

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN EL  
ACONDICIONAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA  
PARA CALDERA MEDIANTE OSMOSIS INVERSA EN EL  
COMPLEJO INDUSTRIAL SKAVOS S.A.C.”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PÉREZ SULLCARAY WILBER**

Callao, 2019

PERÚ

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Zoila Margarita Díaz Córdova  
**PRESIDENTE**

Ing. Juan Taumaturgo Medina Collana  
**ASESOR**

Ing. Carmen Mabel Luna Chávez  
**SECRETARIA**

Ing. César Gutiérrez Cuba  
**VOCAL**

DE LIBRO DE SUSTENTACION:

DE ACTA DE SUSTENTACIÓN:

FECHA APROBACIÓN DE LA TESIS:

## **DEDICATORIA**

A mi madre G. S. H., a quien debo la más importante motivación para ser mejor persona.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer hoy y siempre a mi familia y está claro que, si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posible.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas:

- Al Sr. Fotis Kalinicos, gerente general del Complejo Industrial Skavos S.A.C.
- Al personal técnico de la empresa ABAQUA SAC, por brindarme datos técnicos de procesos de Osmosis Inversa.
- Al Ing. Juan Medina Collana, por su apoyo mediante la asesoría en la realización de esta tesis.
- A mis compañeros de trabajo en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.
- A mis compañeros y amigos del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

## ÍNDICE

RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
I.    PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	13
1.1  Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2  Formulación del problema.....	15
1.2.1  Problema general.....	15
1.2.2  Problemas específicos.. ..	15
1.3  Objetivos .....	16
1.3.1  Objetivo general.....	16
1.3.2  Objetivos específicos.....	16
1.4  Limitantes de la investigación .....	16
II.   MARCO TEÓRICO.....	17
2.1  Antecedentes .....	17
2.2  Bases teóricas.....	17
2.2.1  Fuentes de agua de la ciudad de Lima y Callao. ....	17
2.2.2  Calidad de las aguas subterráneas.....	17
2.2.3  Conceptos básicos de caldera .....	19
2.2.4  Calidad de agua para la alimentación de calderas.....	21
2.2.5  Fundamentos físicos del osmosis inversa.....	22
2.2.6  Principales parámetros en los procesos con membranas.....	22
2.2.7  El fenómeno del ensuciamiento de membranas .....	24
2.2.8  Limpieza química de membranas. ....	25
2.2.9  Costos asociados a procesos de osmosis inversa.....	26

2.3	Conceptual.....	28
2.3.1	Criterios de diseño y dimensionamiento del proceso .....	28
2.3.2	Consideraciones para la evaluación económica del proceso.....	31
2.4	Definición de términos básicos .....	33
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	35
3.1	Hipótesis .....	35
3.1.1	Hipótesis general .....	35
3.1.2	Hipótesis específicas.....	35
3.2	Definición conceptual de variables.....	36
3.2.1	Operacionalización de variables .....	37
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	38
4.1	Tipo y diseño de investigación .....	38
4.1.1	Tipo de investigación.....	38
4.1.2	Diseño de la investigación.....	38
4.2	Método de la investigación.....	40
4.2.1	Metodología para caracterizar el agua de fuente subterránea .....	40
4.2.1	Metodología para caracterizar el agua de alimentación de la caldera ...	41
4.2.3	Metodología para definir los costos de operación y mantenimiento.....	42
4.3	Población y muestra.....	43
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado .....	43
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
4.5.1	Instrumentos de recolección de datos.....	43
4.5.2	Procedimiento para caracterizar el agua de fuente subterránea.....	44
4.5.3	Procedimiento para caracterizar el agua de alimentación de la caldera	45
4.5.4	Procedimiento para definir los costos de operación y mantenimiento....	49

4.5.5	Procedimiento para la optimización de costos .....	54
4.6	Análisis y procesamiento de datos .....	54
4.6.1	Procesamiento estadístico.. .....	54
4.6.2	Análisis de datos.. .....	54
V.	RESULTADOS .....	57
5.1	Características fisicoquímicas y biológicas de agua subterránea.. .....	57
5.2	Características fisicoquímicas de agua de alimentación de la caldera ..	59
5.3	Costos del proceso. ....	59
5.3.1	Costos de inversión del proceso .....	59
5.3.2	Costos de operación y mantenimiento del proceso.....	60
5.4	Análisis de los costos y modelamiento matemático. ....	61
5.4.1	Representación gráfica de datos.....	61
5.4.2	Estudio de valores anómalos .....	69
5.4.4	Estudio de normalidad de datos definitivos .....	74
5.4.5	Obtención del modelo matemático.....	85
5.4	Representación gráfica de costos de operación y mantenimiento. ....	92
VI.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	97
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. ....	97
6.1.1	Caracterización de agua subterránea .....	97
6.1.2	Caracterización de agua de alimentación de la caldera.....	98
6.1.3	Costos definidos de operación y mantenimiento en el proceso .....	98
6.1.4	Análisis de la optimización de costos .....	99
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares. ....	102
6.2	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	103
VII.	CONCLUSIONES .....	104
VIII.	RECOMENDACIONES.....	105
IX.	REFERENCIAS BIBLIOFIGURAS .....	106

X. ANEXOS .....	109
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	109
Anexo 2. Memoria de cálculos. ....	110
Anexo 3. Información técnica de equipos y dispositivos .....	131
Anexo 3. Consentimiento informado .....	144



