las leyes que regula el tratamiento tanto para aguas potables como para residuales.
  2. El incremento de la demanda de agua, lo que conlleva a explotar recursos de menor calidad y agotando nuestros recursos hídricos.

3. La comercialización de las tecnologías de membranas según su desarrollo y aplicaciones.

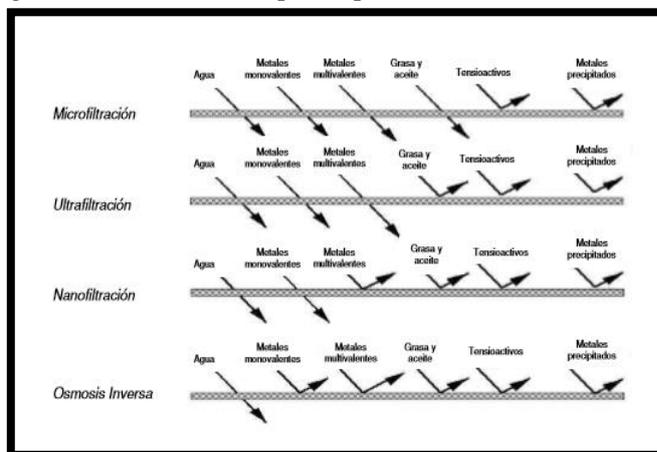
Las operaciones de membrana que más han interesado en el tratamiento de aguas y en las que la fuerza actuante es una diferencia de presión son la osmosis inversa (OI), la nanofiltración (NF), la ultrafiltración (UF) y la microfiltración (MF). (Rojas, 2008, pág. 47).

**Tabla 7**  
*Operaciones básicas de membrana*

Operación de membrana	Fuerza directora	Mecanismo de separación	Estructura de membrana	Tamaño de poro aprox.	Presión a través de la membrana	Aplicaciones
MF	Presión	Cribado	Macroporos	0,025 – 1 $\mu\text{m}$	0,2 – 3,5 bar	Eliminación de solidos suspendidos
UF	Presión	Cribado	Mesoporos	2 – 25 nm	1,3 – 13 bar	Pre- y pos tratamiento de intercambio iónico, clarificación de bebidas, concentración de materia orgánica, eliminación de bacterias, proteínas, polímeros y coloides.
NF	Presión	Cribado+ (solución/difusión + exclusión)	Microporos	< 2 nm	5 – 35 bar	Eliminación de dureza, de microorganismos, aminoácidos, oligosacáridos, de color,
OI	Presión	Solución/difusión + exclusión	Densa	-	13,8 – 70 bar	Desalinización de agua marina, purificación de agua para calderas, pretratamiento para intercambio iónico, producción de agua ultra pura.

Fuente: Propia.

**Figura 5**  
*Diagrama de rechazos típicos para diversas membranas de filtración.*



Fuente: Andrea Raquel Guastelli

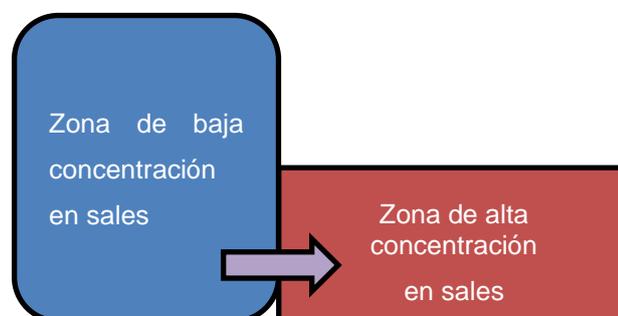
### 1.1.1.7.2 Introducción a la osmosis Inversa

Una vez conocida la composición química del agua a desalar se procede al diseño de la planta de ósmosis inversa. Para comprender los aspectos que deben tomarse en cuenta en el diseño es necesario conocer de dónde se deriva la desalación, así como los parámetros que se deben tomar en cuenta en el diseño y operación de la desaladora.

#### A. Osmosis

La ósmosis es un proceso natural, en el cual un fluido pasa a través de una membrana semipermeable, de una zona de baja concentración a una de alta concentración hasta alcanzar el equilibrio, este fenómeno es debido al potencial químico de cada una de las sustancias, el cual está en función de la temperatura, presión y concentración de los sólidos disueltos, siendo menor para una solución con alto contenido en sales y mayor para una solución con poco contenido en sales, es esta diferencia en el potencial químico el que permite que el agua con baja concentración en sales fluya hacia la zona con alta concentración en sales, hasta que se alcance el equilibrio en el potencial químico o hasta que la presión hidráulica lo permita.

**Figura 6**  
*Proceso de osmosis*

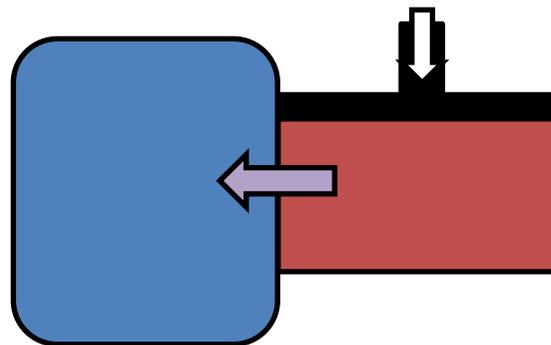


Fuente: Propia

## B. La Osmosis inversa

Consiste en aplicar una presión externa del lado de la solución salada, la cual es igual a la presión osmótica, ocasiona el equilibrio en ambas soluciones. Un incremento en la presión aplicada ocasionará que se eleve el potencial químico del agua salada, con lo cual se genera un flujo hacia el agua pura a través de la membrana semipermeable debido a que este tiene un menor potencial químico. A este fenómeno se le conoce como osmosis inversa.

**Figura 7**  
*Proceso de osmosis Inversa*



Fuente: Propia

## C. Presión osmótica

Cuando se habla del potencial químico y de la presión osmótica, pero el principal factor a vencer en la ósmosis inversa es la presión osmótica, ya que al vencerla estaremos asegurando que se comienza a desalar el agua a tratar. La presión osmótica de una solución puede ser determinada indirectamente midiendo la concentración de las sales disueltas en la solución:

$$P_s = C * R * (T + 273.15) \quad [bar]$$

C= Concentración total de iones disueltos

R= Constante universal de los gases (0.082 lt\*bar/mol\*K)

T= Temperatura expresada en °C

Nota: Una aproximación de la presión osmótica puede ser que por cada 1,000 mg/l de concentración de SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS es igual 0.77 [bar] de presión osmótica.

La presión osmótica es un valor estático, es decir que el valor de presión osmótica cambiara al momento en que pase un poco de agua a través de la membrana, en el sentido del agua salada al agua pura, ya que tendremos un incremento en la concentración en el agua salada, lo que ocasionará que se incremente la presión osmótica, razón por la cual será necesario incrementar la presión en el agua a desalar. Una forma de calcular la presión máxima a aplicar se puede obtener conociendo las características de la membrana, es decir, conocer el porcentaje de rechazo de sales de la membrana, así como el porcentaje de recuperación máximo que permite la membrana sin sufrir daño alguno, por lo general las membranas rechazan un 99.7% de sales y pueden recuperar hasta un 14% del agua de alimentación, variando según el agua de alimentación.

#### D. Recuperación

La recuperación o tasa de conversión de agua de alimentación a producto está definida por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{Q_P}{Q_F} * 100\%$$

$$\alpha = \frac{Q_P}{Q_P + Q_C} * 100\%$$

$Q_p \rightarrow$  Flujo permeado [V/t]

$Q_f \rightarrow$  Flujo de alimentación

$Q_c \rightarrow$  Flujo concentrado

La recuperación también puede expresarse en función de las concentraciones, es decir:

$$\alpha = \frac{C_C - C_F}{C_C + C_P} * 100\%$$

$C_c$  → Concentración del concentrado

$C_f$  → Concentración de alimentación

$C_p$  → Concentración en el permeado

### E. Índice de Sedimentos

El índice de densidad de sedimentos (Silt Density Index = SDI) o índice de "ensuciamiento" es un procedimiento sencillo desarrollado para estimar el grado de bloqueo o "ensuciamiento" de las membranas debido a la contaminación en forma de partículas coloidales, que comúnmente incluyen bacterias, arcillas, hierro. Productos químicos utilizados en la clarificación/filtración tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, o poli electrolitos catiónicos pueden causar bloqueo coloidal. Este método es ampliamente aceptado en la industria, dado que principalmente mide la concentración coloidal.

La disminución en el flujo de agua es representada entre 1 a 100 unidades. Un rápido taponamiento indica niveles altos de contaminación coloidal por lo que el SDI será un número grande relativamente en comparación con el agua con bajas tendencias a ensuciarse.

### F. El valor del SDI

La tendencia del agua de alimentación a ensuciar las membranas de los equipos de purificación, así como de las membranas de osmosis inversa, deberá ser mantenida a un nivel aceptable para asegurar una operación económica y eficiente. Un SDI menor o igual a 5 es aceptable. Todos los módulos en espiral, incluyendo los de acetato de celulosa (CA),

Thin Film Composite (TFC) y polisulfona de alto flujo (PSRO) deberán ser alimentados con agua tratada cuando el SDI sea igual a 5 o menor. En membranas de fibra hueca (Hollow Fiber) es más recomendable un SDI de 3 Un alto nivel de partículas puede tener un efecto indeseable en las membranas de osmosis inversa y generar problemas, tales como:

- Rápida disminución en el flujo del producto, debido a que la superficie de las membranas se ensucia y bloquea.
- Un incremento en la presión de alimentación y una disminución en el flujo de rechazo, debido a que los canales de rechazo se restringirán, reduciendo la acción de barrido a través de las membranas.
- Una pérdida en la retención de sales (por lo tanto disminución en la calidad del producto) ya que la superficie de las membranas cambia de acuerdo al grado de "ensuciamiento"

### **G. Métodos de Reducción del SDI**

Algunos métodos de pre tratamiento sugeridos para reducir el SDI incluyen:

- Micro filtración (Filtros de cartucho)
- Ultrafiltración
- Suavización (No reduce el SDI, reduce el "ensuciamiento" al estabilizar los coloides).
- Filtros multimedia
- Filtros de arena
- Filtros de Fierro (Greensand)
- Floculación

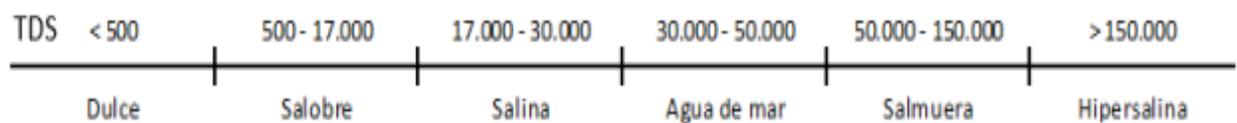
## H. Clasificación de membranas de agua salobre

Las membranas de agua salobre están diseñadas para tratar aguas de alimentación de baja salinidad, de hasta 4.000 a 5.000 ppm (SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS) pese a mayores valores de solidos presentes en este tipo de agua. La presión máxima de funcionamiento para membranas de agua salobre es típicamente de 600 psi. Estas membranas se prueban típicamente en las siguientes condiciones:

- Concentración de agua de alimentación: 1.500 a 2.000 ppm de NaCl (las membranas de baja energía se prueban a 500 - 2.000 ppm de NaCl)
- Presión de funcionamiento: 225 psi (las membranas de baja energía se prueban a 100 - 150 psi)
- Temperatura: 22 ° C
- pH del agua de alimentación: 6,5 – 7
- Recuperación por modulo: 15%

### Figura 8

*Clasificación de la calidad del agua respecto a su contenido salino*



Fuente: Cisternas Ibarra Felipe

En general, las características atribuidas a cada membrana son producto o consecuencia de tres factores: su estructura (espiral, fibra, etc.), su composición, y el método por el cual haya sido fabricada. Al momento de diseñar y construir una membrana, se deberán verificar sus características y condiciones de operación por medio de pruebas de desempeño, siendo posteriormente clasificada de acuerdo a las condiciones de pruebas

aprobadas y atributos evidenciados. A continuación, se presentarán las distintas clasificaciones de membranas de agua salobre utilizadas en el mercado junto a sus aspectos de mayor interés.

- Membranas de baja energía
- Membranas de alto rechazo
- Membranas de bajo ensuciamiento
- Módulos de membrana de baja presión diferencial
- Módulos de membrana de alta productividad
- Membranas de remoción de boro
- Membranas sanitarias y de alta temperatura

### **I. Criterios de selección de membranas**

Cada uno de los diseños de módulos tiene sus propias aplicaciones especiales, ventajas y desventajas. En la selección de un módulo junto a su arreglo configuracional, se deben considerar normalmente los siguientes aspectos:

1. Características de corriente de alimentación que puedan afectar la biocompatibilidad de las membranas.

2. Requisitos de flujo de la corriente de alimentación.

3. Requisitos de rechazo, en cuanto a objetivos y eficiencia requerida.

Adicionalmente se deberá considerar en forma operacional, la facilidad de limpieza, la facilidad de manteniendo y la posibilidad de remplazo de las membranas.

#### **1.1.1.8. Software VONTRON**

El programa VONTRON está especializada en la fabricación y el servicio técnico de elementos de membranas de osmosis inversa y de nitrógeno. Al poseer la tecnología

principal y la capacidad para la fabricación de láminas de membranas, VONTRON es el mayor fabricante profesional de membranas de OI compuestas en China, y es el proveedor de diseño de sistemas y servicio aplicado con un potente soporte técnico.

Las membranas de VONTRON™ se han aplicado ampliamente a la desalinización del agua de mar, la purificación del agua potable, la depuración de las aguas residuales y la concentración/abstracción, y se han vendido bien a EE.UU, India, Italia, España, Alemania, Turquía, Corea, Japón, Brasil, etc. Su equipo ha establecido cuatro plataformas básicas profesionalizadas por separado de “diseño, investigación y desarrollo”, “Control del proceso tecnológico”, “inspección y prueba” e investigación aplicada”.

Todas las especificaciones técnicas de las membranas se puede encontrar en (Vontron technology Co).

#### *1.1.1.8.1 Principales series de productos de membrana*

##### **- Serie LP: Elemento de membrana de osmosis inversa de baja presión**

Con las propiedades de baja presión, alto flujo permeado y excelente rendimiento de desalinización, la serie de membranas LP se aplica principalmente a la desalinización de agua salobre. Además, gracias a sus excelentes propiedades de eliminación de sales solubles, COT y SiO<sub>2</sub>, es especialmente aplicable a la preparación de agua de alta pureza para las industrias electrónicas y eléctricas.

##### **- Serie SW: Elemento de membranas de osmosis inversa compuesto para la desalinización de agua de mar.**

Diseñada para la desalinización del mar, la serie SW puede aumentar el flujo permeado mediante la mejora de la estructura de los elementos de la membrana,

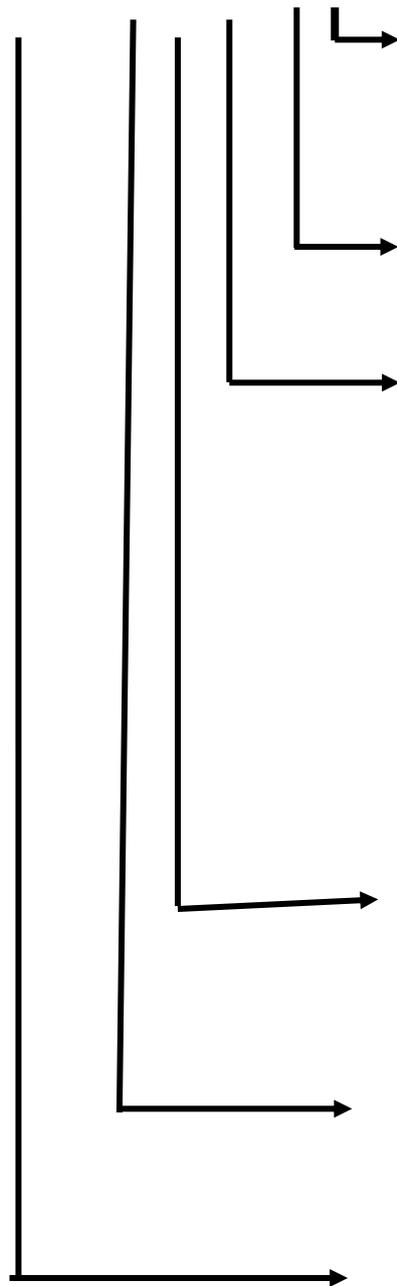
disminuyendo así el número de elementos de la membrana instalado. Tiene las propiedades de alta tasa de rechazo, rendimiento persistente, bajo costo de operación y baja inversión en equipo, y puede asegurar que el agua potable puede ser producida a partir de agua de mar simplemente por el tratamiento de osmosis inversa de una sola pasada.

1.1.1.8.2 Nomenclatura de los elementos de las membranas industriales

**Figura 9**

*Nomenclatura de los elementos de las membranas industriales*

**HOR 12 - 80 40 L**



Representación de la presión de trabajo de elemento de la membrana (opcional)

X: Serie XLP      L: Serie LP  
U: Serie ULP      S: Serie SW

Longitud del elemento de membrana (en pulgadas)

Diámetro del elemento de la membrana en pulgadas (a multiplicar por 0.1)

8040: diámetro de 8 pulgadas, longitud de 40 pulgadas.

4040: diámetro de 4 pulgadas, longitud de 40 pulgadas.

4021: diámetro de 4 pulgadas, longitud de 21 pulgadas.

2540: diámetro de 2,5 pulgadas, longitud de 40 pulgadas.

2521: diámetro de 2,5 pulgadas, longitud de

Área de la membrana activa:

1: 85 ft<sup>2</sup> (4040 elementos)  
365 ft<sup>2</sup> (8040 elementos)  
2: 400 ft<sup>2</sup> (8040 elementos)

Tasa de rechazo

La secuencia de 1-3 representa el aumento gradual de la tasa de rechazo

Tipo de membrana:

XLP: Serie de presión extremadamente baja  
ULP: Serie de ultra presión  
LP: Serie de baja presión  
SW: Serie de desalinización de agua de mar  
FR: Serie resistente a la suciedad  
HOR: Serie de alta resistencia a la oxidación

### 1.1.1.8.3 Catálogo de elementos industriales de membranas

**Tabla 8**

*Serie LP*

Tipo	Modelo	Rechazar	Media Permeado GPI (m <sup>3</sup> /d)	Presión de trabajo y campos de aplicación	Condiciones de la prueba		
					Presión psi	Solución Concentrado NaCl(ppm)	Recuperación tasa (0/0)
	LP21 - 8040	99.5	9600 (36.3)	Trabajar a baja presión. Aplicable a agua regular o salobre de alto contenido	225 (1.55)	2000	15
	LP22- 8040	99.5	10500 (39.7)				
	LP21- 4040	99.5	2400 (9.1)				

**Tabla 9**

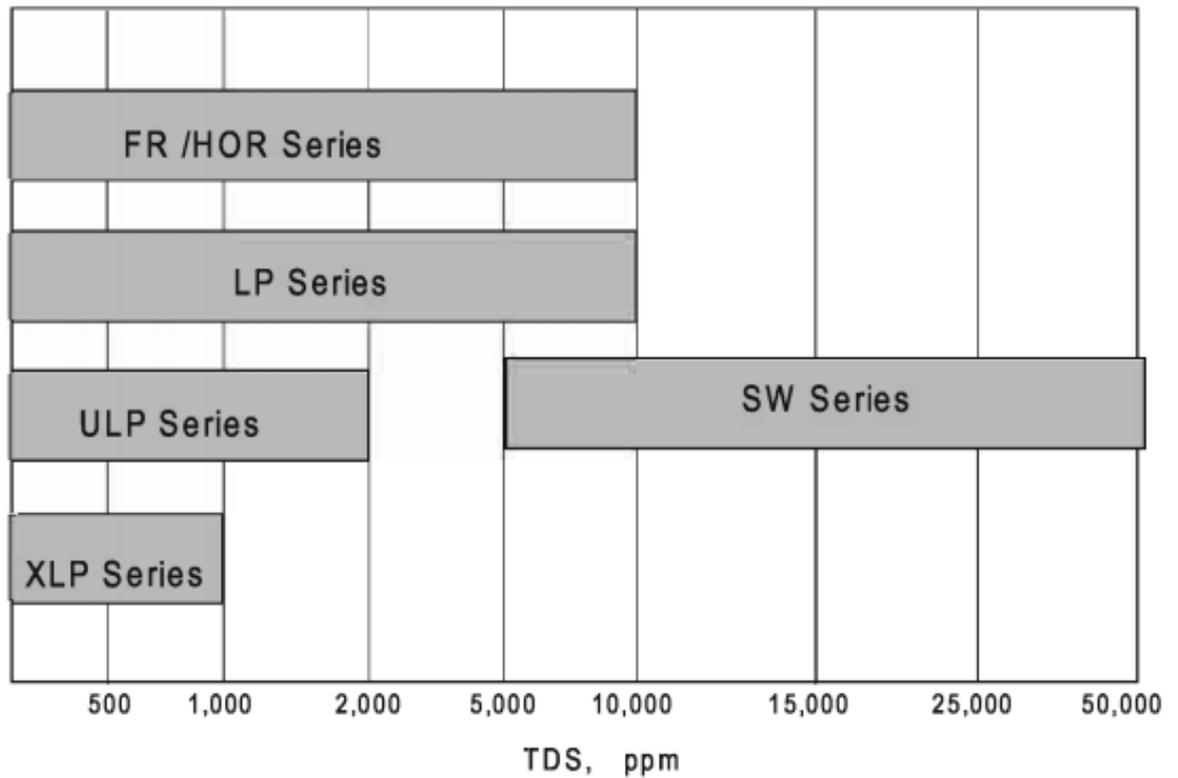
*Serie SW*

Seawater Desalin e element	SW21-8040	99.7	5000 (18.9)	Trabajo a alta presión. Aplicable a agua de mar o casi agua de mar	800 (5.5)	32800	8
	Sw22-8040	99.7	6000 (22.7)				
	Sw21-4040	99.5	1400 (5.3)	Trabaja a alta presión. Aplicable a sistemas de pequeño tamaño en barcos militares, barcos marinos, laboratorios, etc. para la desalinización de agua de mar o agua salobre de alto contenido			4
	SW11-2540	99.2	500 (1.89)				
	14021	99.2	750 (2.8)				
	1-2521	99.2	200 (0.76)				

1.1.1.8.4 Selección de los elementos de la membrana en función de la salinidad del agua de alimentación

**Figura 10**

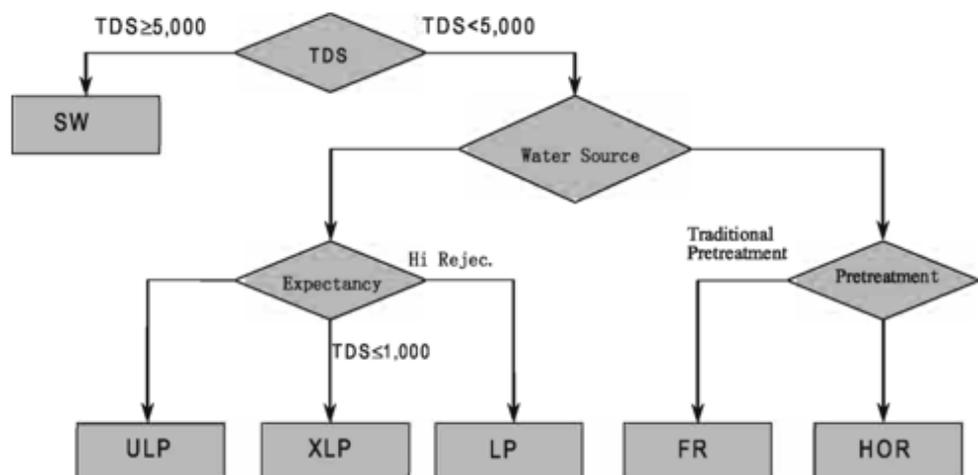
Selección de los elementos de la membrana en función de la salinidad del agua de alimentación



1.1.1.8.5 Diagrama de selección de los elementos de la membrana

**Figura 11**

Diagrama de selección de los elementos de la membrana



### 1.1.1.8.6 Especificaciones técnicas generales de membranas de osmosis inversa

#### - Serie LP: Elemento de membrana de baja presión

La serie LP (baja presión) de elementos de membranas de compuesto de poliamida aromática desarrollada por Vontron Technology Co., Ltd. Tiene las propiedades de funcionamiento a baja presión, alto flujo de permeado y excelente desalinización y son aplicables a la desalinización de agua salobre. Además, es particularmente aplicable a la fabricación de agua de alta pureza para la industria electrónica y la industria de la energía eléctrica debido a su excelente rendimiento en la eliminación de sales solubles, TOC, SiO<sub>2</sub>, etc.