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Directrices de ASME de la calidad del agua de alimentación en función de la presión .....	47
Tabla 2. Directrices de ASME de la calidad del agua de caldera en función de la presión.....	47
Tabla 3. Química del agua recomendada para alimentación de calderas, adoptado de ASME .....	48
Tabla 4. Requerimientos de agua de alimentación para calderas de vapor según BS 2486, ABMA y el TÜV hasta 10 BAR.....	48
Tabla 5. Requerimientos de agua de caldera según BS 2486, ABMA y el TÜV hasta 10 BAR.....	49
Tabla 6. Combinaciones de investigación.....	63
Tabla 7. Tipo de variables de la investigación.....	55
Tabla 8. Análisis físico químico .....	57
Tabla 9. Metales totales por ICP-MS .....	58
Tabla 10. Análisis microbiológico .....	58
Tabla 11. Parámetros de diseño de proceso de osmosis inversa .....	59
Tabla 12. La calidad del permeado.....	59
Tabla 13. Calidad del agua de alimentacion del caldero.....	59
Tabla 14. Costos de inversión.....	60
Tabla 15. Costos de operación y mantenimiento (costo de producción). 60	
Tabla 16. Datos definitivos .....	74
Tabla 17. Descriptivos.....	75
Tabla 18. Estimadores M .....	75
Tabla 19. Valores extremos .....	76
Tabla 20. Pruebas de normalidad .....	76
Tabla 21. Descriptivos.....	78
Tabla 22. Estimadores M .....	78
Tabla 23. Valores extremos .....	78
Tabla 24. Pruebas de normalidad .....	79
Tabla 25. Descriptivos.....	80
Tabla 26. Estimadores M .....	80

Tabla 27. Valores extremos .....	81
Tabla 28. Pruebas de normalidad .....	81
Tabla 29. Descriptivos.....	83
Tabla 30. Estimadores M .....	83
Tabla 31. Valores extremos .....	83
Tabla 32. Pruebas de normalidad .....	84
Tabla 33. Pruebas de efectos inter-sujetos.....	86
Tabla 34. Estadísticos descriptivos .....	86
Tabla 35. Estimaciones de parámetro.....	86
Tabla 36. Función general que se puede estimar .....	87
Tabla 37. Pruebas de falta de ajuste.....	87
Tabla 38. Coeficientes de contraste (matriz L).....	87
Tabla 39. Valores de log-verosimilitud .....	88
Tabla 40. Estadísticas del mejor modelo .....	89
Tabla 41. Resumen del modelo .....	89
Tabla 42. ANOVA.....	89
Tabla 43. Coeficientes .....	89
Tabla 44. Variables excluidas .....	90
Tabla 45. Valores de log-verosimilitud .....	90
Tabla 46. Estadísticas del mejor modelo .....	91
Tabla 47. Resumen del modelo .....	91
Tabla 48. ANOVA.....	91
Tabla 49. Coeficientes .....	91
Tabla 50. Variables excluidas .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama básico de una caldera .....	20
Figura 2.	Fundamentos físicos del osmosis inversa.....	21
Figura 3.	Diseño de la investigación. ....	39
Figura 4.	Esquema general de planta .....	51
Figura 5.	Diagrama circular de porcentajes de costos de inversión. ....	61
Figura 6.	Diagrama circular de porcentajes de costos de operación y mantenimiento.....	62
Figura 7.	Diagrama de barras de costo de mantenimiento .....	62
Figura 8.	Diagrama de dispersión de costo de mantenimiento .....	63
Figura 9.	Diagrama de barras de costo de energía.....	63
Figura 10.	Diagrama de dispersión de costo de energía.....	64
Figura 11.	Diagrama de barras de costo de membranas .....	64
Figura 12.	Diagrama de dispersión de costo de membranas .....	65
Figura 13.	Diagrama de barras de costo de materia prima .....	65
Figura 14.	Diagrama de dispersión de costo de materia prima .....	66
Figura 15.	Diagrama de barras de costo de productos químicos. ....	66
Figura 16.	Diagrama de dispersión de costo de productos químicos.....	67
Figura 17.	Diagrama de barras de costo de filtro cartucho. ....	67
Figura 18.	Diagrama de dispersión de costo de filtro cartucho. ....	68
Figura 19.	Diagrama de barras de costo de asistencia técnica.....	68
Figura 20.	Diagrama de dispersión de costo de asistencia técnica.....	69
Figura 21.	Gráfico de control de costo de mantenimiento. ....	70
Figura 22.	Gráfico de control de costo de asistencia técnica. ....	70
Figura 23.	Gráfico de control de costo de energía. ....	71
Figura 24.	Gráfico de control de costo de membranas. ....	71
Figura 25.	Gráfico de control de costo de materia prima. ....	72
Figura 26.	Gráfico de control de costo de productos químicos. ....	72
Figura 27.	Gráfico de control de costo de recambio de filtros. ....	72
Figura 28.	Gráfico de control del costo total del producto. ....	73
Figura 29.	Diagrama de barras de costo de energía.....	76

Figura 30. Gráfico Q-Q normal de costo de energía. ....	77
Figura 31. Diagrama de cajas y bigotes de costo de energía. ....	77
Figura 32. Diagrama de barras de costo de productos químicos. ....	79
Figura 33. Gráfico Q-Q normal de costo de productos químicos. ....	79
Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes de costo de productos químicos	80
Figura 35. Diagrama de barras de costo de materia prima. ....	81
Figura 36. Gráfico Q-Q normal de costo de materia prima. ....	82
Figura 37. Diagrama de cajas y bigotes de costo de materia prima.....	82
Figura 38. Diagrama de barras del costo total. ....	84
Figura 39. Gráfico Q-Q normal del costo total.....	84
Figura 40. Diagrama de cajas y bigotes del costo total.....	85
Figura 41. Residuales .....	87
Figura 42. Resultados de costos de mantenimiento .....	92
Figura 43. Resultados de costos de asistencia técnica.....	93
Figura 44. Resultados de costos de energía.....	93
Figura 45. Resultados de costos de membranas.....	94
Figura 46. Resultados de materia prima directa.....	94
Figura 47. Resultados de productos químicos .....	95
Figura 48. Resultados de costos de filtros cartucho.....	95
Figura 49. Resultados de costos totales . ....	96

## RESUMEN

En Lima y Callao, en las zonas industriales, las Empresas cuentan con pozos activos de abastecimiento de agua subterránea. La cantidad de sólidos disueltos en el fluido y la necesidad de suministro de agua para la alimentación de calderas industriales, libre en lo posible de iones divalentes de calcio y otros contaminantes, a fin de prevenir corrosiones, incrustaciones, mala calidad del vapor, pérdidas de energía e insumos químicos en la frecuencia de purgas; apremia a las Empresas a tratar el agua subterránea con diversas tecnologías, entre ellas mediante osmosis inversa, que a pesar de los beneficios significativos asociados, trabajan en situaciones críticas, como: aguas fuera de los parámetros recomendados, pretratamiento deficiente, diferentes fuentes de agua o cambios constantes en la calidad del agua, etc., generando incrementos en los costos de operación y mantenimiento del sistema.

La presente investigación tiene como objetivo optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.

Los costos asociados al proceso se definieron en función al diseño del esquema general de planta de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa (figura 4), considerando la caracterización del agua subterránea y la calidad del agua requerida para el caldero; para lo cual se realizó cálculos teóricos de dimensionamiento de los equipos y dispositivos auxiliares en un rango de producción desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día, con factores de conversión de 70% y 80%. Dentro del rango se definió 12 combinaciones de investigación: capacidad de producción (m<sup>3</sup>/día) y factor de conversión (%). Los costos se estimaron en base a la estimación paramétrica de costos y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios en el Perú. Para optimización de los costos en el proceso se usó Excel y el programa IBM SPSS Statistics 25 para el análisis de datos, logrando la optimización de cada costo y en consecuencia una línea de producción óptima de 16,654 m<sup>3</sup>/día con costos óptimos de agua para caldera de 10.564 S//m<sup>3</sup> y 11.121 S//m<sup>3</sup> al 80% y 70% de factor de conversión respectivamente, considerando el análisis estadístico, modelamiento matemático y el inicio de la estabilidad de los costos.

## ABSTRACT

In Lima and Callao, in the industrial zones, companies have active wells for the supply of groundwater. The amount of dissolved solids in the fluid and the need for water supply for industrial boiler feed, free of calcium divalent ions and other contaminants as much as possible; in order to prevent corrosion, incrustation, poor vapor quality, loss of energy and chemical inputs in the frequency of purges, it urges companies to treat groundwater with various technologies, including by reverse osmosis, that despite the significant benefits associated, they work in critical situations, such as: water outside the recommended parameters, poor pretreatment, different water sources or constant changes in water quality, etc., generating increases in the operating and maintenance costs of the system.

The objective of the present investigation is to optimize the costs in the conditioning of underground water for boiler by means of reverse osmosis in the Complejo Industrial Skavos S.A.C.

The costs associated to the process were defined in the function of the general design of the scheme of the groundwater conditioning plant for the boiler by means of reverse osmosis (figure 4), considering the characterization of underground water and the water quality required for the boiler; for which it was carried out theoretical calculations of sizing of the equipment and auxiliary devices in a range of production from 8.32 m<sup>3</sup>/day to 49.96 m<sup>3</sup>/day, with conversion factors of 70% and 80%. Within the range, 12 research combinations are defined: production capacity (m<sup>3</sup>/day) and conversion factor (%). Costs were estimated based on the parametric cost estimate and analysis of offers of suppliers of products and services in Peru.

For cost optimization in the process Excel was used and the IBM SPSS statistics 25 Program for data analysis, achieving the optimization of each cost and consequently an optimal production line of 16,654 m<sup>3</sup>/day with optimum costs of water for boiler of 10.564 S//m<sup>3</sup> and 11.121 S//m<sup>3</sup> at 80% and 70% conversion factor respectively, considering statistical analysis, mathematical modeling and the onset of cost stability.

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería siempre se ha dado paso a través de la historia con descubrimientos, investigaciones e innovaciones; buscando continuamente desarrollar tecnologías para solucionar y mejorar de una u otra manera la vida de las personas. En el Perú, uno de los grandes problemas que se afronta actualmente, es el requerimiento de agua en óptimas condiciones para diversos usos (agricultura, consumo humano, industrial, etc.), aunque, en general el agua no constituye un recurso escaso, este no se encuentra disponible de forma natural en el espacio y tiempo en el que se necesita, por ejemplo, mientras que en la selva el agua es abundante, muchas poblaciones y actividades económicas de la costa sufren de continua escasez de agua potable y para fines industriales. La industria actual en gran parte de Lima y Callao usa fuentes de agua subterránea, extraídas de pozos de perforación, ya sea por su bajo costo o por ser una alternativa debido a su ubicación geográfica, sin embargo, debido a las características fisicoquímicas del agua subterránea, no se puede usar directamente en algunos procesos industriales entre ellas en procesos de generación de vapor con calderas; ya que, el agua subterránea depende de la naturaleza geológica del suelo. Algunas de las características fisicoquímicas típicas de las aguas subterráneas de un pozo de extracción es la conductividad por encima  $1000\mu\text{s/cm}$ , la conductividad elevada y el no tratamiento químico adecuado del agua de alimentación implica mayor acumulación de depósitos de minerales e impurezas formándose incrustaciones y corrosión en el interior de la caldera, lo que se traduce en aumento de costos de mantenimiento, mayor consumo de energía y menor vida útil de la caldera, también constituye un peligro por sobrecalentamiento de la caldera cuando se forma un aislamiento térmico por las incrustaciones y fuga de agua en las tuberías o intercambiadores de calor corroídos.