Siendo adecuada para desalar fuentes de agua tales como aguas superficiales, aguas subterráneas, agua del grifo y agua municipal, etc. La serie LP se aplica principalmente al tratamiento de diversas aguas industriales tales como agua pura para fines industriales, reposición de agua de caldera en centrales eléctricas y también puede aplicarse a aplicaciones de agua salobre tales como el tratamiento de aguas residuales salinas de alta concentración y la producción de agua para bebidas.

**Tabla 10**

#### *Especificaciones y principales propiedades*

Modelo	Membrana activa Superficie Ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Caudal medio permeado GPD (m <sup>3</sup> /d)	Tasa de rechazo estable (0/0)	Rechazo mínimo Tasa (0/0)
LP21-8040	365(33.9)	9600 (36.3)	99.5	99.3
LP22-8040	400(37.0)	10500(39.7)	99.5	99.3
LEI-4040	90(8.4)	2400 (9.1)	99.5	99.3

#### **Condiciones de la prueba:**

- Presión de prueba .....225 PSI (1,55Mpa)
- Temperatura de la solución prueba.....25°C

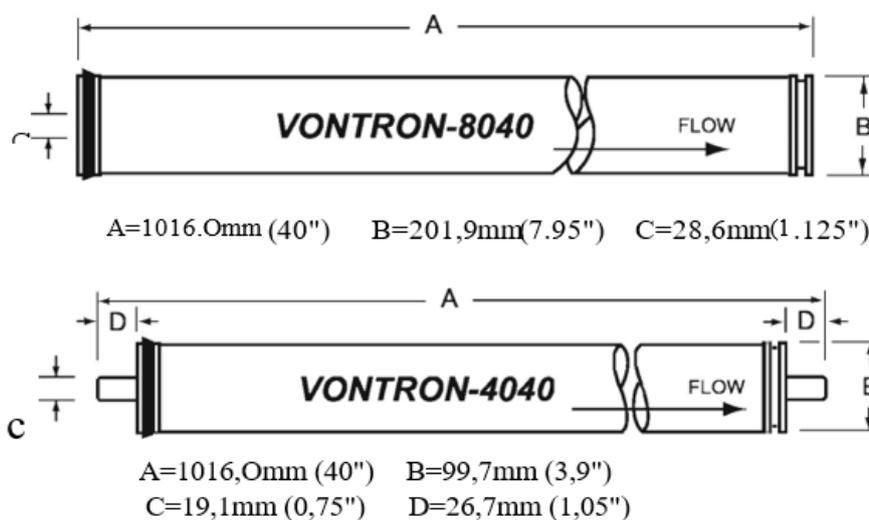
- Concentración de la solución de prueba (NaCl).....2000ppm
- Valor de pH de la solución de prueba.....7,5
- Tasa de recuperación de un solo elemento de la membrana.....15%

**Límites y condiciones de funcionamiento:**

- Max. Presión de trabajo .....600psi (4.14Mpa)
- Caudal máx. de flujo de agua de alimentación.....75 rpm (17m<sup>3</sup>/h)  
(para 8040). 16 rpm (3,6 m<sup>3</sup>/h) (para 4040).
- Max. temperatura del agua de alimentación..... 45°C
- Max. agua de alimentación SDI.....5
- Concentración de cloro residual del agua de alimentación.....<0.1 ppm
- Rango de pH del agua de alimentación durante la operación continua...3-10
- Rango de pH del agua de alimentación durante la limpieza química.....2-10
- Max. caída de presión de un solo elemento de membrana.....15 PSI

**Figura 12**

*Dimensiones de la membrana*



**- Serie SW: Elemento de membrana de desalinización de agua de mar**

La serie SW de elementos de membranas de compuesto de poliamida aromática desarrollada por Vontron Technology Co, Ltd. Es aplicable a la desalinización de agua de mar. Mediante la optimización de la estructura del elemento de membrana, la serie SW aumenta el flujo de permeado y requiere menos elementos para el mismo flujo de permeado. Se caracteriza por una baja presión de funcionamiento, una baja inversión en equipos, una excelente tasa de rechazo y un rendimiento fiable, y su alto rechazo de sal puede garantizar la producción de agua potable a partir de agua de mar simplemente mediante el diseño de osmosis inversa de una sola pasada.

Aplicable al tratamiento del agua de mar y del agua salobre de alta concentración, la serie SW de elementos de membranas está diseñada para el tratamiento de diversas aguas industriales, como la desalinización del agua de mar, la desalinización del agua salobre de alta concentración, la reposición del agua de la caldera para la central eléctrica, etc., y también es aplicable a diversos campos como el reciclaje de aguas residuales, la concentración y la recuperación de sustancias con alto valor adicional como los productos alimenticios, los productos farmacéuticos, etc.

**Tabla 11**

*Especificaciones y principales propiedades*

Modelo	Área de la membrana activa ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	Caudal medio permeado GPD (m <sup>3</sup> /d)	Tasa de rechazo estable (°°)	Rechazo mínimo Tasa (°°)
sw21-8040	330 (30.6)	5000 (18.9)	99.7	99.5
sw22-8040	380 (35.2)	6000 (22.7)	99.7	99.5
sw21-4040	85 (7.9)	1400 (5.3)	99.5	99.2
Swil-4021	33 (3.1)	750 (2.8)	99.2	99.0
Sw11-2521	12 (1.1)	200 (0.76)	99.2	99.0
1-2540	28 (2.6)	500 (1.89)	99.2	99.0

### Condiciones de la prueba:

- Presión de prueba .....800 PSI (5,5Mpa)
- Temperatura de la solución prueba.....25°C
- Concentración de la solución de prueba (NaCl).....32800 ppm
- Valor de pH de la solución de prueba.....7,5
- Tasa de recuperación de un solo elemento de la membrana.....8% (8040-4040-2540) 4% (4021-2521)

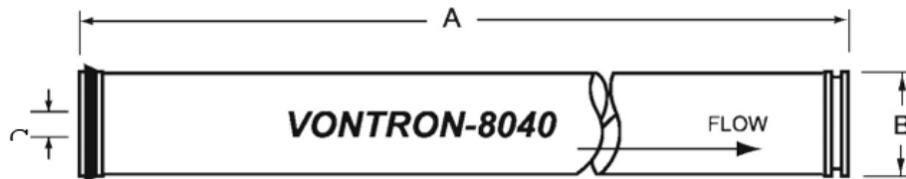
### Límites y condiciones de funcionamiento:

- Max. Presión de trabajo .....1000 psi (6.9Mpa)
- Caudal máx. de flujo de agua de alimentación.....75 gpm (17m<sup>3</sup>/h)  
(para 8040). 16 gpm (3,6 m<sup>3</sup>/h) (4040-4021) 6.0 gpm (1.4 m<sup>3</sup>/h) (2521 – 2540).
- Max. temperatura del agua de alimentación..... 45°C
- Max. agua de alimentación SDI.....5
- Concentración de cloro residual del agua de alimentación.....<0.1 ppm
- Rango de pH del agua de alimentación durante la operación continua...3-10
- Rango de pH del agua de alimentación durante la limpieza química.....2-12
- Max. caída de presión de un solo elemento de membrana.....15 PSI (0.1 Mpa) (8040,40440 – 2540) 10 psi (0.07 Mpa) (2521-4021)

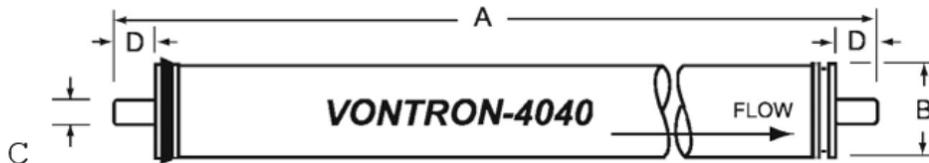
**Figura 13**

*Dimensiones de la membrana*

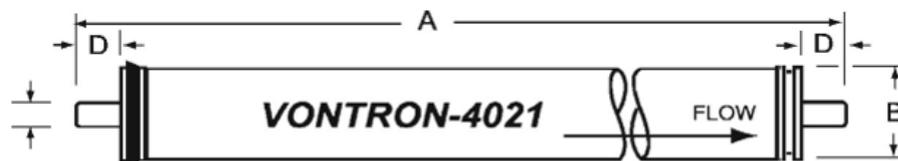
Todas las dimensiones se indican en: milímetros (pulgadas)



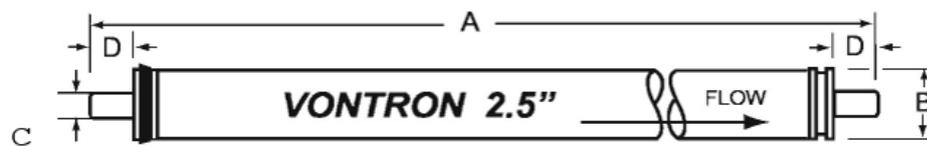
A=1016.0mm (40") B=201,9mm (7.95") C=28,6mm (1.125")



A=1016,0mm (40") B=99,7mm (3,9")  
C=19,1mm (0,75") D=26,7mm (1,05")



A=533.4mm (21") B=99.7mm (3.9")  
A=533,4mm (21") B=99,7mm (3,9")  
C=19,1mm (0,75") D=30,2mm (1,19")



2540: A=1016.0mm (40") 8=61 .0mm (2.4") C=19.1mm (0.75") D=30.2mm (1.19")  
2521: A=533,4mm (21") 8=61 .0mm (2,4") C=19,1mm (0,75") D=30,2mm (1,19")

**- Instrucciones para el uso del software de diseño de la OI**

**Requisitos de configuración:**

\*Ordenador compatible con IBM-PC

\*Procesador Pentium II (586 y superior)

\*Memoria: 32 MB y más

\*Sistema operativo: Windows 98 y superior

Consideraciones para la instalación del software:

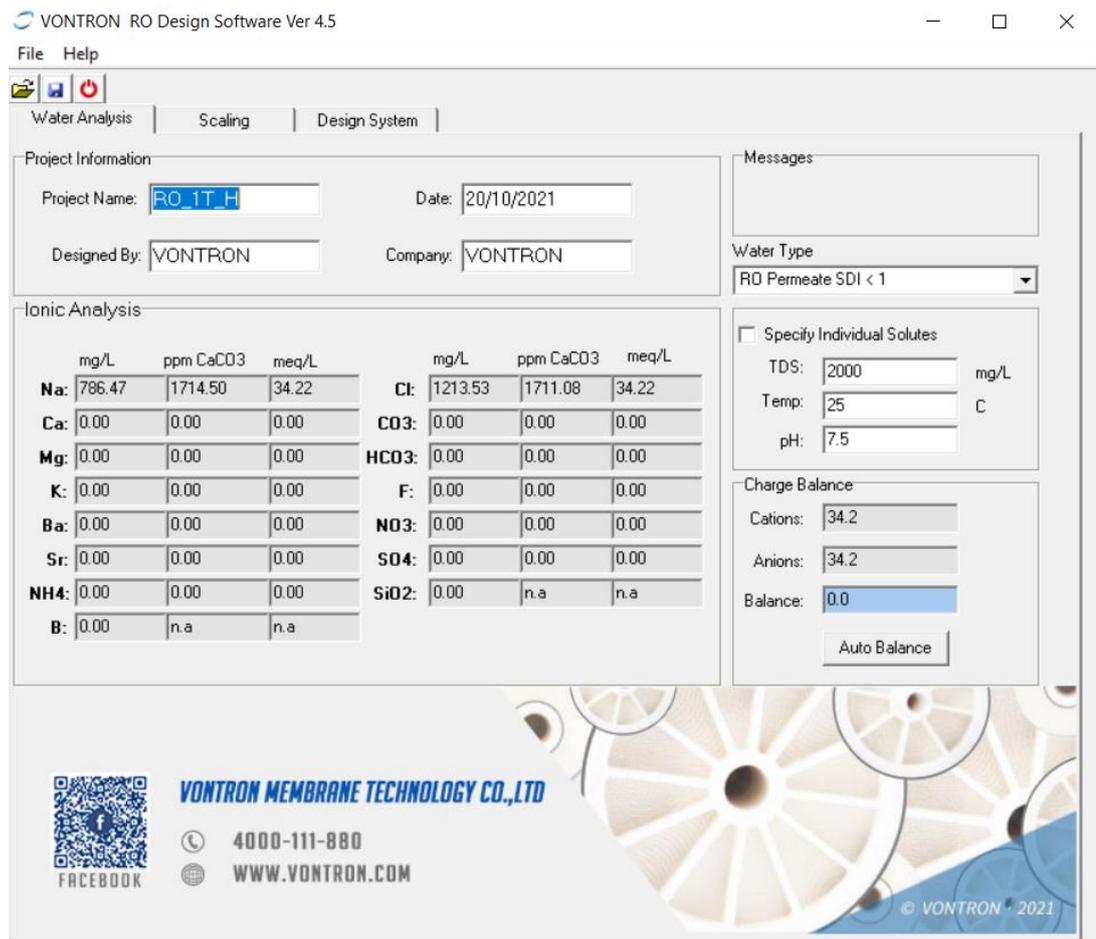
\*Cualquier programa exclusivo (como un antivirus) deberá cerrarse antes de instalar el software de diseño.

\*El usuario de Windows NT debe llevar a cabo la instalación con el estatus de administrador.

### Pasos para el uso:

**Figura 14**

*Interface del software VONTRON – valores de entrada características del agua de alimentación- ANALISIS DE AGUA*



VONTRON RO Design Software Ver 4.5

File Help

Water Analysis | Scaling | Design System

Project Information

Project Name:  Date:

Designed By:  Company:

Messages

Water Type

Specify Individual Solutes

TDS:  mg/L

Temp:  C

pH:

Charge Balance

Cations:

Anions:

Balance:

	mg/L	ppm CaCO3	meq/L		mg/L	ppm CaCO3	meq/L
<b>Na:</b>	786.47	1714.50	34.22	<b>Cl:</b>	1213.53	1711.08	34.22
<b>Ca:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>CO3:</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Mg:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>HCO3:</b>	0.00	0.00	0.00
<b>K:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>F:</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Ba:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>NO3:</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Sr:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>SO4:</b>	0.00	0.00	0.00
<b>NH4:</b>	0.00	0.00	0.00	<b>SiO2:</b>	0.00	n.a	n.a
<b>B:</b>	0.00	n.a	n.a				

VONTRON MEMBRANE TECHNOLOGY CO.,LTD

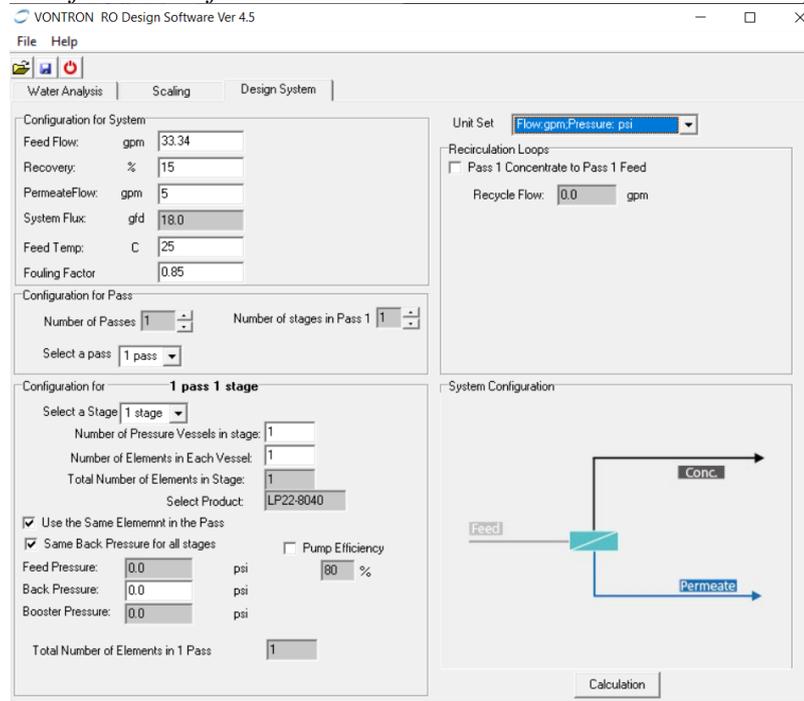
4000-111-880

WWW.VONTRON.COM

© VONTRON - 2021

**Figura 15**

*Interface del software VONTRON– valores de entrada de los parámetros de diseño.*



Una vez definida las condiciones del fluido de alimentación se deberá definir los valores y parámetros requeridos por el sistema en la sección de diseño (ver figura 15). La información mínima requerida a ingresar se detalla a continuación.

1. Flujo permeado.
2. Recuperación del sistema.
3. Número de pasos, con un máximo de 2 pasos.
4. Número de etapas, con un máximo de 6 etapas por paso.
5. Número de contenedores a presión por etapa.
6. Número de membranas por contenedor a presión. (El programa restringe este valor entre 1 a 8 elementos.)
7. Elección de membrana.

El software extiende una nueva ventana para mostrar los modelos disponibles por el sistema, junto a las especificaciones de cada element Otros factores que son posibles especificar o incluir en el programa son expuestos a continuación.

- pH y dosificación de químicos. Es posible ajustar el valor de pH adicionando HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH en la corriente de alimentación.
- Vida útil membrana. Se puede definir la utilidad de las membranas, lo cual, en términos prácticos representa indirectamente el rendimiento considerado por el usuario para las membranas en base a su posible ensuciamiento y/u operación.
- Disminución del flujo por año. Corresponde al valor porcentual recomendado en base a la calidad del agua. Se define como el factor de ensuciamiento.
- Incremento del paso de sal por año. Corresponde a un valor recomendado en base a la calidad del agua, el cual es útil para proyectar el rendimiento en el tiempo.
- Recalculo del arreglo seleccionado. Como se mencionó al inicio de este capítulo, el software permite ajustar el arreglo seleccionado por uno más apropiado en base a las condiciones previas establecidas.
- Presión de permeado por etapa. El ingreso de este valor repercutirá directamente sobre la calidad del agua y el factor Beta.
- Presión de compensación, o también llamada bomba booster. Corresponde a la presión que debe ser solventada para la alimentación del siguiente paso o etapa en el sistema.
- Dispositivo de recuperación de energía. Es posible establecer una turbina o un intercambiador de presión para reducir el gasto energético. El valor de la presión de permeado debe ser previamente estimado para ser ingresado.

- Recirculación de concentrado y bypass, se puede definir una cantidad de flujo que será retornado al sistema a partir del flujo concentrado producido. Sistema híbrido de membranas. El software permite evaluar diferentes tipos de membrana en el mismo sistema acorde a lo requerido por el usuario.
- Evaluación de los costos operacionales, incluyendo el consumo de químicos.

Una vez ingresados todos los parámetros a considerar, el software proyectará la calidad del agua producida y los flujos por etapa, junto a los índices de ensuciamiento y alertas sobre resultados fuera de los límites recomendados. Adicionalmente el software permite visualizar la proyección por elemento de membrana incluyendo al factor Beta.

## 1.2. Formulación del problema

### Problema General

- ¿Será posible simular mediante el programa vontron la desalinización de un agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable?

### Problemas Específicos

- ¿Cuáles serán las características del agua salobre que se utilizará en la simulación con el programa Vontron para la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable?
- ¿Cuáles serán los parámetros de diseño y de operación del sistema de osmosis inversa para la desalinización de agua salobre a partir de la simulación con el programa Vontron?

- ¿Cuáles serán los parámetros físico químicos del agua potable obtenida de la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa aplicando el programa Vontron?

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo general

- Aplicar el programa Vontron para simular la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable.

#### Objetivos específicos

- Determinar las características del agua salobre que se utilizara en la simulación con el programa Vontron la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable.
- Determinar los parámetros de diseño y de operación del sistema de osmosis inversa para la desalinización de agua salobre a partir de la simulación con el programa Vontron.
- Determinar los parámetros físico químicos del agua potable obtenida de la desalinización mediante osmosis inversa a partir de la simulación con el programa Vontron.