En la presente investigación se propone la incorporación de una unidad de osmosis inversa al sistema de tratamiento de agua de reposición de la caldera, removiendo un 95 a 99% de los sólidos totales disueltos (STD), para optimizar el proceso de generación de vapor, porque mientras mayor sea la pureza del agua de alimentación de una caldera (antes de la dosificación de productos químicos),

mayor será la pureza del vapor generado y menores serán los costos asociados al mantenimiento del sistema, permitiendo aumentar el tiempo de residencia del agua dentro de la caldera, disminuyendo la frecuencia de las purgas ahorrando importantes cantidades de agua y productos químicos, además del importante ahorro asociado al costo operativo por aumento de la eficiencia de la transmisión del calor que implica menor consumo de combustible.

En la presente tesis, se optimizó los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., en un rango de producción desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día con factores de conversión de 70% y 80%; para tal fin, se caracterizó el agua de pozo (agua subterránea) y la calidad del agua requerida para el caldero con ensayos de laboratorio de análisis de fisicoquímico, biológico, parámetros de diseño de proceso de osmosis inversa; en base a la caracterización se definió el proceso de acondicionamiento de agua, determinando para el proceso los costos asociados a la construcción y funcionamiento de la misma, sin considerar los costos de menor importancia relativa ya que el tratamiento del agua es un subproceso de los procesos de producción de la Empresa.



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

Lima, la capital del Perú, es el centro económico del país y alberga aproximadamente a la tercera parte de la población peruana. Esta ciudad está ubicada en el desierto costero en la vertiente del Pacífico, y cuenta solo con el 2.2% de los recursos hídricos del país para mantener a la población, la cual habita en uno de los ecosistemas más áridos del mundo (WWF Perú, 2014, p.8). Lima, es la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto, siendo El Cairo en Egipto la primera (WWF Perú, 2014, p.9).

Las principales fuentes de provisión de agua para Lima son los ríos Rímac, Chillón y Lurín, y un conjunto de lagos, represas y reservorios relacionados a ellos. La oferta a la ciudad está compuesta por 75% de aguas del río Rímac, 13% del río Chillón y 12% del río Lurín. Sin embargo, solo los ríos Rímac y Chillón brindan agua potable a Lima, mientras que el agua del río Lurín es usada principalmente para la agricultura (WWF Perú, 2014, p.28).

Actualmente, debido al crecimiento progresivo demográfico e industrial, la demanda de agua ha aumentado significativamente, y la fuente de agua subterránea es una alternativa utilizada en la industria y agricultura; con el paso del tiempo, esta situación de escasez se volverá más crítica; hecho que exige la necesidad de promover la utilización de procesos alternativos para el abastecimiento de agua potable e industrial, entre los que se encuentra la desalinización del agua de mar con tecnologías eficientes y económicamente atractivas.

En Lima y Callao las zonas industriales, cuentan con pozos activos de abastecimiento de agua subterránea para satisfacer sus necesidades en sus procesos productivos; sin embargo, debido a las características fisicoquímicas del agua subterránea, el uso es limitado en algunos procesos productivos de las empresas, es por ello, en gran mayoría el tratamiento de aguas industriales, son realizadas por servicios externos, es decir, por compañías de servicios especializadas en tratamiento de aguas, los mismos que trabajan con las empresas y los operadores de las plantas para resolver los problemas

relacionados al agua, de forma que, puedan operarse con seguridad, eficiencia y de forma continua cuando se precise.

Durante las últimas décadas, los avances en el diseño de tecnología e ingeniería de las empresas especializadas han permitido el diseño y construcción de plantas de tratamiento de agua con tecnología de osmosis inversa para tratar agua de varias fuentes de procedencia y para diversas actividades; sin embargo, se podría decir que cada instalación es única y algunas veces, las plantas trabajan en situaciones críticas, como: aguas fuera de los parámetros recomendados, pretratamiento deficiente, diferentes fuentes de agua o cambios constantes en la calidad del agua, entre otros; por lo que, se tienen altos costos de inversión, operación y mantenimiento, es decir se generan gastos por consumo excesivo de energía, productos químicos, recambio de membranas, recambio de filtros, asistencia técnica, etc.

En la Empresa Complejo Industrial Skavos S.A.C., se identificó problemas asociados a la generación de vapor causados por las características fisicoquímicas del agua de alimentación de la caldera, en consecuencia, se tiene altos costos de operación y mantenimiento de la caldera. El alto costo de mantenimiento de la caldera se da principalmente por la formación de incrustación y corrosión. La causa de la incrustación es la cantidad de sólidos disueltos totales (STD) que incluye iones bivalentes en el agua de alimentación (carbonatos y sulfatos), constituyendo este un impedimento para la transferencia de calor, generando sobrecalentamiento en la caldera generando pérdida de eficiencia y desperdicio de combustible. La corrosión de los materiales se da entre otros en la línea del condensado y es causado por el bajo nivel de pH del fluido y presencia de oxígeno disuelto. También se identificó gastos por consumo excesivo de combustible, lo cual, está relacionado a la pérdida de energía fundamentalmente en la frecuencia de purgas; ya que, la elevada cantidad de los STD del agua de alimentación disminuye el tiempo de residencia del agua dentro de la caldera para evitar los depósitos, más aún si no se usa productos químicos para evitar las incrustaciones (anti incrustantes). Los altos niveles de TDS también afecta a la calidad del vapor, debido al arrastre de vapor originado por el espumeo.

El pretratamiento del agua de alimentación de la caldera ha tenido significativos avances y ahora es posible tener calderas con un suministro de agua, aproximadamente ultra pura, con tecnología de osmosis inversa con sistema de autocontrol y automatización robusto; diseñando un proceso de acondicionamiento de agua considerando las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua fuente y la calidad de agua necesaria para la alimentación de la caldera.

Para optimizar los costos asociados al proceso de acondicionamiento es necesario definir un determinado rango de capacidad de producción y porcentaje de conversión de las membranas, para lo cual, se debe realizar cálculos teóricos de dimensionamiento de los equipos y dispositivos auxiliares de la planta; con las dimensiones obtenidas se debe estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados al proceso. Con el análisis de costos y modelamiento matemático se puede obtener la capacidad de producción óptima dentro del rango definido y el costo óptimo del m<sup>3</sup> de agua para caldera para el porcentaje de conversión definida.

Por tanto, existe una necesidad de optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea?
- b) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de alimentación para caldera?
- c) ¿Cuáles son los costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Determinar las características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea.
- b) Determinar las características fisicoquímicas del agua de alimentación para caldera.
- c) Definir los costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa.

### **1.4 Limitantes de la investigación**

Los limitantes de la investigación propuesta son las siguientes:

- a) Espacial:** la presente investigación, se desarrolló específicamente en el establecimiento o planta industrial pesquero ubicado en la parcela rustica 1C, Mz. AS-AQ, Zona Ex Fundo Oquendo (actualmente Av. Oquendo 9329, altura Km, 13 de la Av. Néstor Gambeta), del distrito y Provincia Constitucional del Callao; siendo este, una instalación de la empresa Complejo Industrial Skavos S.A.C.
- b) Temporal:** la presente la investigación, se llevó a cabo desde enero del 2018 hasta febrero del 2019.
- c) Teórica:** La optimización de costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa que se planteará como resultado de la investigación, involucra el análisis y la sistematización de las actividades que se han desarrollado en torno a la planta de tratamiento de agua con membranas o por osmosis inversa, incidiendo en la instalación, operación y mantenimiento del proceso de acondicionamiento de agua que permiten eliminar solidos disueltos del agua subterránea dejándola con propiedades fisicoquímicas adecuadas para el uso en calderas industriales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Feo, J. J. (2013), en su tesis doctoral sobre la optimización de costes en líneas de producción para plantas desalinizadoras de agua de mar mediante osmosis inversa en las islas canarias, estudió la optimización de costos correspondiente a cada uno de los costos en c€/m<sup>3</sup> del agua potable con la tecnología de osmosis inversa, evaluando los factores que afectan al diseño de las plantas desalinizadoras, incidiendo en los costos de inversión y costos de operación y mantenimiento, analizando los costos dentro de un rango de producción de agua potable; presentando la relación total de los factores que afectan al costo del agua desalinizada, valores y porcentajes dentro de cada uno de los apartados generales de cada costo, llegando a una expresión dimensional correspondiente al modelo matemático con los datos obtenidos. En efecto, la tesis en mención es un antecedente metodológico para la presente investigación.

### 2.2 Bases teóricas

#### 2.2.1 Fuentes de agua de la ciudad de Lima y Callao

Las principales fuentes de provisión de agua para Lima son los ríos Rímac, Chillón y Lurín, y un conjunto de lagos, represas y reservorios relacionados a ellos. La oferta a la ciudad está compuesta por 75% de aguas del río Rímac, 13% del río Chillón y 12% del río Lurín. Sin embargo, solo los ríos Rímac y Chillón brindan agua potable a Lima, mientras que el agua del río Lurín es usada principalmente para la agricultura (WWF Perú, 2014)

Si bien la demanda de recursos hídricos de los ciudadanos de Lima se mantiene relativamente constante a lo largo del año, la capacidad de los ríos Rímac y Chillón para cubrirla es irregular y dependiente de la estacionalidad de las lluvias. En el caso del río Rímac, el flujo natural promedio durante la época de estiaje (junio-setiembre) es especialmente bajo, en promedio 8 m<sup>3</sup>/s (WWF Perú, 2014)

#### 2.2.2 Calidad de las aguas subterráneas

Usualmente, el agua subterránea es de muy buena calidad, libre de gérmenes patógenos y turbidez, su temperatura y su composición química son generalmente constantes. Sin embargo, la calidad del agua subterránea depende del tipo y calidad de recarga, de las propiedades del suelo, de los

procesos fisicoquímicos y biológicos en el suelo (Ministerio de Agricultura, 2011, p.4).