### 1.4. Hipótesis

#### Hipótesis general

- La aplicación del programa Vontron permite la simulación de la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa en la obtención de agua potable.

### **Hipótesis específicas**

- La caracterización del agua salobre que se utilizara en la simulación aplicando el programa Vontron permite obtener agua potable con la desalinización mediante osmosis inversa.
- La caracterización de los parámetros de diseño y de operación del sistema de osmosis inversa permite obtener la desalinización de agua salobre con la simulación aplicando el programa Vontron.
- La caracterización de los parámetros físico-químicos del agua potable obtenida de la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa aplicando el programa Vontron permite obtener agua potable.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 Procedimiento**

#### **2.1.1 *Análisis del sistema***

El presente proyecto, se trata de un diseño de una planta de osmosis inversa, teniendo como principal instrumento al software VONTRON. El cual nos brinda una referencia sobre la mejor elección de los filtros de membranas, la estructura del sistema (serie o paralelo) para el distrito de Lurín.

Este proyecto consiste en 3 etapas

- ✓ Toma de muestra del punto de muestreo
- ✓ Análisis de la muestra en laboratorio
- ✓ Simulación de datos con el programa VONTROM

#### **2.1.2 *Diseño del sistema***

##### **i. Toma de muestra del punto de muestreo**

Para el desarrollo de esta primera etapa, se ha tomado en cuenta que el muestreo se realizó en base al I-OPE-1.4 MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES, instructivo del laboratorio ALAB ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. Lo cual hace en consideración el debido procedimiento para la toma de muestra. Teniendo en cuenta los parámetros insitu y exsitu.

**Figura 16**

*Paso 1. Realizamos el acondicionamiento del lugar para un adecuado muestreo.*



**Figura 17**

*Paso 2: A continuación, se procedió a realizar la limpieza del envase donde se dispondrá la muestra de agua.*



**Figura 18**

*Paso 3: Posteriormente, se continúa con el análisis de los parámetros insitu PH, Temperatura y Conductividad en ese orden.*



**Figura 19**

*Paso 4: A continuación, se realiza el trasvase de la muestra a los diferentes frascos con su etiquetado correspondiente de nombre de punto de muestreo, hora, fecha y parámetro de análisis.*



**Figura 20**

*Paso 5 Asimismo, se realiza la preservación de la muestra, con su respectivo preservante según corresponda el parámetro de análisis.*



**Figura 21**

*Paso 6: Finalmente se realiza la conservación de la muestra en el envase adecuado (cooler) el cual hará uso, de mantener la muestra en la condiciones adecuadas para llevarlas al laboratorio para su posterior análisis.*



## **ii. Análisis de la muestra en el laboratorio**

Para la esta siguiente etapa, el laboratorio contratado se encarga de realizar el análisis correspondiente de los parámetros fisicoquímicos con su respectivo método de ensayo. Los cuales son los siguientes:

- Demanda Química de Oxígeno
- Sólidos Suspendedos Totales
- Turbidez
- Aniones
- Metales totales ICPOES

El laboratorio ALAB nos emitió el informe de ensayo IE-21-15176 donde se podrá apreciar los resultados de los análisis fisicoquímicos de los parámetros, asimismo, los métodos de ensayo y la descripción del instructivo de muestreo que se realizó en campo. (ver anexo N°2)

## **iii. Simulación de los datos con el programa VONTROM**

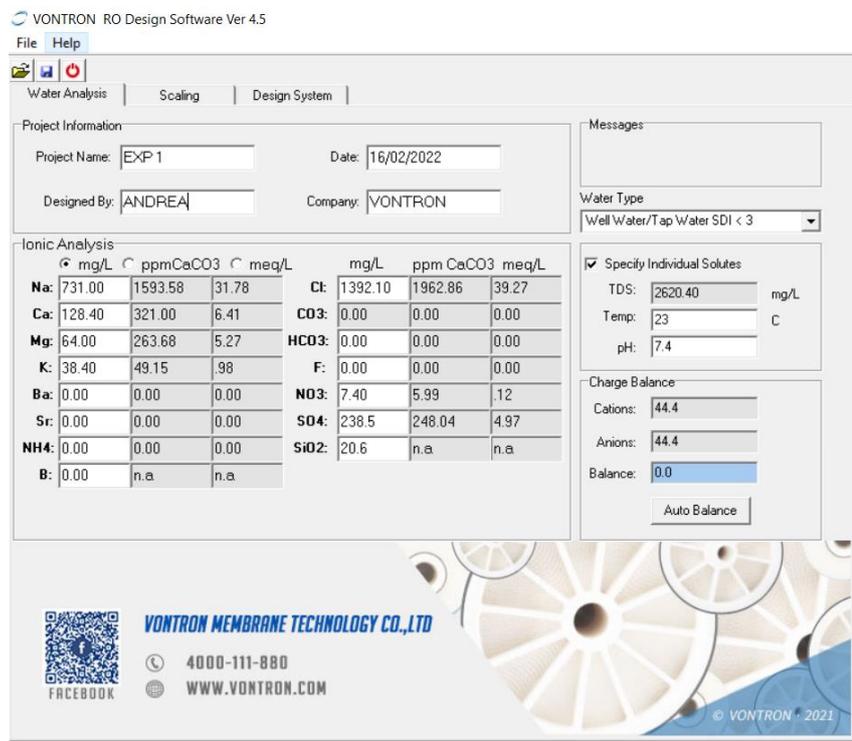
- **Implementación del sistema**

Se desea un sistema para una muestra que abarca la población aproximada de 200 personas para el distrito de Lurín, donde el flujo de alimentación (caudal) de dicho sistema efectuara entre 5 y 8 m<sup>3</sup> al día, se proyectara al sistema a una concentración de 2620 y 5000 ppm al día, varía según estación de temporada. El sistema tendrá un valor de SDI (índice de sedimentos) menor a 3, pH de 7,4 y una temperatura entre 23 – 28 °C según temporada con una alimentación de 6,6 Bar de presión.

La concentración de resultado debe tener una composición menor a 1000mg/l según el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (DIGESA).

Asimismo, los datos obtenidos se pasarán al programa VONTRON para la obtención de un adecuado diseño de sistema de osmosis inversa.

**Figura 22**  
*Introducción de datos en el software VONTRON*



VONTRON RO Design Software Ver 4.5

File Help

Water Analysis | Scaling | Design System

Project Information

Project Name: EXP 1 Date: 16/02/2022

Designed By: ANDREA Company: VONTRON

Messages

Water Type: Well Water/Tap Water SDI < 3

Ionic Analysis

	mg/L	ppm CaCO3	meq/L		mg/L	ppm CaCO3	meq/L
Na:	731.00	1593.58	31.78	Cl:	1392.10	1962.86	39.27
Ca:	128.40	321.00	6.41	CO3:	0.00	0.00	0.00
Mg:	64.00	263.68	5.27	HCO3:	0.00	0.00	0.00
K:	38.40	49.15	.98	F:	0.00	0.00	0.00
Ba:	0.00	0.00	0.00	NO3:	7.40	5.99	.12
Sr:	0.00	0.00	0.00	SO4:	238.5	248.04	4.97
NH4:	0.00	0.00	0.00	SiO2:	20.6	n.a	n.a
B:	0.00	n.a	n.a				

Specify Individual Solutes

TDS: 2620.40 mg/L

Temp: 23 C

pH: 7.4

Charge Balance

Cations: 44.4

Anions: 44.4

Balance: 0.0

Auto Balance

VONTRON MEMBRANE TECHNOLOGY CO.,LTD

4000-111-880

WWW.VONTRON.COM

© VONTRON - 2021

Luego de haber digitalizado los diferentes aniones y cationes, extraídos del informe de resultados del monitoreo de agua, la cantidad del pH, para el agua desalinizada y la temperatura, con lo cual los ajusta a lo más posible según resultados, también se selección el valor del SDI para el agua de pozo, dicho valor es menor a 3.

A continuación, se procede con la siguiente ventana, ESCALA (salín) donde se podrá corregir la alimentación a los filtros.

**Figura 23**

*Ventana de escala de información en el software VONTRON (desarrollo).*

VONTRON RO Design Software Ver 4.5

File Help

Water Analysis | **Scaling** | Design System

Scaling Calculation options:

- No chemicals added
- User adjusted pH values
- Ion exchange softening
- Dosing Antiscalants

Feed Water

Recovery(%):

Temp(C):

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.40	7.40	7.92
TDS	2620.40	2620.40	8734.67
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.02	-6.02	-4.65
Stiff&Davis Index	-6.68	-6.68	-5.54
CaSO4 Saturation %	4.49	4.49	20.45
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12
SiSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	16.88	16.88	53.33

Messages

 **VONTRON MEMBRANE TECHNOLOGY CO.,LTD**

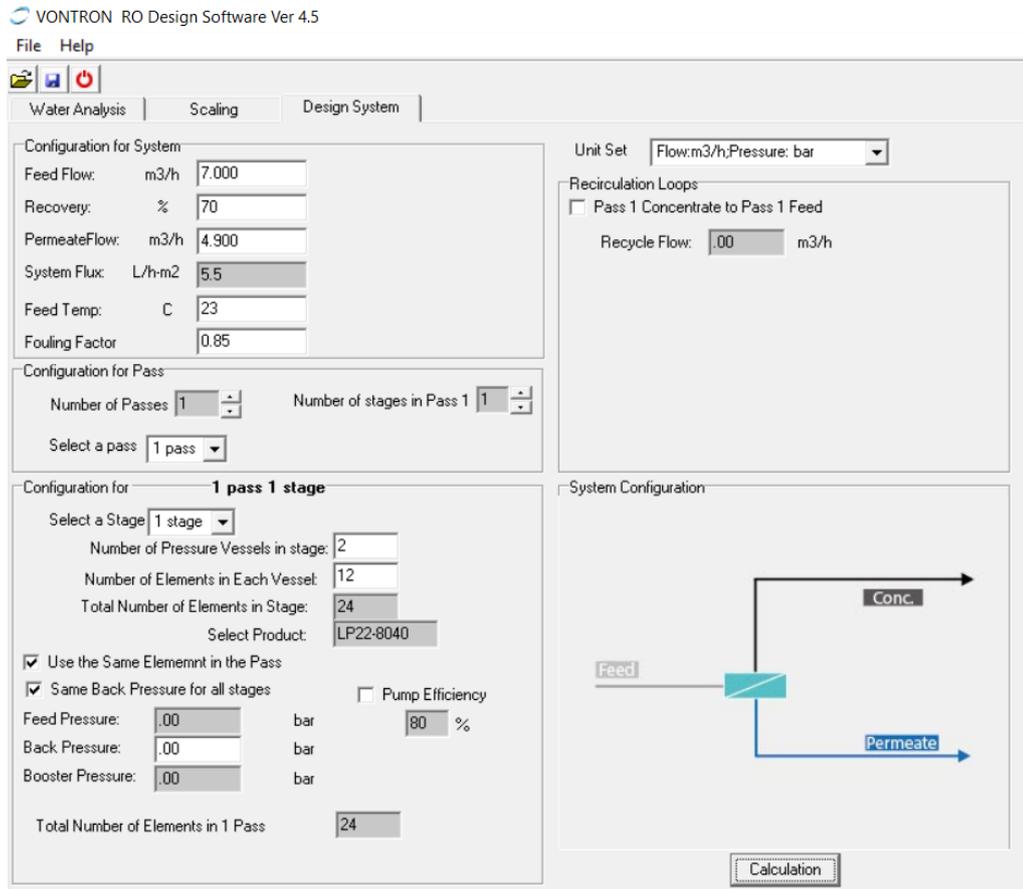
4000-111-880

WWW.VONTRON.COM

© VONTRON - 2021

Como se puede observar en la figura 23, el programa nos pide que, para el tipo de agua a elección, pongamos un porcentaje de recuperación, que, según teoría en el manual y sus clasificaciones, corresponde a un 70% y una temperatura de 23°C respectivamente. Luego nos vamos a la ventana de sistema de diseño (design system) para introducir datos finales.

**Figura 24**  
Ventana de diseño de sistema en el software VONTRON (desarrollo).



En este punto, primeramente, pondremos el caudal mencionado en nuestra matriz de experimentos, el porcentaje de recuperación a considerar según especificaciones del manual, el cual estará en el Anexo N° 3 y tomaremos como referencia algunos puntos importantes:

- Guía de diseño del elemento de membrana VONTRON. (Vontron technology Co)
  1. La tendencia al ensuciamiento del agua de alimentación es el factor que más influye en el diseño del sistema de membranas. Una tasa de flujo de

permeado del sistema y una tasa de recuperación del sistema excesivamente altas pueden ser aptas para provocar una mayor velocidad de ensuciamiento y una limpieza química más frecuente. La siguiente guía de diseño contiene los parámetros de experiencia resumidos a partir de muchos datos de diseño de ingeniería y funcionamiento para varios tipos de fuentes de agua. El sistema diseñado según esta guía puede tener una mayor duración de funcionamiento y una menor frecuencia de limpieza.

**Figura 25**  
*Guía de diseño de parámetros*

Feedwater Type	RO Permeate Water	Tap Water	Surface Water		Seawater		Wastewater		
			MF	Conventional Treatment	MF	Conventional Treatment	MF	Conventional Treatment	
Feedwater SDI <sub>15</sub>	<1	<3	<3	<5	<3	<5	<3	<5	
Recomm System Permeate Flow (GFD)	25~30	16~20	14~18	12~16	8~12	7~10	8~13	7~12	
Max Recovery of Single Element (%)	30	20	17	15	13	10	13	10	
Max Permeate Flow (gpd/m <sup>2</sup> /d)	2540-size	800 (3.0)	700(2.6)	600(2.3)	500(1.9)	500(1.9)	400(1.5)	500(1.9)	400(1.5)
	4040-size	2400 (9.1)	2000(7.6)	1600(6.1)	1500(5.7)	1400(5.3)	1200(4.5)	1400(5.3)	1200(4.5)
	8040-size (365ft <sup>2</sup> )	10000(38)	8300(31)	7200(27)	6500(25)	5900(22)	5200(20)	5900(22)	5200(20)
	8040-size (400ft <sup>2</sup> )	11000(42)	9100(34)	7900(30)	7200(27)	6400(24)	5700(22)	6400(24)	5700(22)
Min. Concentrate Flow gpm(m <sup>2</sup> /h)	2540-size	0.7(0.16)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)	1(0.2)
	4040-size	2(0.5)	3(0.7)	3(0.7)	3(0.7)	3(0.7)	4(0.9)	4(0.9)	5(1.1)
	8040-size (365ft <sup>2</sup> )	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	13(3.0)	15(3.4)	16(3.6)	18(4.1)
	8040-size (400ft <sup>2</sup> )	10(2.3)	13(3.0)	13(3.0)	15(3.4)	13(3.0)	15(3.4)	18(4.1)	20(4.6)
Max Feedwater Flow gpm(m <sup>2</sup> /h)	2540-size	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)	6(1.4)
	4040-size	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)	16(3.6)
	8040-size (365ft <sup>2</sup> )	65(15)	65(15)	63(14)	58(13)	63(14)	56(13)	52(12)	52(12)
	8040-size (400ft <sup>2</sup> )	75(17)	75(17)	73(16.6)	67(15)	70(16)	62(14)	61(14)	61(14)

2. Recoger los datos pertinentes y conocer la información relativa a la naturaleza y la calidad de la fuente de agua. Seleccionar el tipo de elemento de membrana y determinar el caudal medio de permeado del sistema.
3. Seleccionar la serie LP para agua salobre como agua de alimentación.
4. Seleccionar un elemento de membrana de tamaño 4040 o inferior para aquellas aplicaciones con un flujo de permeado del sistema inferior a 3 toneladas por hora, o seleccione un elemento de membrana de tamaño 8040 para aquellas aplicaciones con un flujo de permeado del sistema igual o superior a 3 toneladas por hora. Cuando el caudal de permeado es de  $3\text{m}^3/\text{h}$  y superior, seleccionar el elemento de membrana de tamaño 8040. En nuestro caso se selecciona el tamaño 8040 ya que nuestro flujo de permeado de  $5\text{m}^3$  equivale a 4.92 toneladas.
5. El caudal medio de permeado del sistema se obtiene según los datos obtenidos de la experimentación y la experiencia en el campo, o puede calcularse según la guía de diseño correspondiente al tipo de agua de alimentación. En nuestro caso según el diseño se optara por seguir la guía de diseño del manual.
6. Para determinar la cantidad de elementos de la membrana en serie y el número de pasos de etapas se seguirá lo siguiente:

Paso: Se refiere al número de veces de permeación del agua bruta, es decir, el número de veces que el agua filtrada permea a través de la membrana.

Etapas: Se refiere al número de veces que el agua de alimentación pasa por el recipiente a presión, o lo que es lo mismo, el número de veces que el agua rechazada pasa por diferentes recipientes a presión.

**Figura 26**  
*Numero de membranas de elementos en serie vs Velocidad máxima de recuperación del sistema*

Number of Membrane Elements in Series	Maximum System Recovery Rate (%)
1	15~20%
2	28~33%
3	38~43%
4	43~48%
5	43~52%
6	50~60%
12	70~80%
18	85~90%

7. Cálculo del número de elementos de membrana y la presión de recipientes:

Nº de elementos de membrana: caudal de permeado de diseño / (tasa de recuperación) \* (área de la membrana)

$$\text{Nº de elementos de membrana: } 24 \cdot 60 \cdot 24 / 400 \cdot 7 = 12.34$$

Nº de recipientes a presión= Nº de elementos de membrana/ Nº de elementos de membrana en un recipiente a presión. (Con el resultado redondeado). = 12.34/6 = 2.05 = 2.

8. Coeficiente de ensuciamiento: cuanto más perfecto sea el pretratamiento y menor sea el valor de SDI, menor será la superficie ensuciada y mayor será

el valor del factor de ensuciamiento.

**Figura 27**  
*Coefficiente de ensuciamiento*

Los coeficientes de ensuciamiento recomendados son los siguientes

Duración de la carrera (año)	1 año	3 años	5 años
Agua filtrada por ósmosis inversa (SDI<1)	0.95	0.90	0.90
Agua del grifo (SDI<3)	0.90	0.85	0.70
Aguas superficiales (filtración convencional)	0.85	0.80	0.70
Aguas superficiales (microfiltración o ultrafiltración)	0.90	0.85	0.80
Agua de mar (agua de pozo profundo / microfiltración)	0.85	0.80	0.70
Agua de mar (convencional)	0.75	0.70	0.60
Aguas residuales (Microfiltración o Ultrafiltración)	0.80	0.75	0.70
Aguas residuales (tratamiento convencional)	0.75	0.65	0.55

9. La tasa de recuperación: se refiere al porcentaje de agua permeada con respecto al agua de alimentación total. La tasa de recuperación del sistema depende del número de elementos de la membrana en serie y de si hay reflujos de agua concentrada. A continuación, se muestra el rango de la tasa de recuperación:

**Figura 28**  
*Rango de tasa de recuperación*

Tasa de recuperación del sistema (%)	Número de elementos de membrana en serie	Número de etapas con presión Recipiente que contiene 6 elementos
40—60	6	1
70—80	12	2
85—90	18	3

10. Cuando el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS es inferior a 8000mg/l, seleccionar la serie LP (baja presión). Por ellos dicha membrana LP22-8040

será la seleccionada.

11. Luego de ello, se determinó el número de pasos del sistema de osmosis inversa en función de la conductividad real del agua de alimentación y de la conductividad deseada del agua permeada, introducir el caudal de permeado y el caudal de agua de alimentación, así como la tasa de recuperación en cada paso, para luego determinar el número de etapas del sistema de osmosis inversa en función de la recuperación y del número de elementos de la membrana.

12. Por último, haciendo clic en el botón “calcular”, el software calculará el funcionamiento simulado del sistema de osmosis inversa y aparecerá una ventana con los resultados del cálculo.

**Figura 29**  
Hoja de resultados de software Vontron

Ver 4.5		VONTRON							
<b>Project Information</b>									
Project Name:	EXP001	Date:	15/12/2021						
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON						
<b>System Summary -- Pass 1</b>									
Feed Flow to Stage 1	7.1	m3/h	PermeateFlow: 5.0 m3/h						
Raw Water Flow to System	7.1	m3/h	Recovery: 70.0 %						
Feed Pressure:	6.6	bar	Feed Temp: 23.0 C						
Feed TDS	2620.3	ppm	Number of Elements 24						
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux 5.6 L/h-m2						
Fouling Factor	0.85		WaterType Well Water/Tap Water SDI < 3						
Power	1.80	KW	Specific Energy 0.32 KWh/m3						
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening No						
<b>Array</b>									
Array	1								
Elements Model	LP22-8040								
No. of PV	2								
Elements per PV	12								
Boostpump pressure	N/A								
Permeate back pressure	.00								
<b>Summary of All Stages -- Pass 1</b> Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm									
Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	7.1	6.4	2.1	6.2	5.0	133.9
<b>Ionic Summary -- Pass 1(ppm)</b>									
Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate					
Na	731.0	731.0	2339.3	41.7					
Ca	128.4	128.4	418.4	4.1					
Mg	64.0	64.0	208.5	2.0					
K	38.4	38.4	120.2	3.3					
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0					
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0					
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0					
Cl	1392.1	1392.1	4457.8	78.1					
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0					
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0					
F	0.0	0.0	0.0	0.0					
NO3	7.4	7.4	21.1	1.5					
SO4	238.5	238.5	790.1	2.1					
Ver 4.5				VONTRON					
SIO2				20.6	20.6	67.8	0.3		
CO2				0.0	0.0	0.0	0.0		
Boron				0.0	0.0	0.0	0.0		
TDS				2620.3	2620.3	8423.1	133.3		
<b>Array Details -- Pass 1</b> Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm									
Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure			
1-1	0.12	0.44	33.68	3.57	2620.30	6.44			
1-2	0.13	0.40	41.74	3.13	2980.38	6.44			
1-3	0.13	0.36	52.82	2.73	3409.21	6.40			
1-4	0.13	0.31	68.94	2.37	3916.70	6.36			
1-5	0.13	0.28	93.91	2.06	4503.98	6.32			
1-6	0.12	0.21	133.01	1.80	5152.15	6.29			
1-7	0.10	0.16	191.63	1.58	5824.28	6.27			
1-8	0.09	0.12	276.05	1.42	6477.12	6.25			
1-9	0.07	0.09	394.93	1.30	7067.70	6.24			
1-10	0.05	0.06	565.50	1.21	7566.19	6.22			
1-11	0.04	0.05	806.48	1.14	7961.71	6.21			
1-12	0.03	0.03	1114.58	1.10	8259.91	6.20			
<b>1 Pass RO System Warnings</b>									
1 pass RO system Solubility Warnings									
None									
1 pass RO system Design Warnings									
1 stage Warnings:									
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h):									
None									
<b>Scaling Calculations</b>									
	Feed	Adjusted Feed	Concentrate						
pH	7.39	7.39	7.90						
TDS	2620.30	2620.30	8734.33						
HCO3	0.00	0.00	0.00						
CO3	0.00	0.00	0.00						
CO2	0.00	0.00	0.00						
LSI	-6.70	-6.70	-5.19						
Siff&Davis Index	-6.70	-6.70	-5.56						
CaSO4 Saturation %	4.48	4.48	20.44						
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12						
SiSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00						
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00						
SiO2 Saturation %	16.73	16.73	53.60						

De la misma manera, se realizará con todos los 9 experimentos de la matriz de experiencias.