A continuación, se describe los principales parámetros hidrogeoquímicos del agua subterránea según el Ministerio de Agricultura (2011):

- a) **Alcalinidad:** representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La presencia del ion bicarbonato generalmente se debe a la acción bacteriana sobre el  $\text{CO}_2$ .
- b) **Calcio:** es el componente principal de la dureza en el agua. Su mayor inconveniente va ligado al aporte de dureza y producción de incrustaciones.
- c) **Cloruro:** es común encontrar cloruro en las fuentes de agua subterránea por dos razones. Una, la mayoría de las sales de cloruros son solubles en agua, siendo la más característica el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ). La otra razón es que la muchas de las rocas que forman acuíferos fueron alguna vez rocas sedimentarias en el mar.
- d) **Magnesio:** constituye la dureza total del agua y en presencia de pH elevado genera hidróxido de magnesio [ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ] incrustante.
- e) **Sodio:** la mayoría de sus sales son solubles en agua, a excepción de algunos complejos minerales. Su presencia también está determinada a la presencia de cloruro, ion al cual está íntimamente ligado. Si el sodio se encuentra como carbonato ácido de sodio genera problemas de espuma en calderas.
- f) **Sulfato:** los sulfatos se producen de forma natural en el agua subterránea, ya que están compuestos de azufre y oxígeno, ambos de los cuales se pueden encontrar en el suelo y rocas.
- g) **Sólidos disueltos totales:** es la suma de todos los materiales (impurezas) disueltos en el agua, por lo que tiene muchas fuentes minerales. En niveles altos acelera los procesos corrosivos y formación de incrustaciones.
- h) **Potasio:** se encuentra estrechamente ligado al sodio. Su análisis cobra importancia para la realización de balances iónicos.
- i) **Nitrato:** aparece en el agua como producto del ciclo del nitrógeno, más que por medio de minerales disueltos. Su contenido en las aguas subterráneas es más alto que en las aguas superficiales, debido en gran parte por la lixiviación en terrenos agrícolas

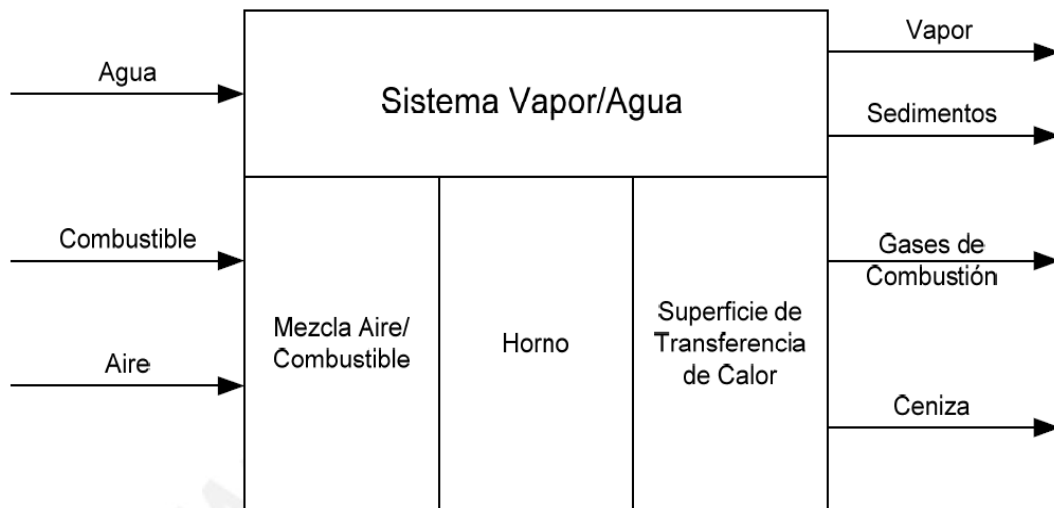
- j) **pH:** el pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, este parámetro es el que controla y define la mayoría de las reacciones químicas. Su medida y control son fundamentales para corroborar resultados y procesos químicos ocurridos.
- k) **Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ):** es la capacidad del agua para conducir la electricidad. Directamente proporcional al contenido de sólidos (inorgánicos) disueltos (STD, mg/l). La conductividad aumenta con la temperatura.
- l) **Dureza:** la dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones, especialmente al ser calentada. Los componentes comunes que producen dureza son el Ca y el Mg; otros como el hierro, manganeso, aluminio, cinc y estroncio, rara vez se presentan en cantidades apreciables en las aguas naturales. La dureza total es la suma de la temporaria, derivada de bicarbonatos y eventualmente de carbonatos, más la permanente que deriva de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

### 2.2.3 Conceptos básicos de caldera

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor (Nogués, J., 1926), lo cual se genera a través de una transferencia de calor procedente de la combustión de un combustible, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Un diagrama básico de una caldera se muestra en la figura 1, este diagrama muestra que una caldera se encuentra conformada por dos sistemas separados. El primero es el sistema vapor-agua, el cual es también llamado la zona de agua de la caldera. En este sistema el agua se introduce y, luego de recibir el calor que es transferido a través de una barrera metálica, es calentado, convertido en vapor, para finalmente salir del sistema (Rodríguez, J. R., 2006, p.19)

El otro sistema de la caldera es el de combustible-aire-gases de combustión, el cual también se conoce como el sistema de calentamiento de la caldera. Este sistema provee el calor que es transferido al agua. Las entradas a este sistema son el combustible y el aire requerido para quemar el combustible (Rodríguez, J. R., 2006, p.20)



*Figura 1.* Diagrama básico de una caldera

Fuente: Rodríguez J. R. (2006)

En este sistema, el combustible y el aire son mezclados y quemados en un horno. El resultado de la combustión es la conversión de la energía química del combustible en energía térmica o calorífica. El horno está usualmente alineado con la superficie de transferencia de calor en la forma de tubos por donde circulan ya sea agua-vapor o en el caso de las calderas pirotubulares, los gases de combustión. Estos tubos reciben el calor radiante de la llama y lo transfieren al lado de agua del sistema. Los gases resultantes de la combustión, son enfriados mediante la transferencia de su calor a través de lo que se conoce como la superficie de transferencia de calor radiante. Los gases salen del horno y pasan a través de una superficie de calentamiento adicional formada por tubos por donde circulan una mezcla de agua-vapor. En esta área, las superficies no pueden ver la llama, y el calor se transfiere por convección. También en esta área, conocida como la superficie de calentamiento por convección, cantidades adicionales de calor son transferidas hacia el lado de agua de la caldera. Esta transferencia de calor enfría más aún los gases de combustión, los cuales salen de la caldera (Rodríguez, J. R., 2006, p.20)

Debido a que la transferencia de calor depende de una diferencia de temperaturas como fuerza motriz, los gases de combustión de esta caldera básica sólo pueden enfriarse a una temperatura que se encuentra en algún nivel por encima de la temperatura del sistema vapor-agua. La pérdida de calor en los



gases de combustión de la caldera queda determinada por la temperatura de saturación del sistema vapor-agua (Rodríguez, J. R., 2006, p.20)

#### 2.2.4 Calidad de agua para la alimentación de calderas

El agua que ha de utilizarse en la alimentación de calderas requiere una calidad especial, libre en lo posible de iones bivalentes de calcio y magnesio y otros contaminantes como sulfatos, y el pH del agua de alimentación debe ser suficientemente alcalino a fin de prevenir incrustación y corrosión.

La necesidad de disponer de agua de una alta calidad en la alimentación está vinculada con los avances hechos en el tema de las calderas en la calidad de agua de alimentación. Las exigencias de la calidad del agua para la alimentación han crecido con respecto a los nuevos sistemas de generación de vapor, lo que por consecuencia trae el requerimiento de un agua prácticamente pura para las modernas calderas de alta presión (Ortiz, D. & Tavera, C., 2006).

La composición del agua que se alimenta a la caldera debe ser tal, que las impurezas presentes en la misma se puedan concentrar un número razonable de veces dentro del sistema, sin que por ello se superen los límites permitidos por el fabricante (Ortiz, D. & Tavera, C., 2006).

#### 2.2.5 Fundamentos físicos del osmosis inversa

De un modo genérico, puede definirse la ósmosis (natural o directa) como un fenómeno físico que consiste en el paso del solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración, separadas por una membrana semipermeable. En la figura 2, se observa el fenómeno de Ósmosis(a), la situación de equilibrio(b) y la osmosis Inversa(c).

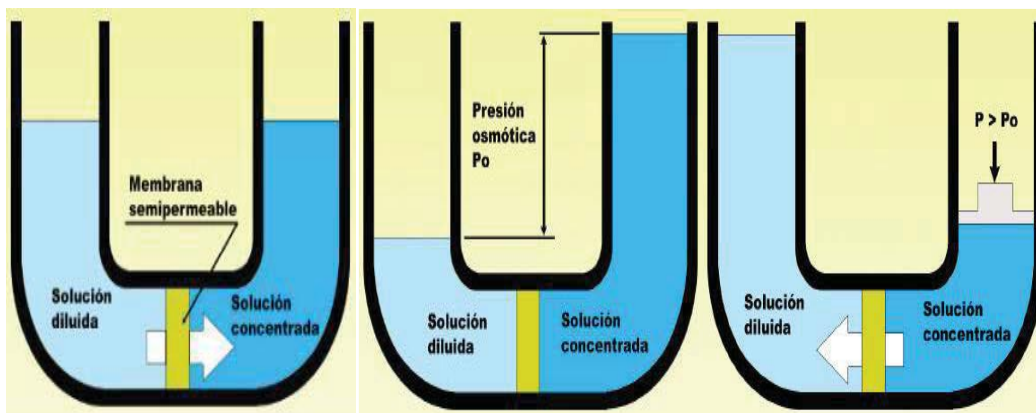


Figura 2. Fundamentos físicos del osmosis inversa

Fuente: Fariñas M. (2003)

En el fenómeno de ósmosis(a), la fuerza impulsora que provoca el movimiento del agua es el gradiente de concentración de soluto, el cual presenta un sentido inverso al del flujo de agua, es decir que el agua se mueve hacia el lado de la membrana donde se encuentra la solución concentrada (Fariñas,M., 2003)

El flujo de agua a través de la membrana cesa cuando la diferencia de niveles entre el agua salada y la solución diluida alcanza un determinado valor y se forma el equilibrio(b). La presión que corresponde a esta diferencia de alturas es la diferencia de presiones osmóticas entre la solución concentrada y la diluida:  
 $P_o = P_{concentrada} - P_{diluida}$  (Fariñas, M., 2003)

En la Ósmosis Inversa se aplica una cierta presión al agua salada forzando a las moléculas de agua pura a pasar a través de una membrana que presenta la propiedad de dejarlas pasar siendo impermeable a la mayor parte de las sales (c) (Fariñas, M., 2003).

### **2.2.6 Principales parámetros en los procesos con membranas**

Los principales parámetros según Gutiérrez, S. (2011), son los siguientes:

#### **a) Flujo a través de la membrana: (J)**

Este flujo de permeado será directamente proporcional a la fuerza impulsora del proceso, e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido y a la resistencia total al paso del mismo.

La resistencia al flujo a través de la membrana se puede obtener como la suma de las diferentes resistencias al paso del fluido

$$R = R_m + R_a + R_p + R_g + R_{cp} \dots \dots \dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

R<sub>m</sub>: Resistencia de la membrana.

R<sub>a</sub>: Resistencia por la adsorción de solutos sobre la membrana.

R<sub>p</sub>: Resistencia por bloqueo de canales de paso por partículas suspendidas.