Ver hoja de resultados en anexo N°4

#### **Análisis de datos:**

El análisis y procesamiento de los datos se efectuó mediante el software estadístico Minitab 19, usando diseño de experimentos se empleará un diseño factorial fraccionado utilizando 3 factores con dos niveles cada uno y con un punto central, donde el programa estadístico procesará los datos y proporcionará las diferentes combinaciones de tratamientos y mediante su aplicación se genera tablas, gráficas y se realizarán las siguientes pruebas estadísticas para determinar el efecto de los factores (temperatura, sólidos totales disueltos y caudal) en las variables respuestas: flujo de alimentación ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), flujo de concentrado ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), presión de alimentación (Bar), presión de concentrado (Bar), energía específica ( $\text{KWh}/\text{m}^3$ ) y sólidos totales disueltos Permeado (ppm):

- Grafica de probabilidad de residuales
- Análisis de varianza (ANOVA)
- Diagrama de Pareto
- Grafica de efectos principales
- Grafica de contorno

A continuación, observaremos un diagrama específico por proceso a realizar en la figura 30.

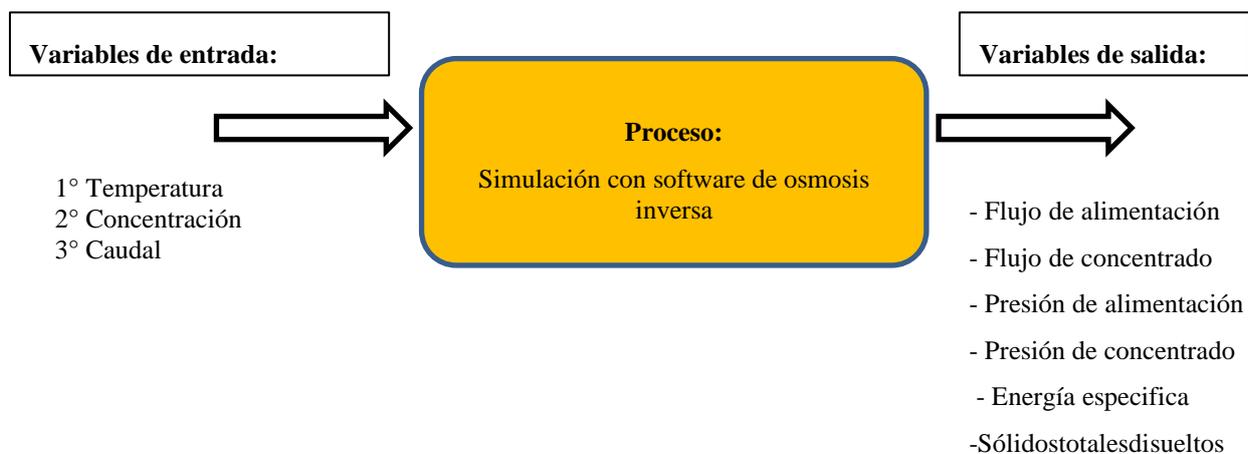
### **Figura 30**

*Diagrama de procesos con variables*



**Figura 31**

*Diagrama del proceso de simulación con software de osmosis inversa con las variables*



**Niveles de experimentación**

**Tabla 12**

*Niveles de experimentación*

Nº	FACTORES	NIVELES
1	X1: Temperatura	23 °C 28 °C
2	X2: Concentración	2620 ppm 5000 ppm
3	X3: Caudal	5 m <sup>3</sup> /d 8 m <sup>3</sup> /d

Fuente: Propia.

**Tabla 13**

*Matriz de experiencias*

EXPERIMENTO	X1: Temperatura (°C)	X2: Concentración (ppm)	X3: CAUDAL (m <sup>3</sup> /d)	RESULTADO

1	23	2620	5	Y1
2	28	2620	5	Y2
3	23	5000	5	Y3
4	28	5000	5	Y4
5	23	2620	8	Y5
6	28	2620	8	Y6
7	23	5000	8	Y7
8	28	5000	8	Y8
9	25.5	3810	6.5	Y9

*Fuente: Propia*

## 2.2 Tipo de investigación

### Según el propósito: Aplicada

Según (Carrasco, 2009) la investigación tiene como finalidad “desarrollar modificaciones en un determinado sector, con la finalidad de transformar y producir cambios en la realidad”

## 2.3 Población

El agua salobre obtenido en el pozo del restaurante “Chicharronera Don David” con coordenadas UTM N: 8644496 E:0290601, ubicado en el AA.HH. Héroes de Cenepa en el Distrito de Lurín en la provincia de Lima Metropolitana departamento de Lima - Perú.

## 2.4 Muestra

El tipo de muestra es puntual, extrayendo una cantidad de 15 litros aproximadamente de agua salobre obtenido en el pozo del restaurante lo cual fue envasado en los diferentes frascos para sus análisis según el instructivo I-OPE-1.4 MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES, para el laboratorio acreditado ALAB ANALYTICAL LABORATORY EIRL.

## 2.5 Materiales e instrumentos

### Materiales de Gabinete

- ✓ Laptop para la elaboración de la investigación: Toshiba modelo satélite C55-C procesador Intel® Core™ i5-5200U CPU, memoria 4GB.
- ✓ Software para el procesamiento de información y elaboración de tesis Microsoft Office 2010 (Excel y Word).
- ✓ Software para la elaboración de planos ArcGIS 10.1.
- ✓ Software VONTRON
- ✓ Minitab y Excel para estadísticas
- ✓ Programa SPSS
- ✓ Útiles y materiales de escritorio: lápices, lapiceros, plumones indelebles, libreta de campo, hojas bond, cuaderno para apuntes.
- ✓ Impresora HP Deskjet 2545, empleada para los documentos entregables de visita de campo y fichas fotográficas.

#### **Materiales de Bioseguridad para la toma de muestra**

- ✓ Mameluco o bata de laboratorio
- ✓ Guantes de látex (exentos de talco) o nitrilo
- ✓ Cubre pelo
- ✓ Mascarilla o Cubrebocas descartable
- ✓ Protector facial (opcional)

#### **Materiales para la toma de muestra**

- ✓ Balde de 20 litros descartable
- ✓ Jarra de plástico
- ✓ Cooler de 50 Litros de capacidad

- ✓ Botellas de plástico 1L con contratapa
- ✓ Botellas de plástico 0.5L con contratapa
- ✓ Botella de plástico de 0.25L con contratapa
- ✓ Cadena de custodia
- ✓ Cuaderno y/o formatos de campo
- ✓ Patrones o soluciones estándar para verificación y ajuste de PH-metro (cada una con su certificado de material referente)
- ✓ Patrones o soluciones estándar para verificación y ajuste del conductímetro (cada una con su certificado de material referente)
- ✓ Soguilla o driza de 20 mts
- ✓ Ice-pack para preservación de la muestra
- ✓ Etiquetas para rotular los frascos
- ✓ Cinta de embalaje transparente
- ✓ Stretch film o parafil, para embalar los coolers
- ✓ Cadena de custodia (elaboración del laboratorio contratado)
- ✓ Agua purificada
- ✓ Plumón de tinta indeleble

### **Instrumentos y Equipos**

- ✓ GPS
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Hach HQ40d
- ✓ Sonda de Potencial de hidrogeno - pH
- ✓ Sonda de Conductividad eléctrica

### **2.5.1 *Análisis de medición de parámetros de campo***

#### **2.5.1.1 Medición de pH y Temperatura**

El pH se mide electroquímicamente, con un sensor que es en realidad una pila voltaica, conformada principalmente por un electrodo de vidrio (muy sensible a la actividad del ion hidronio), un electrodo de referencia y un termómetro. El sensor se introduce en la muestra y el potencial generado por la actividad de los iones hidronio en el electrodo de vidrio se mide al compararlo contra el potencial constante del electrodo de referencia. Como la relación entre el potencial generado por los iones hidronio y su actividad es lineal, se puede conocer con bastante exactitud la actividad de este ion en la muestra y, por tanto, el pH (igual al valor negativo del logaritmo de esta actividad). Para la medición del pH en campo se aplica el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Ed. 2017 (ANEXO 1) y para la medición de la temperatura en campo se aplica el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017 (ANEXO 1) avalados respectivamente por la INACAL.

#### **2.5.1.2 Medición de Conductividad Eléctrica**

La conductividad se mide indirectamente, aplicando un voltaje alternante a uno de dos electrodos que se hallan frente a frente dentro de una celda de dimensiones exactas, y midiendo la resistencia al flujo de corriente que la solución que se halla entre ambos presenta. La resistencia es inversamente proporcional a la conductividad (también denominada “conductancia específica”) y queda ajustada con ésta al momento de calibrar el conductímetro con una solución estándar de conductividad conocida. Para la medición de la conductividad en campo se aplica el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part

2510 B, 23rd Ed. 2017 (ANEXO 1) avalado por la INACAL.

## **2.6 1Metodo de análisis de datos**

Para el método de análisis de datos será básicamente con la herramienta Excel, el programa MINITAB es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas donde se combina el uso del Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos y con el software VONTRON que será el más importante en darnos los resultados.

Adicionalmente para la conservación y preservación de muestras de agua en función a los parámetros evaluados, se tomó en cuenta el “Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano” y las “Guías para la calidad del agua potable, Vol. 1, 2008”, para el monitoreo se usarán métodos acreditados por la INACAL para la medición de parámetros de campo, análisis fisicoquímicos, análisis cromatografía iónica y análisis de metales.

La toma de muestra será desde un pozo subterráneo en el cual se almacena agua salobre, el agua es proveniente de la playa (agua de mar) con una mezcla del agua de los acuíferos. Es necesario mencionar que el procedimiento descrito a continuación será bajo criterio según (Calvo, 2016)

Para la toma de muestra de los parámetros fisicoquímicos evaluados en campo y laboratorio (temperatura, turbidez, pH, conductividad, STD, DQO, SST, STD, aniones, metales totales) es importante en el muestreo la correcta y clara identificación de la muestra, el envase para la toma de muestras debe tener las características apropiadas para el tipo de análisis que se efectuará, así como el transporte al laboratorio para su respectivo análisis, ver tabla N° 14.

Para desarrollar estas actividades de toma de muestras, se recomienda lavarse las manos con agua y jabón detenidamente por lo mínimo 20seg, y tener las medidas de seguridad pertinentes (guantes, bata, cubrebocas, lentes, cofia) con el fin de garantizar la calidad del muestreo. Adicionalmente, se debe realizar previa limpieza y desinfección del área y punto de muestreo (en lo que sea posible).

**Tabla 14**  
*Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro*

Parámetros	Método de análisis	Tipo de envase	Tamaño mínimo de muestra	Preservación	Tiempo de almacenamiento
ANIONES (Sulfato, Fosfato (P-Fosfato), Fluoruros, Nitrato (Nitrato), Cloruros, Nitritos (Nitrito), Clorato, Bromuro), N_Nitrato+N_Nitrito	EPA 300.0	Plástico Frasco de 100mL	100mL	Almacenar entre >0°C a <= 6°C de temperatura.	28 Días  A excepción: Nitrato, Nitrito y Fosfato los cuales son 48 horas
Cloruro	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-Cl - B	Plástico ó Vidrio ámbar	250 mL	No requiere	28 días
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2510 B	Plástico o Vidrio ámbar	100mL	Almacenar entre : >0°C a ≤ 6°C	28 días
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220 B ó SMEWW-APHA-AWWA-WEF 5220 D	Plástico	100mL	Adicionar H2SO4 hasta pH ≤ 2 (añadir 0.5mL o 10 gotas de H2SO4 1:1) Almacenar de :>0°C a ≤ 6°C.	28 días
Metales Totales	EPA - 200.8 / EPA - 200.8 (Validado)	Plástico	100mL Incluir blanco viajero por orden comercial	Adicionar HNO3 1:1 pH < 2 (Añadir aprox. 0.3mL o 6gotas).	2 meses, el Hg sólo 28 días.©
Nitratos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 NO3-F. (Validado).	Plástico	100mL	Almacenar de: >0°C a ≤ 6°C.	48 horas
Sílice(Sílice molibdato reactiva:SiO2,Si-SiO2)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500 SiO2 C	Plástico Frasco de 250mL	250 mL	Almacenar de: > 0°C a ≤ 6°C (°), sin congelar	28 días
Sólidos Totales Disueltos (SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 2540 C	Plástico ó Vidrio ámbar	500 mL Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado. (**)	Almacenar de: > 0°C a ≤ 6°C.	7 días

Conductividad	SMEWW-APHA- AWWA-WEF 2510 B	Plástico ó Vidrio ámbar	500 mL Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado. (**)	Almacenar de: > 0°C a ≤ 6°C.	28 días
Sulfatos	SMEWW-APHA- AWWA-WEF 4500SO4-E	Plástico o Vidrio ámbar	500 mL	Almacenar de: > 0°C a ≤ 6°C.	28 días
Turbidez	SMEWW-APHA- AWWA-WEF 2130 B	Plástico o Vidrio ámbar	100mL	Analizar el mismo día, almacenar en oscuridad por 24 hrs, almacenar de >0°C a ≤ 6°C	48 horas
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SMEWW-APHA- AWWA-WEF 2540 D	Plástico o Vidrio ámbar	1000mL	Almacenar de: > 0°C a ≤ 6°C.	7 días
Temperatura	SMEWW-APHA- AWWA-WEF 2550 B	Plástico	No requiere	No requiere	No requiere

Fuente: (method standard for the examination of water and wastewater, 23 Rd edition , 2017)

En la tabla 14, se observa los parámetros que se han tomado en consideración para trasladar hacia el laboratorio, en el cual describe, el tipo de recipiente donde se debe almacenar las muestras, condiciones en las cuales se debe preservar y almacenar y para finalizar el tiempo máximo de almacenamiento. Es necesario e importante mencionar que se ha seguido el proceso según los métodos aplicados por el laboratorio ALAB, métodos acreditados por la INACAL.

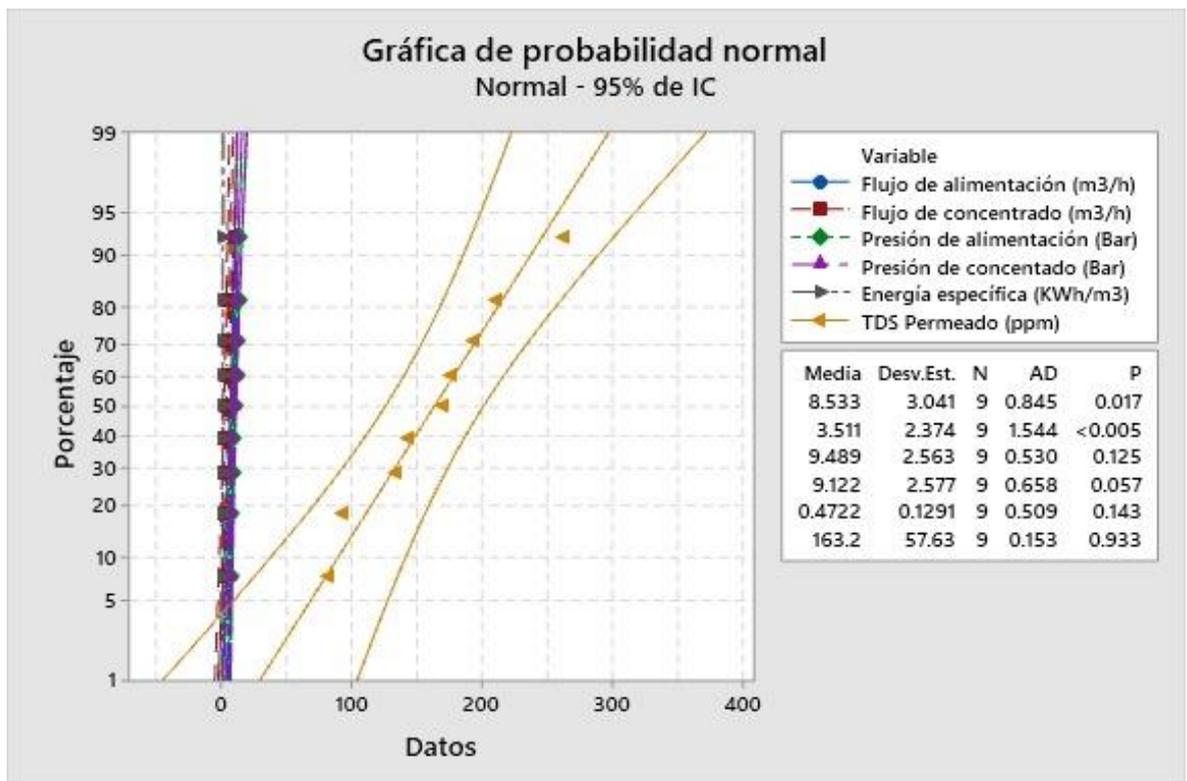
### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se ingreso en el programa MINITAB los datos de las hojas de resultados que nos dió el software como resultado de los 9 experimentos según nuestra matriz de experiencias, se realizó gráficas con los datos flujo de alimentación (m<sup>3</sup>/h), flujo de concentrado (m<sup>3</sup>/h), presión de alimentación (Bar), presión de concentrado (Bar), energía específica (KWh/m<sup>3</sup>) y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Permeado (ppm), los cuales fueron evaluados e ingresados en el programa MINITAB, para evaluar y elegir un tratamiento eficaz.

#### Análisis estadístico

**Gráfico 1**

*Gráfica de probabilidad normal de variables respuestas*



*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

**H<sub>0</sub>:** Los datos siguen una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** Los datos no siguen una distribución normal.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0.05

En el gráfico 1, los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada. El valor p si es mayor que el nivel de significancia de 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, en conclusión, los datos siguen una distribución normal y no presentan mucha variabilidad en los resultados que son la presión de alimentación, presión de concentrado y energía específica.

### Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 15**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para flujo de alimentación.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	36.9800	9.2450	1.00	0.500
Lineal	3	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Temperatura (°C)	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Curvatura	1	36.9800	36.9800	4.00	0.116
Error	4	36.9800	9.2450		
Total	8	73.9600			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

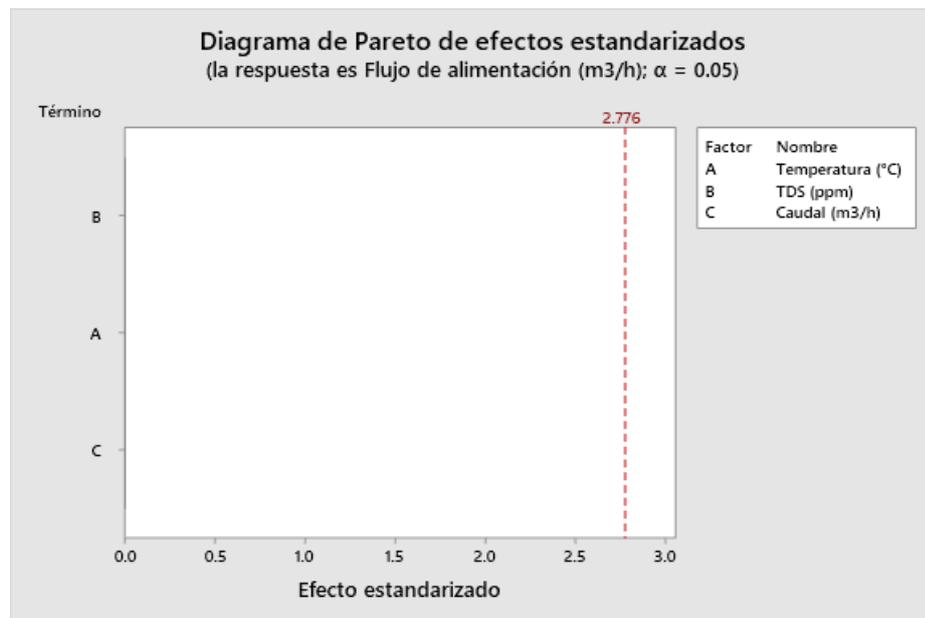
$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9$ , todas las medias (promedios) del flujo de alimentación son iguales (m<sup>3</sup>/h).

$H_1: \tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

En la tabla 15, el Valor  $p > 0.05$ . Se concluye que las medias de los tratamientos no difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal no influyen de manera significativa en el flujo de alimentación.

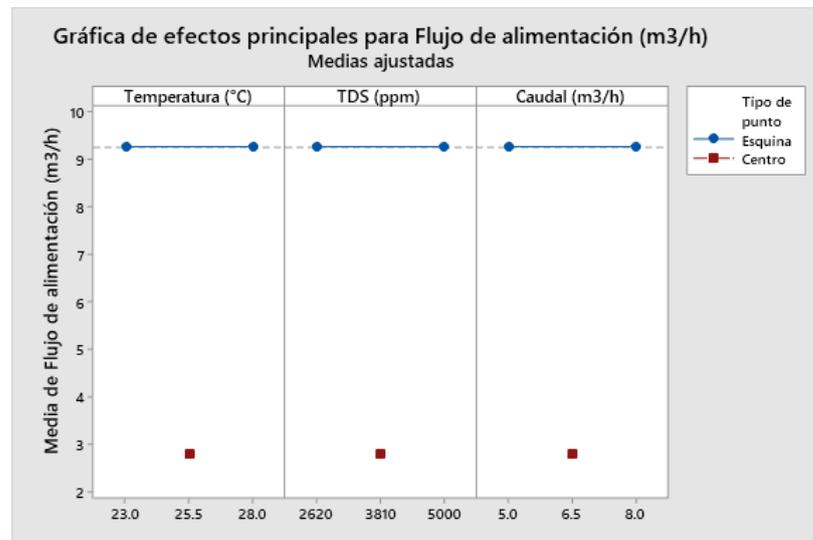
**Figura 32**  
*Diagrama de Pareto Flujo de alimentación*



En la figura 32. Los factores de temperatura, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal no evidencian algún efecto en el flujo de alimentación a un nivel de confianza del 95% ya que no hay variabilidad significativa entre tratamientos.

### Gráfico 2

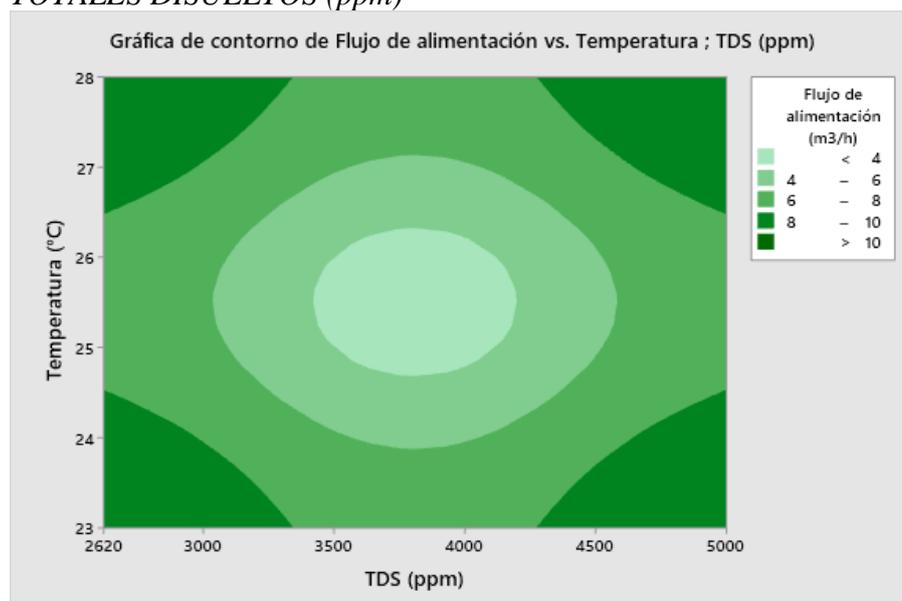
Gráfica de efectos principales para flujo de alimentación



En el gráfico 2, los factores de temperatura, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal en su nivel bajo y alto presentan como resultado un mayor el flujo de alimentación y cuando los factores presentan un nivel medio de temperatura de 25.5 °C, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 3810 ppm y caudal de 6.5 m<sup>3</sup>/h el flujo alimentación es menor.

### Gráfico 3

Gráfica de contorno de Flujo de alimentación vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)



Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En el gráfico 3, me indica que para obtener un flujo de alimentación  $> 10 \text{ m}^3/\text{h}$  se debe tener una temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 2620 ppm y 5000 ppm.

### Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 16**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para flujo de concentrado.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	41.7089	10.4272	12.34	0.016
Lineal	3	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	1	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Curvatura	1	41.7089	41.7089	49.36	0.002
Error	4	3.3800	0.8450		
Total	8	45.0889			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

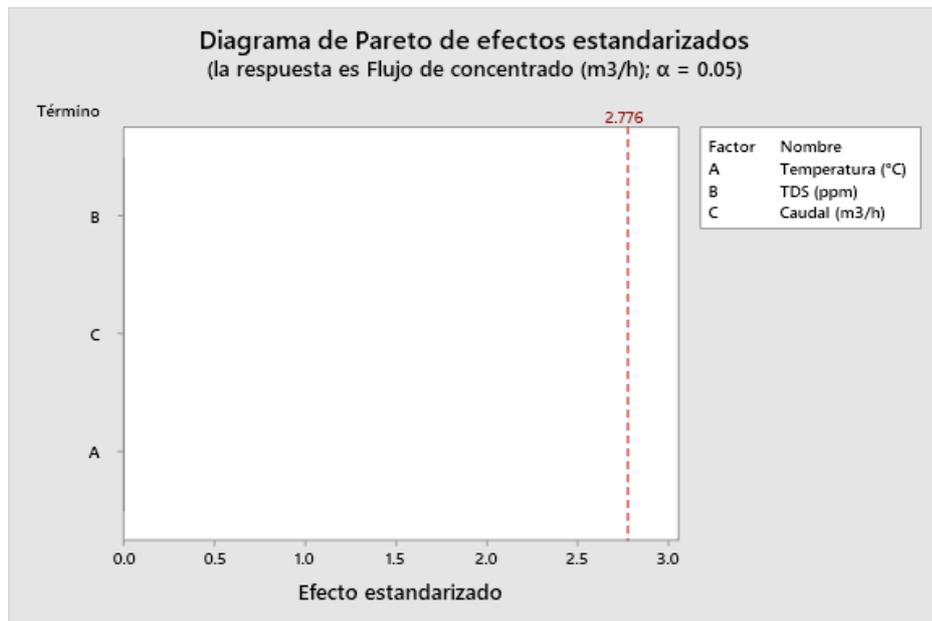
$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9$ , todas las medias (promedios) del flujo de concentrado ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) son iguales.

$H_1: \tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

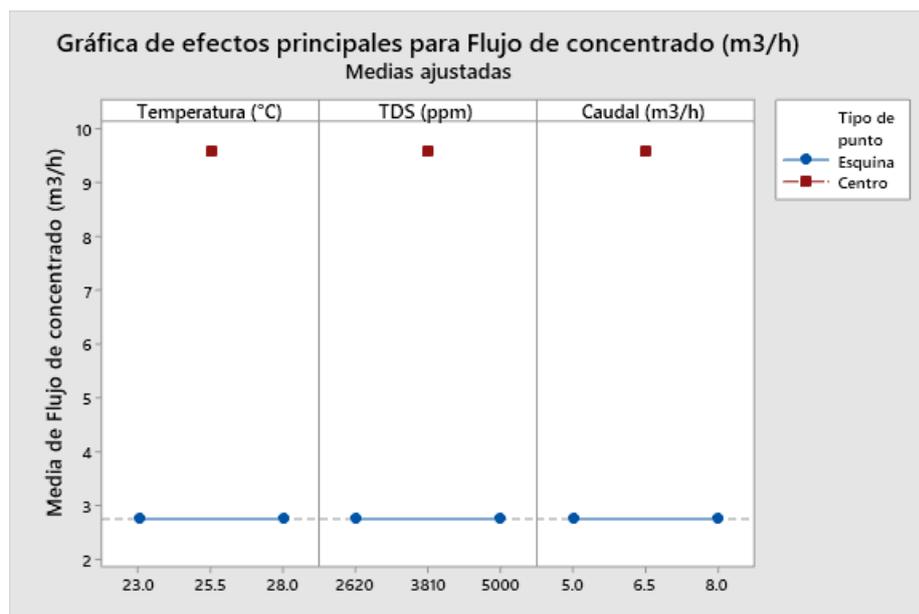
En la tabla 16, el Valor  $p > 0.05$ . Se concluye que las medias de los tratamientos no difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal no influyen de manera significativa en el flujo de concentrado.

**Figura 33**  
*Diagrama de Pareto Flujo de concentrado*



En la figura 33, los factores de temperatura, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal no evidencian algún efecto en el flujo de concentrado a un nivel de confianza del 95% ya que no hay variabilidad significativa entre tratamientos.

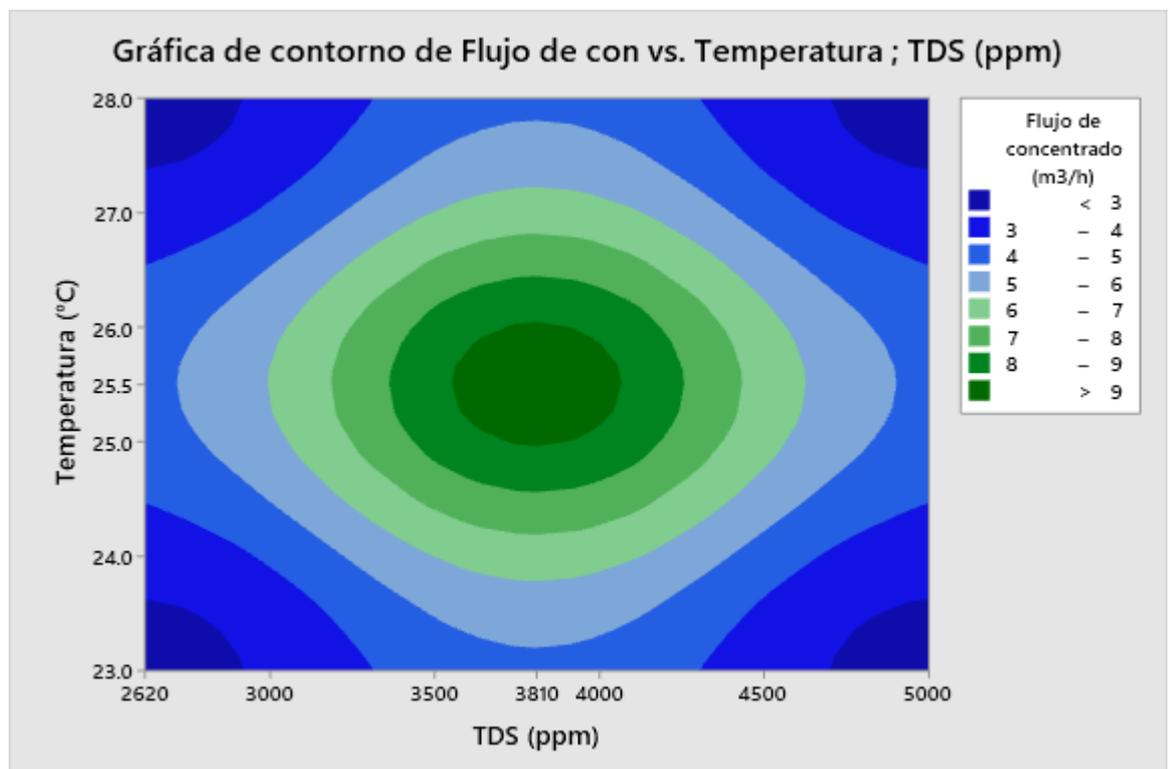
**Gráfico 4**  
*Gráfica de efectos principales para flujo de concentrado*



En la gráfica 4, los factores de temperatura, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal en su nivel bajo y alto presentan como resultado un menor el flujo de concentrado y cuando los factores presentan un nivel medio de temperatura de 25.5 °C, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 3810 ppm y caudal de 6.5 m<sup>3</sup>/h el flujo de concentrado es mayor.

**Gráfico 5**

*Gráfica de contorno de Flujo de concentrado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)*



*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En la gráfica 5, me indican que para obtener un flujo de concentrado > 9 m<sup>3</sup>/h se debe tener una temperatura de 25.5 °C y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 3810 ppm.

## Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 17**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para presión de alimentación.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	50.6339	12.6585	26.17	0.004
Lineal	3	50.5938	16.8646	34.86	0.003
Temperatura (°C)	1	0.0613	0.0613	0.13	0.740
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	50.5013	50.5013	104.40	0.001
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	0.0312	0.0312	0.06	0.812
Curvatura	1	0.0401	0.0401	0.08	0.788
Error	4	1.9350	0.4838		
Total	8	52.5689			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

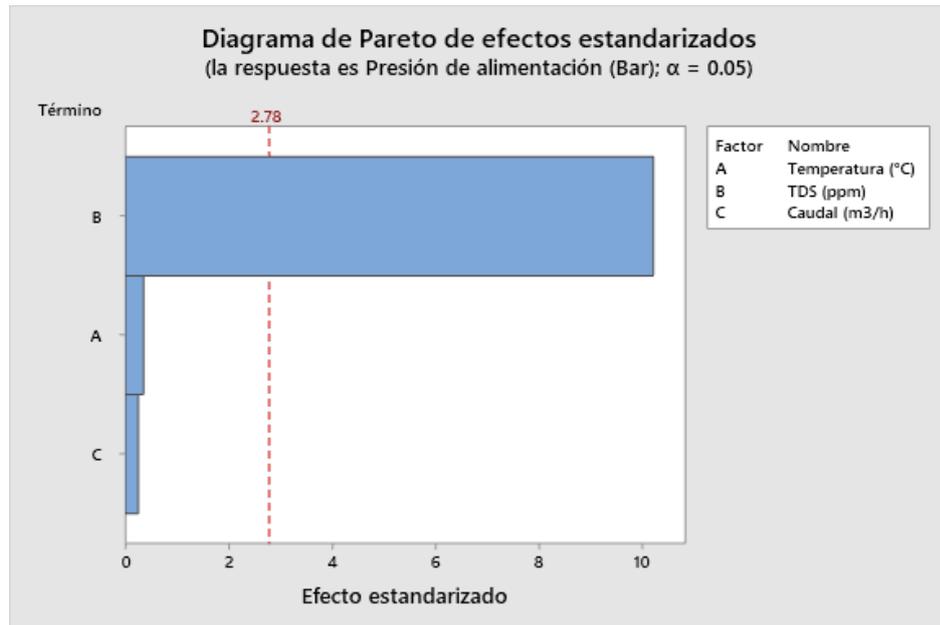
**$H_0$ :**  $\tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau_4=\tau_5=\tau_6=\tau_7=\tau_8=\tau_9$ , todas las medias (promedios) de la presión de alimentación (Bar) son iguales.

**$H_1$ :**  $\tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

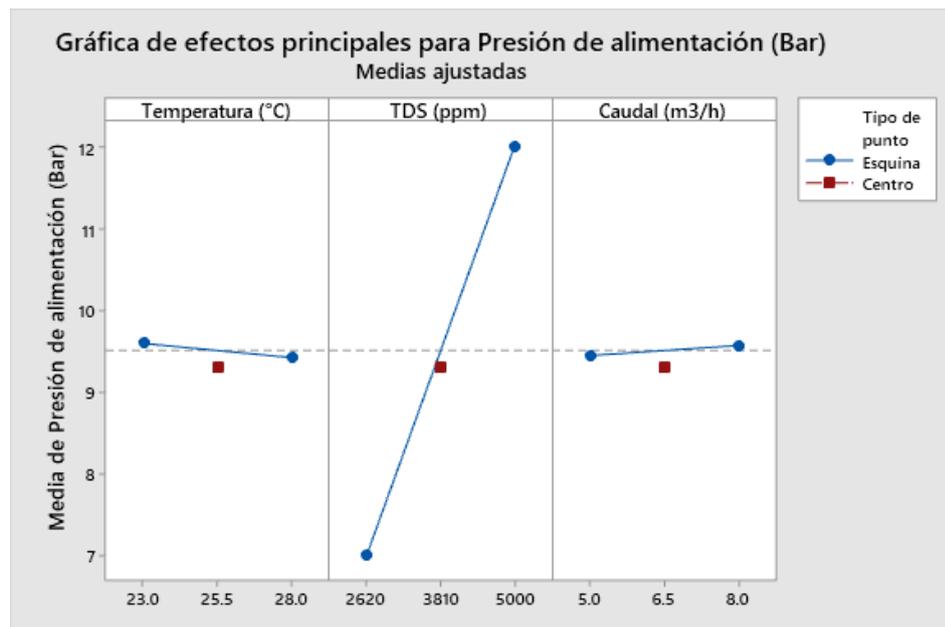
En la tabla 17, el Valor  $p < 0.05$ . Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal influyen de manera significativa en la presión de alimentación.

**Figura 34**  
*Diagrama de Pareto Presión de alimentación*



En la figura 34, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS tiene un mayor efecto que la temperatura y caudal en la presión de alimentación a un nivel de confianza del 95%.

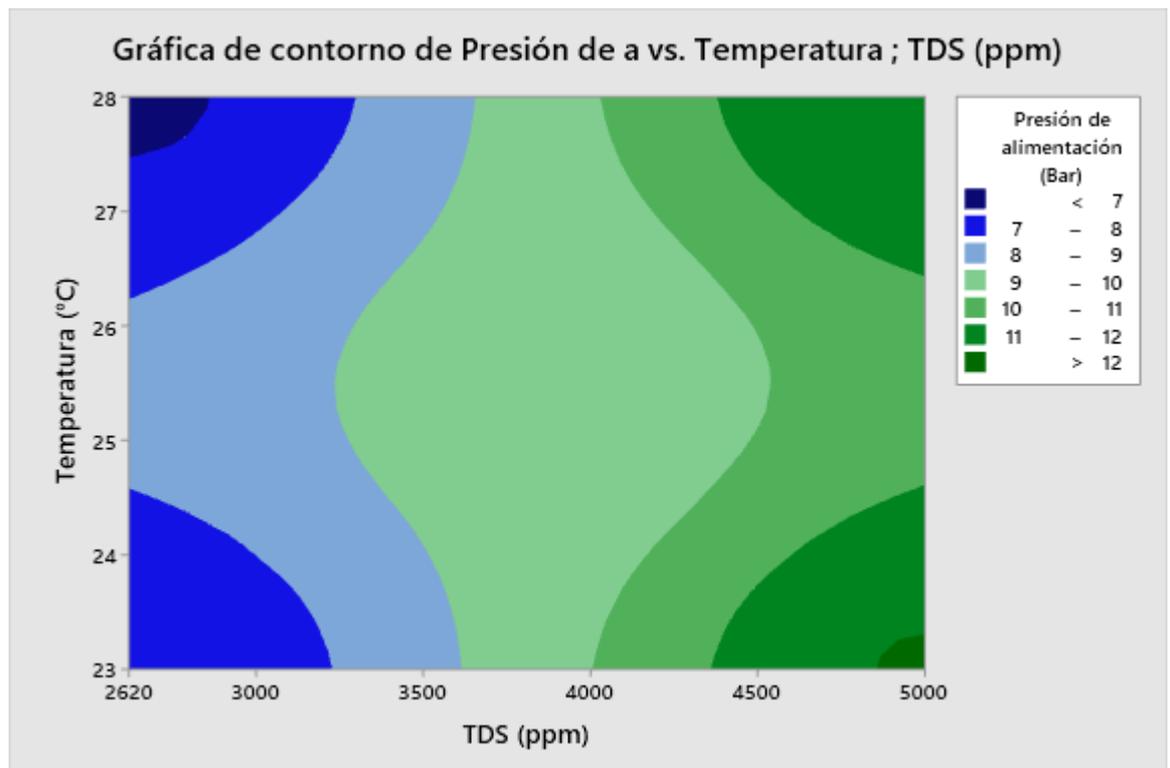
**Gráfico 6**  
*Gráfica de efectos principales para presión de alimentación*



En la gráfica 6, los factores de temperatura en su nivel más bajo de 23 °C, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS en su nivel más alto de 5000 ppm y el caudal en su nivel más alto de 8 m<sup>3</sup>/h presentan como resultado una mayor presión de alimentación.

**Gráfico 7**

*Gráfica de contorno de Presión de alimentación vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)*



*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En la gráfica 7, me indica que para obtener una presión de alimentación > 12 Bar se debe tener una temperatura de 23 °C y 28°C y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 5000 ppm.

## Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 18**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para presión de concentrado.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	52.0956	13.0239	51.07	0.001
Lineal	3	52.0600	17.3533	68.05	0.001
Temperatura (°C)	1	0.0200	0.0200	0.08	0.793
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	52.0200	52.0200	204.00	0.000
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	0.0200	0.0200	0.08	0.793
Curvatura	1	0.0356	0.0356	0.14	0.728
Error	4	1.0200	0.2550		
Total	8	53.1156			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

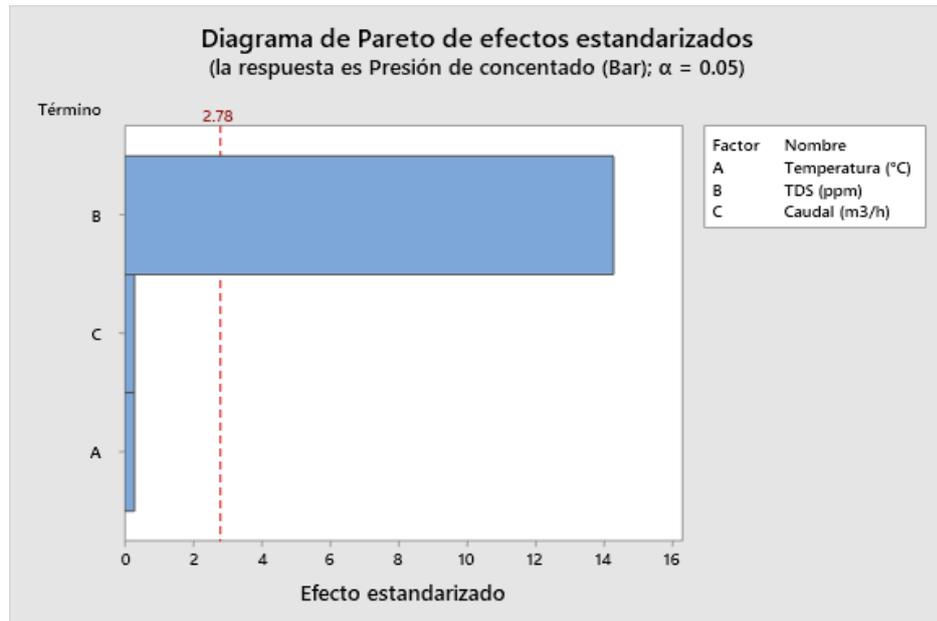
**$H_0$ :**  $\tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau_4=\tau_5=\tau_6=\tau_7=\tau_8=\tau_9$ , todas las medias (promedios) de la presión de concentrado (Bar) son iguales.

**$H_1$ :**  $\tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

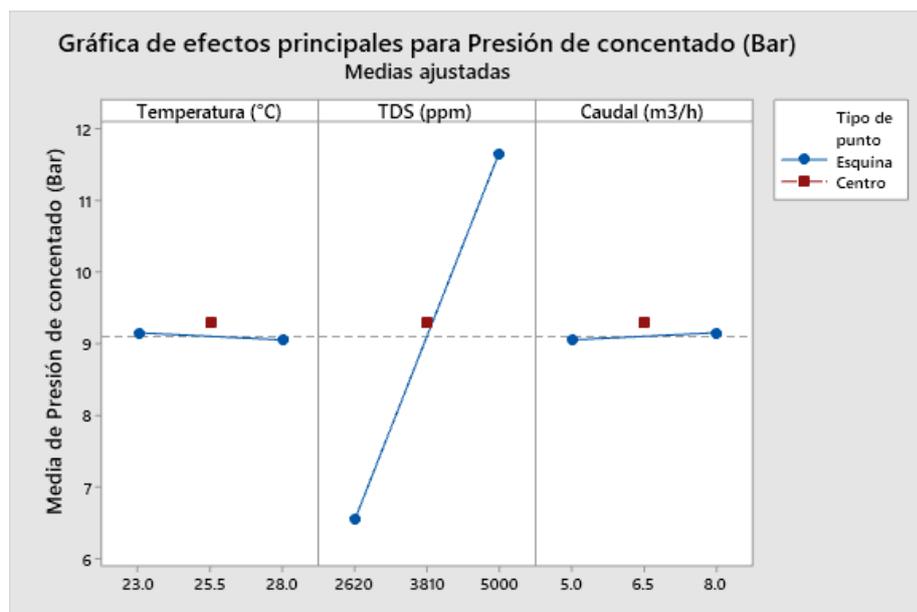
En la tabla 18, el Valor  $p < 0.05$ . Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal influyen de manera significativa en la presión de concentrado.

**Figura 35**  
*Diagrama de Pareto Presión de concentrado*



En la figura 35, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS tiene un mayor efecto que la temperatura y caudal en la presión de concentrado a un nivel de confianza del 95%.

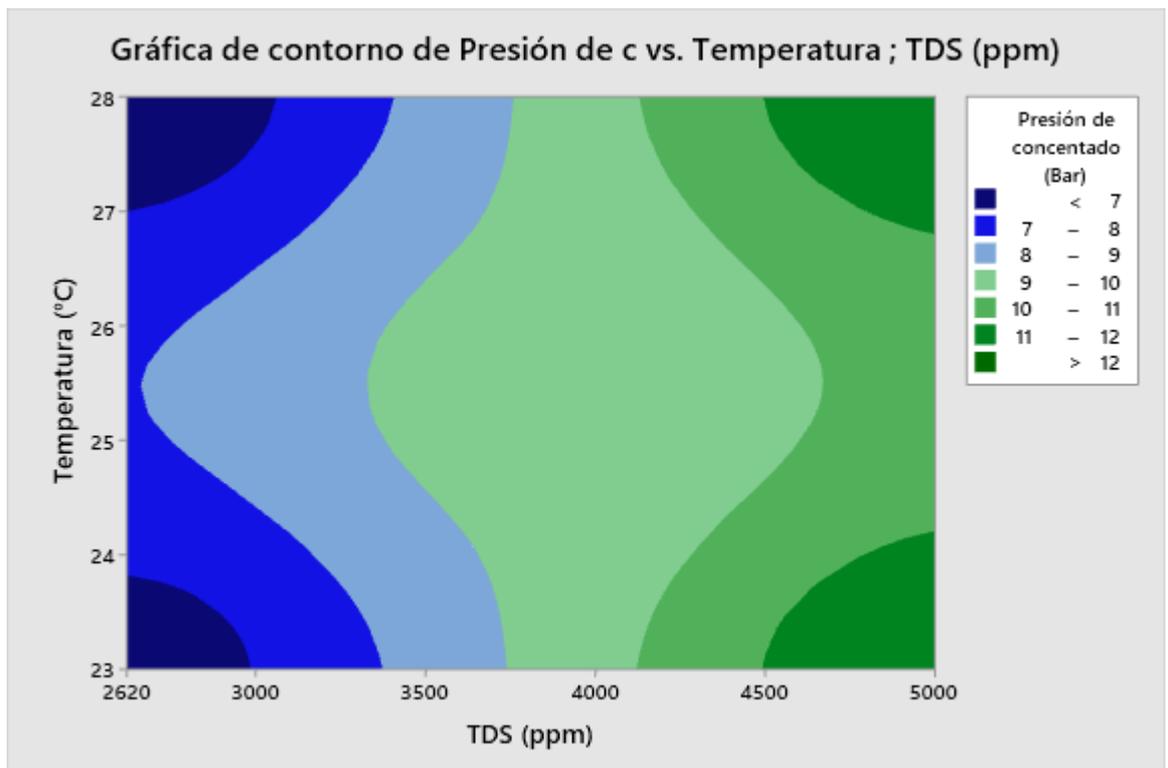
**Gráfico 8**  
*Gráfica de efectos principales para presión de concentrado*



En el gráfico 8, los factores de temperatura en su nivel medio de 25.5 °C, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS en su nivel más alto de 5000 ppm y el caudal en su nivel medio de 6.5 m<sup>3</sup>/h presentan como resultado una mayor presión de concentrado.

**Gráfico 9**

*Gráfica de contorno de la Presión de concentrado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)*



*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En el gráfico 9, me indica que para obtener una la presión de concentrado > 12 Bar se debe tener una temperatura de 23 °C y 28°C y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 5000 ppm.

### Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 19**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para energía específica.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	0.127706	0.031926	22.60	0.005
Lineal	3	0.127638	0.042546	30.12	0.003
Temperatura (°C)	1	0.000112	0.000112	0.08	0.792
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	0.127513	0.127513	90.27	0.001
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	0.000013	0.000013	0.01	0.930
Curvatura	1	0.000068	0.000068	0.05	0.837
Error	4	0.005650	0.001413		
Total	8	0.133356			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

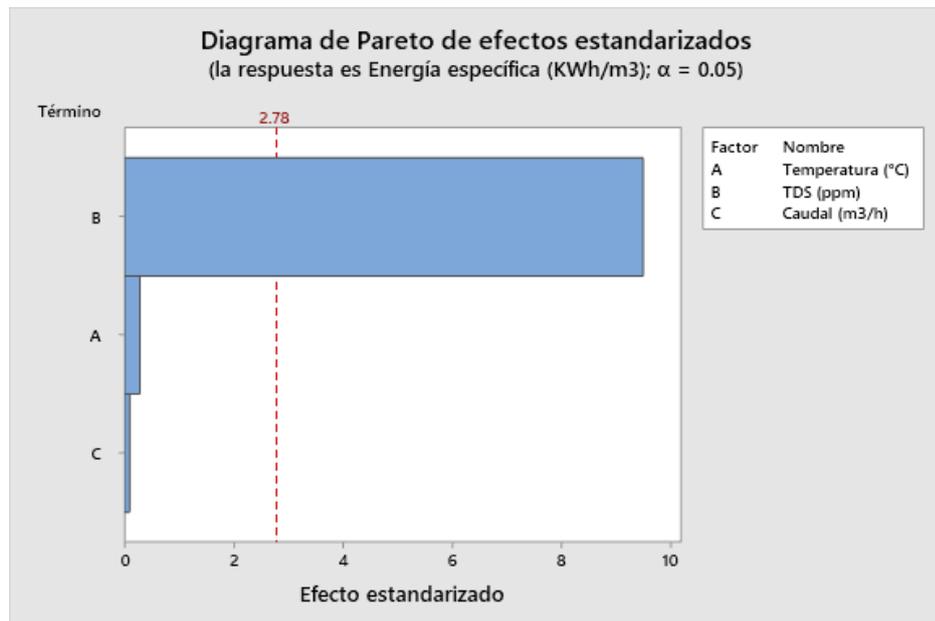
$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9$ , todas las medias (promedios) de la energía específica (KWh/m<sup>3</sup>) son iguales.

$H_1: \tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

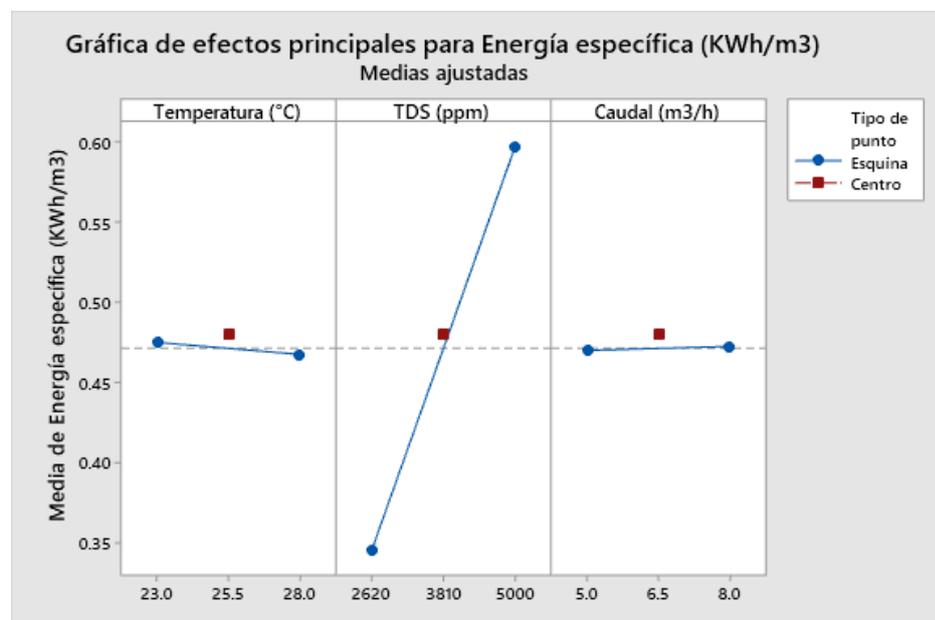
En la tabla 19, el Valor p < 0.05. Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal influyen de manera significativa en la energía específica.

**Figura 36**  
*Diagrama de Pareto Energía específica*



En la figura 36, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS tiene un mayor efecto que la temperatura y caudal en la energía específica a un nivel de confianza del 95%.

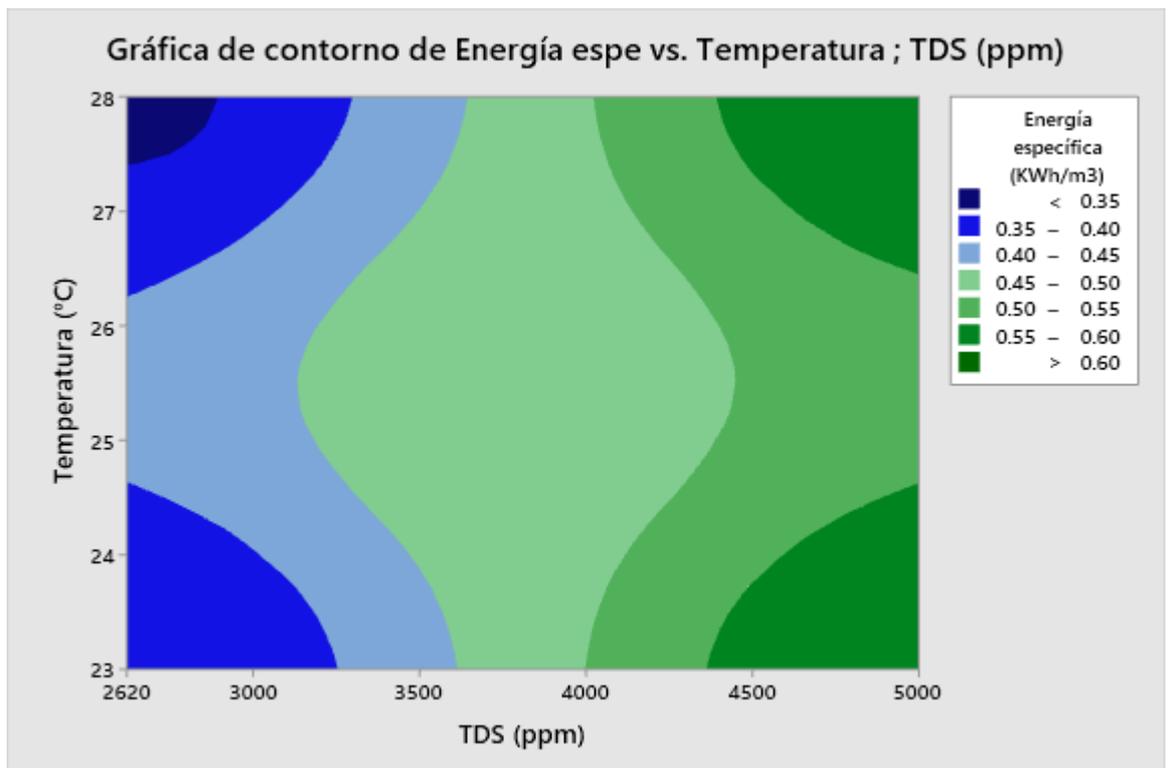
**Gráfico 10**  
*Gráfica de efectos principales para energía específica*



En el gráfico 10, los factores de temperatura en su nivel medio de 25.5 °C, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS en su nivel más alto de 5000 ppm y el caudal en su nivel medio de 6.5 m<sup>3</sup>/h presentan como resultado una mayor energía específica.

### Gráfico 11

Gráfica de contorno de la Energía específica vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)



Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En el gráfico 11, me indica que para obtener una la energía específica > 0.6 KWh/m<sup>3</sup> se debe tener una temperatura de 23 °C y 28°C y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 5000 ppm.

## Análisis de varianza (ANOVA)

**Tabla 20**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Permeado.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	19891.8	4972.9	2.98	0.158
Lineal	3	19832.9	6611.0	3.96	0.108
Temperatura (°C)	1	24.9	24.9	0.01	0.909
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	1	19434.1	19434.1	11.64	0.027
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	1	374.0	374.0	0.22	0.661
Curvatura	1	58.9	58.9	0.04	0.860
Error	4	6677.3	1669.3		
Total	8	26569.0			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Las hipótesis son:

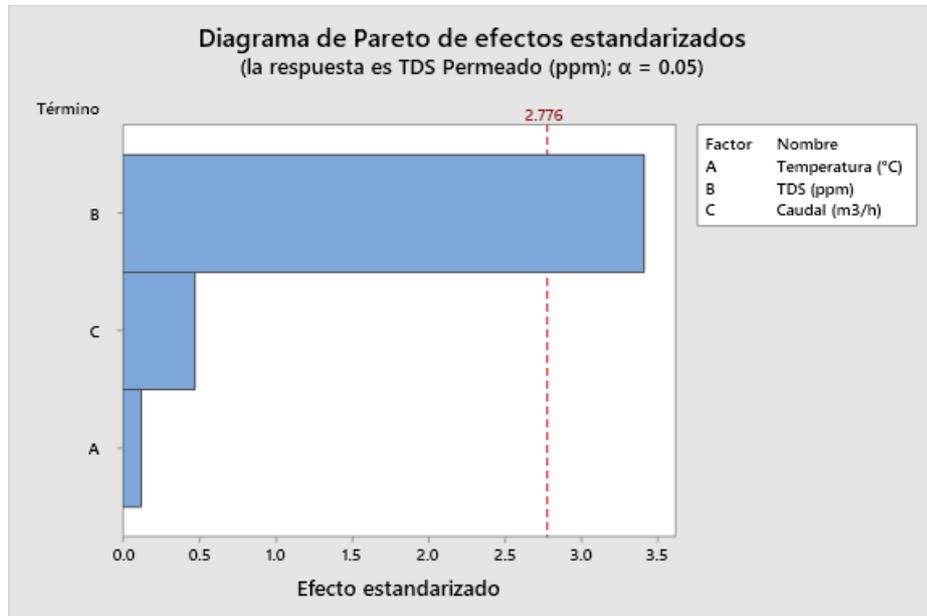
**$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = \tau_9$** , todas las medias (promedios) del SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado (ppm) son iguales.

**$H_1: \tau \neq 0$** , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = **0.05**

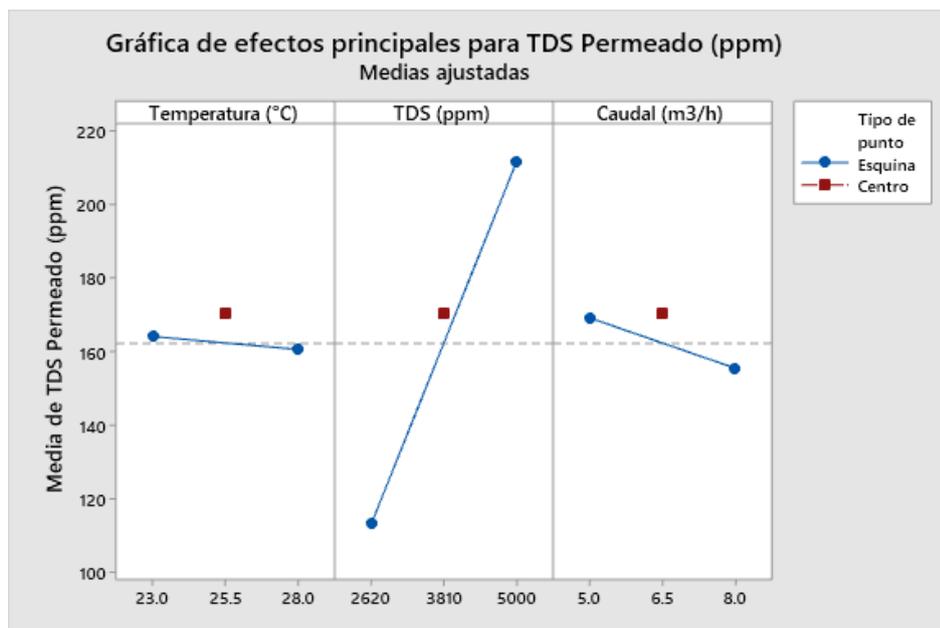
En la tabla 20, el Valor p < 0.05. Se concluye que las medias de los tratamientos difieren, es decir, la temperatura, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y el caudal influyen de manera significativa en el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado.

**Figura 37**  
*Diagrama de Pareto TDS Permeado*



En la figura 37, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS tiene un mayor efecto que la temperatura y caudal en el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado a un nivel de confianza del 95%.

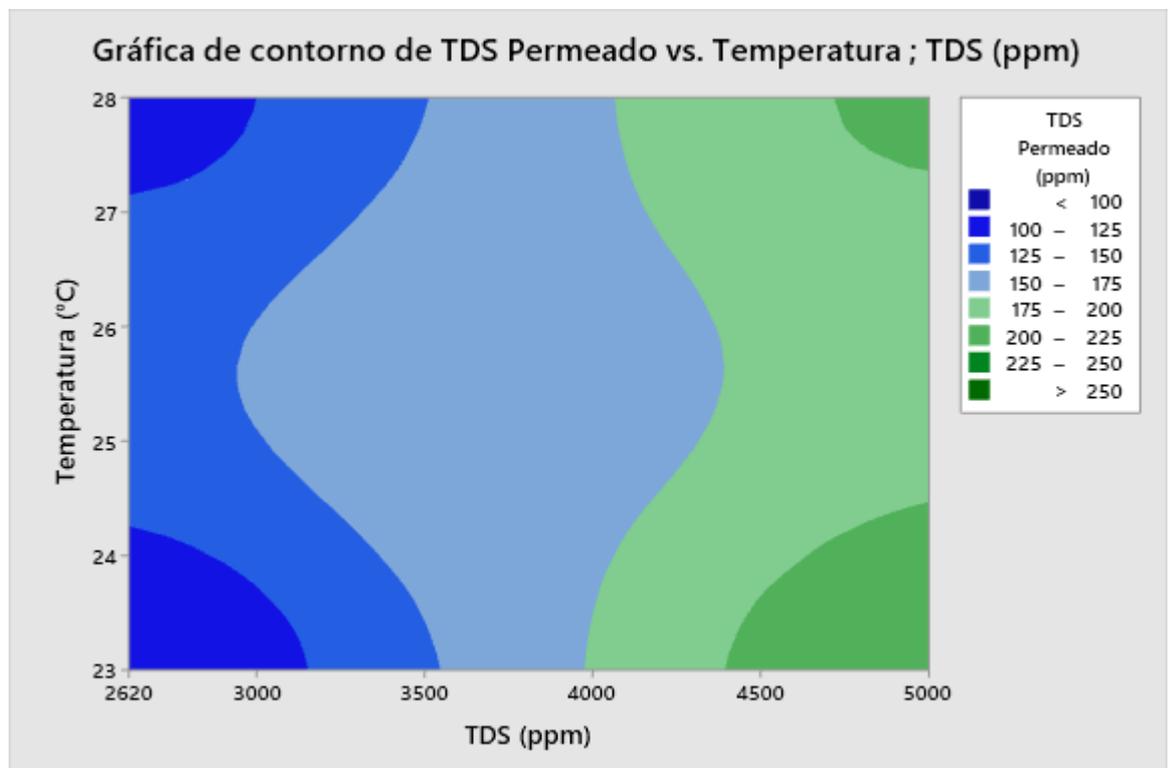
**Gráfico 12**  
*Gráfica de efectos principales para TDS permeado*



En el gráfico 12, los factores de temperatura en su nivel medio de 25.5 °C, los SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS en su nivel más alto de 5000 ppm y el caudal en su nivel medio de 6.5 m<sup>3</sup>/h presentan como resultado un mayor valor de SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado.

### Gráfico 13

Gráfica de contorno de la el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado vs. Temperatura; SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)



Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

En la grafico 13, me indica que para obtener una el SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS permeado > 250 ppm se debe tener una temperatura de 23 °C y 28°C y un SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS de 5000 ppm.

En base a los análisis estadísticos realizados y a los resultados obtenidos las condiciones más favorables para el proceso es cuando los factores temperatura, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS y caudal toman los valores de 28 °C, 2620 ppm y 5 m<sup>3</sup>/h respectivamente.

## **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **Discusión**

El trabajo de investigación presenta variables de operación fundamentales como temperatura, sólidos totales disueltos y caudal, los cuales contienen una actuación primordial en el diseño de una planta de osmosis inversa que se obtendrá del software Vontron, esto es relevante para la viabilidad del proyecto, poder trabajarlos de manera conjunta y lograr el objetivo de desalinizar el agua salobre, consideramos relevante la tesis de investigación “Desalinización de agua marina simulando un sistema de osmosis inversa con el software reverse osmosis system analysis (R.O.S.A)”, (Calvo, 2016) que estamos contribuyendo a enriquecer y expandir diferentes alternativas de tecnologías para enrumbar proyectos en calidad de agua para la sociedad como el programa VONTRON, que no es muy conocido en el universo de software en calidad de agua en Perú.

Por otro lado, establecemos que la desalinización de agua salobre por osmosis inversa para la obtención de agua potable es un método viable, porque debido a su alta tasa de efectividad en el proceso de permeabilización, lo cual se corrobora con (Peña, 2017) en su investigación desarrollada en la provincia de Ilo, logrando ambos obtener una garantía en el proceso no menor al cincuenta por ciento.

## Conclusiones

- Mediante el software Vontron se pudo simular la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable, ya que se realizó un diseño de planta donde los factores más óptimos para un tratamiento eficaz del agua salobre son los siguientes: temperatura 28°C, Concentración de 2620 ppm y un caudal de 5 m<sup>3</sup>/h.
- Se eligió el software VONTRON para simular la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable, ya que contamos con su manual de procedimiento y especificaciones técnicas, en el cual nos da detalladamente información sobre las membranas y pasos a tomar ordenadamente con claridad en su uso y desarrollo.
- Se caracterizo el agua haciendo un monitoreo, tomando en consideración los parámetros de campo, los cuales fueron conductividad, pH y temperatura, se utilizaron en la simulación de la desalinización mediante osmosis inversa para la obtención de agua potable.
- Los parámetros de diseño a considerar fueron cloruros, nitratos, sulfatos, metales totales, % de recuperación, n° de elementos, modelo de membrana, mientras que los parámetros de operación fueron Sólidos Totales Disueltos, temperatura y caudal, con ellos se realizó el sistema de osmosis inversa para la desalinización de agua salobre a partir de la simulación.
- Los parámetros fisicoquímicos tales como los cloruros, nitratos, sulfatos, metales totales fueron evaluados con el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, con el tratamiento más óptimos el cual fue: temperatura

28°C, concentración de 2620 ppm y un caudal de 5 m<sup>3</sup>/h, y estos resultados se comparan con las hojas de resultados del software vontron con el ingreso y salida de los parámetros y concluimos que son reducidos y están por debajo del límite máximo permisible en cada parámetros del agua potable obtenida de la simulación de la desalinización de agua salobre mediante osmosis inversa.

## REFERENCIAS

- Azoulay, A. (2019). *Informe Mundial de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidricos*. París: Lucart Estudios S.A.
- Azoulay, A. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021 - El valor del agua*. París: Lucart Estudio S.A.
- Calvo Huari, A. (2016). *Desalinización de agua marina simulando un sistema de osmosis inversa con el software reverse osmosis system analys (R.O.S.A)*. Villa el salvador, Lima .
- Chavez de Allain, A. (2012). *Contaminacion ambiental - Parte I*. Piura.
- Comision Preparatoria para el VII Foro Mundial del Agua. (2015). *Agua para nuestro futuro la experiencia peruana*. (G. A. Pinto, Ed.) Lima, PERU: Ediciones Nova Print SAC.
- DIGESA. (2007). *Analisis microbiologicos de aguas residuales por tecnica de los tubos multiples de fermentacion (NMP)*. Lima: Peru.31p.
- DIGESA. (2010). *Informe tecnico de la calidad del agua*. Lima: Direccion general de Salud ambiental.
- DIGESA. (2011). *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano*. Peru .
- E.W. , R., R.B, B., & A.D, E. (2017). *method standard for the examination of water and wastewater, 23 Rd edition* . Amer Water Works Assn.
- Guadalupe, O. (2018). *Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable*. Aguas calientes, Mexico.
- Hadi Abbas, A., & Rafea Ahmed, R. (2021). Diseño de membrana de osmosis inversa para ablandar el agua subterránea en la Universidad de un sitio de la agricultura - universidad de Tikrit - Iraq mediante el uso de ROSA-72 software. *ELSEIVER*.

- Houngbo, G. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Paris: Lucart Estudio S.A.
- INEI. (2020). *Perú: Anuario de estadísticas ambientales, 2020*. Lima: 2020 Instituto Nacional de Estadística e informática.
- Mautino Cano, V., & Acha de la Cruz, N. (2014). *Implementación de una planta piloto para tratamiento de agua por osmosis inversa*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Medina Collana, J. T. (2019). *Evaluación de los factores de operación de membrana nanofiltración en la desalinización de agua salobre*. Callao, Lima.
- MINSA. (2011). *Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA /Ministerio de Salud*. Lima.
- OPS, O. P. (1988). *IRIS. Repositorio Institucional para intercambio de información*. Obtenido de Guías para la calidad del agua potable. Vol 3. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/712>
- Organización Mundial de Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Suiza.
- Organización Mundial de Salud. (2008). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra.
- Organización Mundial de Salud. (2010). *Guía sobre los requisitos de las prácticas adecuadas de fabricación Segunda parte. "Validación"*. Ginebra.
- Peña, D. (2017). *Propuesta de uso de agua desalinizada de mar para el procesamiento de harina y aceite de pescado en la provincia de Ilo - región Moquegua*. Arequipa.
- Pérez Fernández, D. A. (2017). *Optimización de parámetros de operación en procesos de ultrafiltración para la eliminación de materia orgánica en la regeneración de aguas de proceso de una industria papelera*. Valencia.

- Rojas Vargas, J. C. (2008). *Potabilizacion de aguas superficiales mediante el proceso de ultrafiltracion con membranas arrolladas en espiral*. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.
- Sánchez, M. (02 de febrero de 2017). El consumo y el abastecimiento de agua en Lima. (A. Ambiental, Entrevistador)
- Solis, Velez, & Ramirez. (2015). Tecnologia de membranas: desarrollo historico. *Entre ciencia e Ingenieria*, 89-98.
- UNESCO. (2013). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y energia fotovoltaica para provision de agua potable en isla damas, region de coquimbo*. Chile: UNESCO 2013.
- Verhuelsdonk, M., Attenborough, T., Lex, O., & Altmann, T. (2009). Diseño y optimizacion de plantas desaladoras de agua de mar por osmosis inversa utilizando software de simulacion especial. *ELSEIVER*.

## ANEXOS

### ANEXO N° 1. Método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-H+B, 23rd Ed.

2017

	<p><b>PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE TRABAJO SEGURO MUESTREO DE AGUA NATURAL, RESIDUAL, DE USO Y CONSUMO HUMANO, SALINA</b></p>	Identificación : PETS-ALAB-17
		Revisión : 01
		Inicio de vigencia : 2020-May-12

#### 1. OBJETIVO

1.1. Describir los métodos de muestreo para la toma de muestras de agua.

#### 2. METODO DE REFERENCIA

2.1. SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 23rd Ed – 2017.

2.2. “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos hídricos Autoridad Nacional del Agua. Resolución Jefatural N°010 2016-ANA.

2.3. CALIDAD DE AGUA. Clasificación de la matriz agua para ensayos de laboratorio NTP 214.042 2012.

2.4. NTP-ISO 5667-5 Guía para el muestreo de agua para consumo humano y agua utilizada para el procesamiento de comidas y bebidas, 1era Edición (2001).

#### 3. RESPONSABILIDADES

3.1. **Jefe y/o Coordinador de Operaciones:** Responsables del cumplimiento del presente documento y del personal involucrado en atención del servicio

3.2. **Coordinador de Operaciones:** Responsable de evaluar el desarrollo del presente documento y proponer los cambios y modificaciones correspondientes.

3.3. **Analistas y Auxiliares de Campo:** Responsables de cumplir lo descrito en el presente documento

#### 4. EQUIPAMIENTO

4.1. Instrumentos: Multiparámetro, turbidímetro, correntómetro, colorímetro y reactivos, cámara fotográfica, GPS.

4.2. Materiales y herramientas: Frascos de muestreo; para la selección del tipo y volumen de los frascos, remitase al reverso del **F-OPE-1.4.2 “Cadena de Custodia – Matriz de aguas”,** donde se encuentra el **DI-LAB-06, “Requisito mínimos para ensayos de muestras ambientales - Agua”.**

 <p><b>ALAB</b> ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.</p>	<p><b>PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE TRABAJO SEGURO MUESTREO DE AGUA NATURAL, RESIDUAL, DE USO Y CONSUMO HUMANO, SALINA</b></p>	Identificación : <b>PETS-ALAB-17</b>
		Revisión : <b>01</b>
		Inicio de vigencia : <b>2020-May-12</b>

Etiquetas para el rotulado, lapicero, plumón de tinta indeleble, coolers, gel refrigerante (ice pack) o hielo, bolsas zip-lock limpias, preservantes para muestras (según parámetro a muestrear), pisceta con agua destilada, papel secante, cinta adhesiva (de embalaje), film para embalaje, guantes de latex.

- 4.3. Otros: bolsas o tacho para residuos, cinta reflexiva para señalización del área de trabajo.
- 4.4. Kit de limpieza y desinfección

## 5. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

### 5.1. Actividades previas:

El trabajo de campo se inicia con la preparación de materiales, equipos, indumentaria de protección y personal capacitado; asimismo se deberá contar con la logística para el desarrollo del trabajo de campo.

Revisar la “**Orden de Servicio**” (F-CO-1.2). Revisar el “**Check list de equipos para monitoreo de aguas**” (F-OPE-1.4.1) para verificar lo solicitado por el cliente.

Para elegir las características y tamaño de los recipientes, preservación y tiempo de conservación de las muestras, dependiendo del (los) parámetro(s) solicitados, revisar los “**Requisito mínimos para ensayos de muestras ambientales - Agua**” (DI-LAB-06).

### 5.2. Ejecución del servicio:

Inicie el muestreo tomando primero las muestras de compuestos volátiles y orgánicos, luego las muestras microbiológicas, seguido los compuestos inorgánicos, organice las botellas rotuladas, los reactivos, formatos e insumos necesarios.

### 5.3. Toma de muestra: Se considera tener la siguiente prioridad;

- 5.3.1. Parámetros Volátiles u Orgánicos
- 5.3.2. Parámetros Microbiológicos
- 5.3.3. Parámetros Inorgánicos

 <p><b>ALAB</b> ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.</p>	<p><b>PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE TRABAJO SEGURO MUESTREO DE AGUA NATURAL, RESIDUAL, DE USO Y CONSUMO HUMANO, SALINA</b></p>	<p>Identificación : <b>PETS-ALAB-17</b></p>
		<p>Revisión : <b>01</b></p>
		<p>Inicio de vigencia : <b>2020-May-12</b></p>

**5.4. Procedimiento específico por tipo de Matriz**

**5.4.1. Muestras en Aguas de Consumo:**

- **I-OPE-1.6 “Muestreo de Agua para Uso y Consumo Humano”**

**5.4.2. Muestras en Aguas Subterránea**

- **I-OPE-1.8 “Muestreo de Agua Subterránea”**

**5.4.3. Muestras en Agua Salina**

- **I-OPE-1.7 “Muestreo de Agua Salina”**

**5.4.4. Muestras en Agua Residual**

- **I-OPE-1.5 “Muestreo de Agua Residual”**

**5.4.5. Muestras en Aguas Superficiales**

- **I-OPE-1.4 “Muestreo de Aguas Superficiales”**

**5.4.6. Ingresar la información de las Muestras Codificadas en el formato siguiente, así como los demás datos tomados y/o evidenciados en campo, en su respectivo formato:**

- **F-OPE-1.4.2 “Cadena de Custodia - Matriz Agua”**

- **F-OPE-1.2 “Mediciones Directas en Campo”**

- **F-OPE-1.3 “Cuaderno de Campo”**

## ANEXO N° 2. Informe de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15176

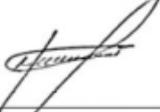
#### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : BRIONES CHUMBIAUCA JOSE LUIS  
2.-DIRECCIÓN : JR. CUZCO 469 CALLAO CERCADO  
3.-PROYECTO : ANALISIS DE MUESTRAS  
4.-PROCEDENCIA : CHICHARRONERIA DON DAVID  
5.-SOLICITANTE : BRIONES CHUMBIAUCA JOSE LUIS  
6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000005612-2021-0000  
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : P-OPE-1 MUESTREO  
8.-MUESTREO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.  
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2021-12-01

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua  
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1  
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2021-11-19  
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2021-11-19 al 2021-12-01

  
Gaby Moreno Muñoz  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 191207

  
Marco Valencia Huerta  
Ingeniero Químico  
CIP N° 152207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.  
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

## INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15176

### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Aniones <sup>2</sup>	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Determination of inorganic anions by ion chromatography
Conductividad <sup>(1) (2)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Química de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Metales Totales ICPOES <sup>2</sup>	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994 / EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 2021 (Validado: Bi, U, S)	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
pH <sup>(1) (2)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Totales Disueltos <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Temperatura <sup>(1) (2)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Turbidez <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017	Turbidity. Nephelometric Method.

\*EPA\* : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

\*SMEWW\* : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

<sup>(2)</sup> Ensayo realizado en campo (medido in situ)



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-15176**

**IV. RESULTADOS**

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-57268
CÓDIGO DEL CLIENTE:				APQ-001
COORDENADAS:				E:0290601
UTM WGS 84:				N:8644496
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Natural
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.4 MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES
FECHA y HORA DE MUESTREO :				19-11-2021 10:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	3 590,00
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	16,6
pH (*)	Unidad de pH	NA	0,01	7,38
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	5
Sólidos Totales Disueltos (*)	mg Total Dissolved Solids/L	2	5	2 620
Temperatura (*)	(°C)	NA	0,1	22,7
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	0,80
<b>Aniones</b>				
Cloruro <sup>2</sup>	mg/L	0,4	1,0	912,1
Nitrato <sup>2</sup>	mg/L	0,02	0,05	7,40
Sulfato <sup>2</sup>	mg/L	0,2	0,5	238,5
<b>Metales Totales ICPOES</b>				
Calcio <sup>2</sup>	mg/L	0,002	0,006	128,357
Magnesio <sup>2</sup>	mg/L	0,005	0,020	63,954
Potasio <sup>2</sup>	mg/L	0,04	0,10	38,40
Silicio <sup>2</sup>	mg/L	0,001	0,004	20,591
Sodio <sup>2</sup>	mg/L	0,004	0,010	559,832

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.

\*: No ensayado

NA: No Aplica

**"FIN DE DOCUMENTO"**

ANEXO Ni 3. Manual del software VONTRON



Manual of Product, Technical Support and Service

**COMPANY PROFILE**

**Vontron Technology Co., Ltd.** is specialized in R&D, manufacture and technical service of RO and NF membrane elements. Owing the core technology and capability for fabrication of membrane sheet, Vontron is the biggest professional manufacturer of compound RO membranes in China, and is the provider of system design and applied service with powerful technical support.

Vontron operates its manufacturing plant in Guiyang, with a total capacity of 17 million square meters of RO and NF membrane sheet annually.

Based upon the absorption and renovation of the full-process RO membrane producing line and technologies imported from the United States in 2001, the product series produced by Vontron, including industrial-purpose element, seawater desalination element, fouling resistant element, oxidation resistant element and residential element, etc., have taken the leading position in quality and technological level in the world. Vontron has become the world's second supplier of dry-type membrane elements with capacity of mass production. Moreover, the oxidation-resistant membrane and fouling-resistant membrane with leading technical advantage under completely independent intellectual property developed by Vontron have been widely applied to the wastewater treatment field, and have surmounted the difficulty in the application of RO membranes, i.e. the organic contamination and biological contamination, and have been widely applied in foodstuff and hygiene industries such as pharmaceutical abstraction, germ-free drinking water, etc.

The company has been undertaking a number of state-level and province/ministry level projects, including National 863 Program, National Torch Program and National New Product Program, etc. The company applied for 11 state-level patents in 2001, including compound oxidation resistant RO membrane, laser thermal-melting equipment, etc. The R&D team, consisting mainly of doctoral researchers, has established four professionalized basic platforms separately of “design, research & development”, “technological process control”, “inspection and test”, and “applied research”, thus building a solid technical foundation for rapid growth in the future.

Vontron has accomplished developing various specifications of compound RO membranes covering 9 series and more than 50 models. All product series adopt the state-of-the-art fouling-resistant technology, and reach the international advanced level in quality. Certified to NSF Standards, VONTRON™ membranes have been broadly applied to seawater desalination, purification of drinking water, depuration of sewage and concentration/abstraction, and well sold to USA, India, Italy, Spain, Germany, Turkey, Korea, Japan, Vietnam, Malaysia, Thailand, Singapore, Brazil, etc., where Vontron has also set up its sales distributors and consistent customers.

Vontron will be, as always, carrying out the corporate spirit of “Surmounting ourselves and pursuing endlessly”, bringing forth the new products from the old ones, and devoting ourselves to the establishment of elite products for the enviro-tech era.

**TABLE OF CONTENTS**

Company Profile.....1  
Contents.....2

**PART ONE: TECHNICAL SPECIFICATIONS**

**Chapter I—Introduction to VONTRON™ RO Membranes**

1-1 Major Membrane Product Series.....7  
1-2 Nomenclature of VONTRON Membrane Elements.....9  
1-3 Catalog and Selection of VONTRON™ Membrane Elements.....11  
1-3.1 Catalog of Industrial Membrane Elements.....11  
1-3.2 Catalog of Residential Membranes and Non-standard Membranes.....12  
1-3.3 Catalog of Nanofiltration Membranes.....13  
1-3.4 Guide to Selection of Membrane Elements.....14  
1-4 Complete Series of VONTRON™ Dry Membrane Elements.....15  
1-4.1 Comparison between Dry-type and Wet-type Membrane Elements.....15  
1-4.2 Precautions for Use of Dry-type Membrane Elements.....15

**Chapter II—General Technical Specifications of VONTRON™ RO Membranes**

2-1 VONTRON™ Residential and Non-standard RO Element.....17  
2-2 VONTRON™ General-Purpose Industrial Membrane Elements.....20  
2-2.1 LP Series: Low Pressure Membrane Element.....20  
2-2.2 ULP Series: Ultra Low Pressure Membrane Element.....22  
2-2.3 XLP Series: Extremely Low Pressure Membrane Element.....26  
2-3 VONTRON™ SW Series: Seawater Desalination Membrane Element.....28  
2-4 VONTRON™ FR Series: Fouling Resistant Membrane Element.....31  
2-5 VONTRON™ HOR Series: High Oxidation Resistant Membrane Element.....33

**Chapter III—General Technical Specifications of VONTRON™ NF Membranes**

3.1 Nanofiltration Membranes – Residential Element.....37

3.2 Nanofiltration Membranes – Industrial Element.....39

**Chapter IV—Guide to Design of RO System**

4-1 Design of Pretreatment Section of RO System.....43

4-1.1 Analysis of Type and Quality of Raw Water.....43

4-1.2 Water Treatment Processes Frequently Used in RO Pretreatment.....51

4-1.3 Comparison of Common Pretreatment Processes for Regular RO Membrane and Oxidation Resistant RO Membrane.....64

4-2 Design of RO Filtration System.....66

4-2.1 Guide to Design of VONTRON Membrane Element.....66

4-2.2 Design Steps for RO System.....67

4-2.3 Other Considerations in Design of Membrane System.....70

4-3 Instructions for Use of RO Design Software.....74

4-4 Design of Chemical Cleaning Section of RO Membrane System.....82

**Chapter V—Guide to Use and Maintenance of RO System**

5-1 Initial Adjustment of RO System.....84

5-1.1 Installation and Disassembly of Membrane Element.....84

5-1.2 Operating Steps and Methods for Initial Running of RO System.....86

5-2 Routine Operation and Maintenance of RO System.....88

5-2.1 Records of Running of RO System.....88

5-2.2 Routine Startup and Shutdown of RO Membrane System.....91

5-3 Management of RO System during Shutdown Period.....92

5-3.1 Management for Routine Shutdown (0–48 hours).....92

5-3.2 Management for System Shutdown (2–25 Days).....92

5-3.3 Management for Long-term Shutdown of System (more than 25 days).....93

5-3.4 Preservation and Management of Membrane Element Taken out from System during Shutdown.....93

5-4 Guide to Cleaning of RO System.....93

5-4.1 Brief Introduction of Fouling of Membrane Element.....93

5-4.2 Judgement of Cleaning Time for RO System.....94

5-4.3 Steps of Cleaning of RO System.....94

5-4.4 Fouling Symptoms of RO System and Cleaning Method.....96

**Chapter VI—Troubleshooting of RO System**

6-1 Troubleshooting of RO System During the Initial Running (Adjustment) Period.....101

6-1.1 Low Permeate Flow and High Pressure.....101

6-1.2 Low Rejection Rate and High Conductivity of Product Water.....102

6-2 Troubleshooting of Failures of RO System Occurring after Regular Running.....103

6-3 Forms of System Design or In-use Details of VONTRON Membrane Elements.....110

Table 1 – Summary Description of System.....110

Table 2: Detailed Data of System Pretreatment.....111

Table 3: Data of Raw Water Quality of RO System.....112

**PART TWO: SERVICE INSTRUCTIONS**

**Chapter VII—Quality Assurance of VONTRON Membrane Elements**

7-1 Three-year Warranty for RO Membrane Elements.....115

7-2 Procedures for Repair and Replacement of Membrane Element.....119

7-2.1 Procedure on Repair of Membrane Element.....119

7-2.2 Packing and Transportation.....120

7-2.3 Procedures for Inspection and Testing.....120

7-2.4 Additional Provisions.....120

7-3 Quality Certification.....122

**Chapter VIII—Specifications on Service of Membrane Elements**

8-1 Control Procedure on Service.....126

8-1.1 Subject Content and Application Range.....126

8-1.2 Function and Responsibility.....126

8-1.3 Control Diagram.....127

8-1.4 Control Procedure.....128

8-2 Requirements on the Content and Procedure of Pre-sales Service.....131

8-3 Requirements on the Content and Procedure of In-sale Service.....131

8-4 Requirements for the Content and Providing of After-sales Service.....132

**Chapter IX—Guide for Assessment and Evaluation of Customer Satisfaction Degree**

9-1 Mode of Assessment and Evaluation.....134

9-2 Scope of Assessment and Evaluation.....134

9-3 Content of Assessment and Evaluation.....134

9-4 Improvement.....135

**Appendix 1: Technical References**

The Application of Reverse Osmosis in ILIJAN Power Plant’s Water Treatment System in PHILIPPINES.....141

**Appendix 2: Temperature Correction Factors for Permeate Flow.....148**

### ANEXO N° 4. Hoja de resultados

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

Project Name: EXP001      Date: 15/12/2021

Designed By: VONTRON      Company: VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	7.1	m3/h	PermeateFlow:	5.0	m3/h
Raw Water Flow to System	7.1	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	6.6	bar	Feed Temp:	23.0	C
Feed TDS	2620.3	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	5.6	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water	SDI < 3
Power	1.60	KW	Specific Energy	0.32	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

**Array**      1

Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1**      Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	7.1	6.4	2.1	6.2	5.0	133.9

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	731.0	731.0	2339.3	41.7
Ca	128.4	128.4	418.4	4.1
Mg	64.0	64.0	208.5	2.0
K	38.4	38.4	120.2	3.3
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	1392.1	1392.1	4457.8	78.1
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	7.4	7.4	21.1	1.5
SO4	238.5	238.5	790.1	2.1

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	20.6	20.6	67.8	0.3
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	2620.3	2620.3	8423.1	133.3

---

**Array Details -- Pass 1**      Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.12	0.44	33.68	3.57	2620.30	6.44
1-2	0.13	0.40	41.74	3.13	2980.38	6.44
1-3	0.13	0.36	52.82	2.73	3409.21	6.40
1-4	0.13	0.31	68.94	2.37	3916.70	6.36
1-5	0.13	0.26	93.91	2.06	4503.98	6.32
1-6	0.12	0.21	133.01	1.80	5152.15	6.29
1-7	0.10	0.16	191.63	1.58	5824.28	6.27
1-8	0.09	0.12	276.05	1.42	6477.12	6.25
1-9	0.07	0.09	394.93	1.30	7067.70	6.24
1-10	0.05	0.06	565.50	1.21	7566.19	6.22
1-11	0.04	0.05	806.48	1.14	7961.71	6.21
1-12	0.03	0.03	1114.58	1.10	8259.91	6.20

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)E

None

---

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	2620.30	2620.30	8734.33
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.70	-6.70	-5.19
SiffmDavis Index	-6.70	-6.70	-5.56
CaSO4 Saturation %	4.48	4.48	20.44
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	16.73	16.73	53.60

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

Project Name: EXP002 Date: 15/12/2021  
 Designed By: VONTRON Company: VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	7.1	m3/h	PermeateFlow:	5.0	m3/h
Raw Water Flow to System	7.1	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	6.5	bar	Feed Temp:	28.0	C
Feed TDS	2620.3	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	5.6	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water SDI < 3	
Power	1.56	KW	Specific Energy	0.31	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	7.1	6.3	2.1	6.1	5.0	143.7

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	731.0	731.0	2332.1	44.8
Ca	128.4	128.4	417.6	4.4
Mg	64.0	64.0	208.1	2.2
K	38.4	38.4	119.7	3.5
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	1392.1	1392.1	4444.3	83.9
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	7.4	7.4	20.9	1.6
SO4	238.5	238.5	789.5	2.3

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	20.6	20.6	67.8	0.4
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	2620.3	2620.3	8400.1	143.1

---

**Array Details -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.14	0.49	36.08	3.57	2620.30	6.30
1-2	0.14	0.44	45.50	3.08	3027.22	6.31
1-3	0.14	0.38	58.88	2.64	3519.36	6.26
1-4	0.14	0.32	79.17	2.26	4105.79	6.22
1-5	0.13	0.26	112.26	1.94	4776.76	6.19
1-6	0.12	0.20	164.38	1.68	5488.47	6.17
1-7	0.10	0.14	243.46	1.49	6188.35	6.15
1-8	0.08	0.10	357.57	1.34	6820.89	6.13
1-9	0.06	0.07	523.52	1.24	7347.42	6.11
1-10	0.04	0.05	766.34	1.17	7755.16	6.10
1-11	0.03	0.03	1087.59	1.12	8052.97	6.09
1-12	0.02	0.02	1449.99	1.09	8261.66	6.08

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning: The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h):  
None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	2620.30	2620.30	8734.33
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.61	-6.61	-5.09
Siff&Davis Index	-6.61	-6.61	-5.47
CaSO4 Saturation %	3.98	3.98	18.12
BaSO4 Saturation %	0.02	0.02	0.10
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	15.41	15.41	49.39

Ver 4.5

VONTRON

**Project Information**

Project Name:	EXP003	Date:	15/12/2021
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	7.1	m3/h	PermeateFlow:	5.0	m3/h
Raw Water Flow to System	7.1	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	11.8	bar	Feed Temp:	23.0	C
Feed TDS	5004.5	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	5.6	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water	SDI < 3
Power	2.88	KW	Specific Energy	0.58	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

**Summary of All Stages -- Pass 1 Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm**

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	7.1	11.6	2.1	11.3	5.0	264.1

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	1526.1	1526.1	4883.0	87.4
Ca	128.4	128.4	418.2	4.1
Mg	122.1	122.1	397.9	3.9
K	73.3	73.3	229.6	6.3
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	2656.7	2656.7	8494.3	154.7
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	14.1	14.1	40.6	2.8
SO4	455.1	455.1	1506.9	4.4

Ver 4.5

VONTRON

SiO2	28.6	28.6	94.1	0.5
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	5004.5	5004.5	16064.6	264.1

**Array Details -- Pass 1**

Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.19	0.67	45.42	3.57	5004.47	11.63
1-2	0.19	0.55	68.37	2.89	6156.42	11.50
1-3	0.18	0.42	107.99	2.34	7586.85	11.45
1-4	0.16	0.30	175.45	1.92	9219.08	11.42
1-5	0.13	0.20	303.87	1.62	10922.56	11.40
1-6	0.09	0.13	519.15	1.41	12457.43	11.38
1-7	0.06	0.08	848.19	1.28	13683.61	11.36
1-8	0.04	0.05	1362.28	1.20	14571.81	11.35
1-9	0.03	0.03	2086.56	1.15	15169.98	11.34
1-10	0.02	0.02	2922.32	1.11	15555.08	11.32
1-11	0.01	0.01	3653.12	1.09	15795.93	11.31
1-12	0.01	0.01	4268.31	1.08	15952.38	11.30

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings

None

1 pass RO system Design Warnings

1 stage Warnings:

Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)E

Warning:Maximum element recovery has been exceeded. Please change your system design to reduce the element recoveries. (Limit: 19.000% jE

None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	5004.47	5004.47	16681.57
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.73	-6.73	-5.22
Siff/Davis Index	-6.88	-6.88	-5.83
CaSO4 Saturation %	6.47	6.47	24.52
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.14
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

<b>Project Name:</b>	EXP004	<b>Date:</b>	15/12/2021
<b>Designed By:</b>	VONTRON	<b>Company:</b>	VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	7.1	m3/h	PermeateFlow:	5.0	m3/h
Raw Water Flow to System	7.1	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	11.8	bar	Feed Temp:	28.0	C
Feed TDS	5004.5	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	5.6	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water SDI < 3	
Power	2.87	KW	Specific Energy	0.57	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

**Array**

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No. of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	7.1	11.6	2.1	11.4	5.0	211.5

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	1526.1	1526.1	4987.0	42.8
Ca	128.4	128.4	423.7	1.8
Mg	122.1	122.1	403.1	1.7
K	73.3	73.3	236.0	3.5
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	2656.7	2656.7	8677.8	76.1
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	14.1	14.1	42.0	2.2
SO4	455.1	455.1	1516.6	0.2

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	28.6	28.6	95.0	0.1
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	5004.5	5004.5	16381.1	128.4

---

**Array Details -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.21	0.76	51.48	3.57	5004.47	11.57
1-2	0.21	0.60	80.46	2.80	6353.30	11.58
1-3	0.19	0.43	130.79	2.21	8045.79	11.53
1-4	0.16	0.28	226.27	1.78	9959.72	11.50
1-5	0.12	0.17	406.94	1.50	11789.04	11.48
1-6	0.08	0.10	708.73	1.32	13284.37	11.46
1-7	0.05	0.06	1201.42	1.22	14350.45	11.45
1-8	0.04	0.04	1745.82	1.16	15035.64	11.44
1-9	0.02	0.02	2961.08	1.12	15525.39	11.42
1-10	-0.01	-0.01	8075.80	1.10	15761.58	11.41
1-11	0.05	0.05	1493.27	1.11	15703.31	11.40
1-12	0.00	0.00	7354.48	1.05	16407.30	11.39

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)  
Warning:Maximum element recovery has been exceeded. Please change your system design to reduce the element recoveries. (Limit: 19.000% µE)

None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	5004.47	5004.47	16681.57
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.64	-6.64	-5.12
Siff&Davis Index	-6.79	-6.79	-5.74
CaSO4 Saturation %	5.73	5.73	21.73
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

<b>Project Name:</b>	EXP005	<b>Date:</b>	15/12/2021
<b>Designed By:</b>	VONTRON	<b>Company:</b>	VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	11.4	m3/h	PermeateFlow:	8.0	m3/h
Raw Water Flow to System	11.4	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	7.9	bar	Feed Temp:	23.0	C
Feed TDS	2600.0	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	9.8	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		Water Type	Well Water/Tap Water SDI < 3	
Power	3.06	KW	Specific Energy	0.38	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

**Array**

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	11.4	7.7	3.4	7.1	8.0	81.9

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	731.0	731.0	2377.0	25.5
Ca	128.4	128.4	422.0	2.5
Mg	64.0	64.0	210.3	1.2
K	38.4	38.4	123.2	2.1
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	1392.1	1392.1	4528.3	47.9
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	7.4	7.4	22.2	1.1
SO4	238.5	238.5	792.2	1.2

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	20.6	20.6	68.2	0.2
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	2600.0	2600.0	8543.3	81.6

---

**Array Details -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.10	0.56	26.15	5.71	2600.00	7.70
1-2	0.10	0.53	30.84	5.15	2903.30	7.65
1-3	0.11	0.49	36.82	4.62	3231.35	7.55
1-4	0.11	0.45	44.47	4.13	3611.28	7.47
1-5	0.11	0.41	54.69	3.67	4050.55	7.39
1-6	0.11	0.36	68.97	3.26	4552.92	7.33
1-7	0.11	0.31	89.44	2.90	5113.55	7.28
1-8	0.10	0.26	118.46	2.59	5717.60	7.24
1-9	0.09	0.21	159.97	2.33	6345.77	7.20
1-10	0.08	0.17	218.41	2.11	6971.15	7.17
1-11	0.07	0.13	297.88	1.94	7563.81	7.14
1-12	0.06	0.10	403.38	1.81	8097.55	7.11

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)E

None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	2600.00	2600.00	8666.67
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.70	-6.70	-5.19
Siff&Davis Index	-6.70	-6.70	-5.56
CaSO4 Saturation %	4.48	4.48	20.44
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	16.73	16.73	53.60

Ver 4.5 **VONTRON**

Project Information					
Project Name:	EXP006	Date:	15/12/2021		
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON		

System Summary -- Pass 1					
Feed Flow to Stage 1	11.4	m3/h	PermeateFlow:	8.0	m3/h
Raw Water Flow to System	11.4	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	7.6	bar	Feed Temp:	28.0	C
Feed TDS	2620.3	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	9.8	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water SDI < 3	
Power	2.93	KW	Specific Energy	0.37	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

Array	
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

Summary of All Stages -- Pass 1									
Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm									
Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	11.4	7.4	3.4	6.8	8.0	92.4

Ionic Summary -- Pass 1(ppm)				
Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	731.0	731.0	2369.5	28.7
Ca	128.4	128.4	421.3	2.8
Mg	64.0	64.0	209.9	1.4
K	38.4	38.4	122.6	2.3
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	1392.1	1392.1	4514.2	53.9
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	7.4	7.4	21.9	1.2
SO4	238.5	238.5	791.7	1.4

Ver 4.5 **VONTRON**

SiO2	20.6	20.6	68.1	0.2
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	2620.3	2620.3	8519.2	91.9

Array Details -- Pass 1						
Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm						
Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.11	0.61	29.30	5.71	2620.30	7.38
1-2	0.11	0.57	35.00	5.09	2933.24	7.33
1-3	0.12	0.52	42.22	4.52	3298.32	7.23
1-4	0.12	0.47	51.69	4.00	3724.47	7.15
1-5	0.12	0.42	64.58	3.52	4218.19	7.08
1-6	0.11	0.36	83.31	3.11	4778.73	7.03
1-7	0.11	0.30	109.87	2.75	5387.67	6.98
1-8	0.10	0.24	148.41	2.45	6023.45	6.94
1-9	0.08	0.19	204.10	2.22	6655.38	6.90
1-10	0.07	0.14	281.70	2.03	7249.35	6.87
1-11	0.06	0.11	386.01	1.89	7776.42	6.84
1-12	0.04	0.08	527.42	1.78	8219.41	6.82

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)  
None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	2620.30	2620.30	8734.33
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.61	-6.61	-5.09
Siff&Davis Index	-6.61	-6.61	-5.47
CaSO4 Saturation %	3.98	3.98	18.12
BaSO4 Saturation %	0.02	0.02	0.10
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	15.41	15.41	49.39

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

Project Name:	EXP007	Date:	19/12/2021
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	11.4	m3/h	PermeateFlow:	8.0	m3/h
Raw Water Flow to System	11.4	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	12.7	bar	Feed Temp:	23.0	C
Feed TDS	5004.5	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	9.0	Lh-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	RO Permeate SDI < 1	
Power	4.98	KW	Specific Energy	0.62	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

**Array**

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	11.4	12.5	3.4	12.0	8.0	176.2

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	1533.0	1533.0	4973.5	58.4
Ca	122.4	122.4	401.9	2.6
Mg	122.1	122.1	401.1	2.6
K	73.3	73.3	234.3	4.3
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	2656.7	2656.7	8614.6	103.0
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	14.1	14.1	42.2	2.1
SO4	455.1	455.1	1510.7	2.6

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	27.8	27.8	91.8	0.3
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	5004.5	5004.5	16270.1	175.8

---

**Array Details -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.14	0.80	36.89	5.71	5004.50	12.54
1-2	0.14	0.71	49.21	4.91	5813.73	12.49
1-3	0.14	0.61	67.22	4.20	6781.75	12.40
1-4	0.14	0.50	94.24	3.60	7911.58	12.32
1-5	0.13	0.40	132.37	3.10	9168.77	12.26
1-6	0.11	0.31	194.44	2.70	10519.48	12.22
1-7	0.10	0.23	292.70	2.39	11848.35	12.18
1-8	0.08	0.16	442.00	2.16	13062.34	12.14
1-9	0.06	0.12	652.26	2.00	14094.73	12.11
1-10	0.04	0.08	943.92	1.88	14918.41	12.09
1-11	0.03	0.06	1361.82	1.80	15541.71	12.06
1-12	0.02	0.04	1931.65	1.75	15993.43	12.04

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.268m3/h)E  
None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.50	7.50	8.02
TDS	5004.50	5004.50	16681.67
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.63	-6.63	-5.12
Siff&Davis Index	-6.78	-6.78	-5.73
CaSO4 Saturation %	6.17	6.17	23.40
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.14
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	22.55	22.55	68.46

Ver 4.5 **VONTRON**

Project Information					
Project Name:	EXP008	Date:	15/12/2021		
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON		

System Summary -- Pass 1					
Feed Flow to Stage 1	11.4	m3/h	PermeateFlow:	8.0	m3/h
Raw Water Flow to System	11.4	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	12.6	bar	Feed Temp:	28.0	C
Feed TDS	5004.5	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	9.8	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	Well Water/Tap Water SDI < 3	
Power	4.93	KW	Specific Energy	0.62	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

Array	
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

Summary of All Stages -- Pass 1 Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm									
Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	11.4	12.4	3.4	11.9	8.0	194.4

Ionic Summary -- Pass 1(ppm)				
Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	1526.1	1526.1	4937.0	64.2
Ca	128.4	128.4	420.8	3.0
Mg	122.1	122.1	400.4	2.9
K	73.3	73.3	233.3	4.7
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	2656.7	2656.7	8589.7	113.7
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	14.1	14.1	41.8	2.2
SO4	455.1	455.1	1510.1	3.0

Ver 4.5 **VONTRON**

SiO2	28.6	28.6	94.5	0.3
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	5004.5	5004.5	16227.6	194.0

Array Details -- Pass 1 Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm						
Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.16	0.90	42.98	5.71	5004.47	12.42
1-2	0.16	0.77	58.20	4.81	5931.37	12.37
1-3	0.16	0.64	81.35	4.03	7057.04	12.28
1-4	0.15	0.51	115.34	3.40	8368.82	12.21
1-5	0.13	0.38	169.05	2.89	9825.37	12.15
1-6	0.11	0.27	255.22	2.51	11295.54	12.11
1-7	0.09	0.19	394.69	2.23	12649.92	12.07
1-8	0.06	0.13	603.05	2.04	13791.94	12.04
1-9	0.05	0.09	897.84	1.91	14682.29	12.02
1-10	0.03	0.06	1331.77	1.83	15334.19	11.99
1-11	0.02	0.04	1945.62	1.77	15788.38	11.97
1-12	0.01	0.03	2687.69	1.73	16092.92	11.95

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning: The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.948m3/h)E  
None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	5004.47	5004.47	16681.57
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.64	-6.64	-5.12
Sirhard-Davis Index	-6.79	-6.79	-5.74
CaSO4 Saturation %	5.73	5.73	21.73
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.12
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	21.40	21.40	68.58

Ver 4.5 **VONTRON**

---

**Project Information**

Project Name:	EXP009	Date:	19/12/2021
Designed By:	VONTRON	Company:	VONTRON

---

**System Summary -- Pass 1**

Feed Flow to Stage 1	9.3	m3/h	PermeateFlow:	6.5	m3/h
Raw Water Flow to System	9.3	m3/h	Recovery:	70.0	%
Feed Pressure:	9.8	bar	Feed Temp:	25.5	C
Feed TDS	3943.4	ppm	Number of Elements	24	
Total Active Area	891.9	m2	Average System Flux	8.0	L/h-m2
Fouling Factor	0.85		WaterType	RO Permeate SDI < 1	
Power	3.11	KW	Specific Energy	0.48	KWh/m3
Chem.Dose	0.00	ppm	Ion Exchange Softening	No	

---

**Array**

Array	1
Elements Model	LP22-8040
No.of PV	2
Elements per PV	12
Boostpump pressure	N/A
Permeate back pressure	.00

---

**Summary of All Stages -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Stage	Model	#PV	#Elem	FeedFlow	FeedPress	ConcFlow	ConcPress	PermFlow	PermTDS
1-1	LP22-8040	2	12	9.3	9.6	2.8	9.3	6.5	170.4

---

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

Ions	Raw Water	Adjusted Water	Concentrate	Permeate
Na	1125.0	1125.0	3624.3	53.8
Ca	186.6	186.6	610.5	5.0
Mg	93.0	93.0	304.2	2.5
K	55.8	55.8	176.7	4.1
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0
NH4	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	2125.3	2125.3	6851.0	99.8
CO3	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3	0.0	0.0	0.0	0.0
F	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3	10.8	10.8	31.4	1.9
SO4	346.8	346.8	1150.0	2.6

Ver 4.5 **VONTRON**

---

SiO2	29.9	29.9	98.8	0.4
CO2	0.0	0.0	0.0	0.0
Boron	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS	3943.4	3943.4	12846.9	170.0

---

**Array Details -- Pass 1** Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

Element	Recovery	PermFlow	PermTDS	FeedFlow	FeedTDS	FeedPressure
1-1	0.15	0.67	37.87	4.64	3943.40	9.63
1-2	0.15	0.60	49.72	3.96	4642.80	9.61
1-3	0.15	0.51	67.55	3.37	5455.67	9.54
1-4	0.14	0.41	94.21	2.86	6407.87	9.49
1-5	0.13	0.32	136.09	2.45	7472.31	9.45
1-6	0.11	0.24	202.42	2.13	8581.17	9.41
1-7	0.09	0.17	308.35	1.89	9654.96	9.38
1-8	0.07	0.12	467.19	1.71	10606.47	9.36
1-9	0.05	0.08	693.20	1.59	11378.02	9.34
1-10	0.04	0.06	1025.04	1.51	11962.94	9.32
1-11	0.03	0.04	1486.16	1.45	12383.20	9.30
1-12	0.02	0.03	2035.63	1.41	12673.53	9.29

---

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings  
None

1 pass RO system Design Warnings  
1 stage Warnings:  
Warning:The concentrate flow rate is less than the recommended minimum flow. Please change your system design to increase concentrate flow rates. (Limit: 2.268m3/h)E

None

**Scaling Calculations**

	Feed	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.38	7.38	7.90
TDS	3943.40	3943.40	13144.67
HCO3	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00
LSI	-6.51	-6.51	-4.99
Siff&Davis Index	-6.60	-6.60	-5.54
CaSO4 Saturation %	7.41	7.41	29.87
BaSO4 Saturation %	0.03	0.03	0.11
SrSO4 Saturation %	0.00	0.00	0.00
CaF2 Saturation %	0.00	0.00	0.00
SiO2 Saturation %	23.33	23.33	74.75

ANEXO N°5. Tabla de resultados

Bloques	Temperatura (°C)	TDS (ppm)	Caudal (m3/h)	Flujo de alimentación (m3/h)	Flujo de concentrado (m3/h)	Presión de alimentación (Bar)	Presión de concentrado (Bar)	Energía específica (KWh/m3)	TDS Permeado (ppm)
1	23	2620	5	7.1	2.1	6.6	6.2	0.32	133.9
2	28	2620	5	7.1	2.1	6.3	6.1	0.31	143.7
3	23	5000	5	7.1	2.1	11.6	11.3	0.58	264.1
4	28	5000	5	7.1	2.1	11.6	11.4	0.57	211.5
5	23	2620	8	11.4	3.4	7.7	7.1	0.38	81.9
6	28	2620	8	11.4	3.4	7.4	6.8	0.37	92.4
7	23	5000	8	11.4	3.4	12.5	12	0.62	176.2
8	28	5000	8	11.4	3.4	12.4	11.9	0.62	194.4
9	25.5	3810	6.5	2.8	9.6	9.3	9.3	0.48	170.4

CONSTANTES	
Modelo de elementos	LP22-8040
No. De PV	2
Elementos por PV	12
Presión de la bomba de refuerzo	N/A
Retropresión del permeado	0
Recuperación	70%
Factor de fallas	0.85
Area activa total	891.9 m2

ANEXO N° 6. Tabla de resultados

**Tabla 21**

*Resultados de parámetros fisicoquímicos*

Resultados de parámetros físico químicos			
	Pretest	Post test	LMP(Reglamento de calidad de agua para consumo humano Anexo II)
sólidos			
totales	2620.3 mg/L	133.3 mg/L	<b>1000 mg/L</b>
disueltos			