R<sub>g</sub>: Resistencia debida a la capa de gel en la interface membrana-fluido.

R<sub>cp</sub>: Resistencia debida a la polarización por concentración.

La R<sub>cp</sub> obedece a un proceso similar a la R<sub>g</sub>. Mientras la R<sub>cp</sub> se produce por la acumulación de sólidos en la interface membrana-fluido, la R<sub>g</sub> responde a la agregación y compactación de partículas de manera suprayacente a la capa de polarización.

Las resistencias anteriores no siempre actúan todas simultáneamente, y en todo caso su concurrencia afecta de forma inversa a la velocidad de paso del fluido a través de la membrana.

**b) Flujo tangencial o velocidad lineal**

La velocidad lineal es la velocidad a la cual la alimentación fluye dentro del canal de alimentación-rechazo, en el interior de la membrana.

Una alta velocidad tangencial tiende a eliminar el material depositado y consecuentemente, reduce la resistencia hidráulica a través de la membrana, lo que lleva a obtener un mayor flujo de permeado. Caudales de alimentación superiores también reducen los fenómenos de la polarización por concentración.

**c) Capacidad de retención de sales (R)**

La retención de solutos durante el proceso del ósmosis inversa determina en gran medida la calidad del permeado.

La variación de este factor es independiente de cambios en la presión, temperatura y concentración de solutos en la corriente de alimentación.

**d) Presión transmembrana (PTM)**

La presión transmembrana es la fuerza impulsora de la ósmosis inversa y se define como la diferencia de presión existente entre el canal de rechazo y el de permeado.

El aumento de la PTM se traduce en un incremento del flujo de permeado, pero a la vez, este parámetro es proporcional a la resistencia de la membrana.

**e) Temperatura**

Las membranas de acuerdo a su composición son sensibles a los cambios de temperatura. Al aumentar la temperatura se incrementa la permeabilidad de la membrana y se reduce la resistencia de ésta al flujo, aumentando finalmente la velocidad de paso del fluido a su través. Además, un aumento de la temperatura del agua de alimentación produce un descenso de su viscosidad, favoreciendo también el flujo de permeado.

**f) Concentración de solutos en la corriente de alimentación**

Cuanto mayor es la concentración de sales disueltas en la corriente de alimentación, menor será el flujo de permeado. Existe una relación positiva entre la cantidad de solutos y la formación de depósitos sobre la superficie de la

membrana, debido a la formación de la capa de gel y a la concentración de polarización, que producen el ensuciamiento de la membrana. Estos fenómenos contribuyen a aumentar la resistencia al transporte del fluido a través de la misma.

### 2.2.7 El fenómeno del ensuciamiento de membranas

Ensuciamiento o fouling se utiliza indistintamente en referencia a cualquier fenómeno que se traduzca en una reducción de la tasa del flujo de permeado. Además, el ensuciamiento es común en todos los sistemas de membranas. Sin embargo, dependiendo de la naturaleza del agente ensuciante o foulant la clasificación más común del ensuciamiento se basa en cuatro categorías principales: biológica, orgánica, inorgánica y materia/partículas coloidales (Melián, N., 2015).

- **Ensuciamiento inorgánico/incrustación o scaling:** La principal causa del ensuciamiento es por supersaturación. Cuando se excede a la solubilidad de una sal, esta precipita y forma una incrustación, produciendo cristales sólidos directamente en la superficie de la membrana. Una vez se forman zonas activas en la superficie de la membrana, se originan núcleos de precipitación que hacen que la precipitación sea incluso mayor.
- **Ensuciamiento orgánico:** Las sustancias orgánicas de alto peso molecular y cadenas lineales como los ácidos húmicos y fúlvicos, son agentes ensuciantes comunes en el tratamiento de aguas superficiales. Estos ensuciamientos orgánicos suelen cegar secciones de la membrana y el agua no puede permear. Por otro lado, los compuestos orgánicos proporcionan nutrientes que mantienen las poblaciones microbianas.
- **Ensuciamiento coloidal o por materia particulada:** La deposición de materia coloidal en la superficie de las membranas es una consecuencia de un pretratamiento deficiente. La naturaleza más común de estos coloides son los aluminosilicatos (arcilla), que son subproductos de rocas erosionadas y se encuentran presentes en las aguas de todo el mundo. También se pueden encontrar otros componentes, como la sílice coloidal.
- **Ensuciamiento biológico o biofouling:** Una biopelícula se describe como un agregado bacteriano unido a una superficie, la estructura de la biopelícula

incluye una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) producidas por bacterias. Estas EPS están compuestas por polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos que juegan un papel fundamental en la formación de la biopelícula y su comportamiento, alteración de la porosidad, densidad, contenido en agua, carga y propiedades de sorción. El bioensuciamiento es considerado como uno de los principales componentes del ensuciamiento, el más difícil de controlar y el más común en los sistemas de RO.

- **Metales:** Los elementos como hierro y manganeso pueden oxidarse desde una forma soluble a una forma insoluble y precipitar en la membrana. Aunque podrían incluirse en la categoría de ensuciamiento inorgánico, su origen está más relacionado con problemas prácticos de operación. El hierro y el aluminio pueden ser un problema cuando se utilizan coagulantes basados en estos metales para el pretratamiento del agua. Tanto el cloruro férrico y el aluminio se sobredosifican y pueden dar lugar a post-precipitaciones y ensuciar la membrana como un sólido en suspensión

### **2.2.8 Limpieza química de membranas**

La limpieza es definida como un proceso en el cual un material es liberado de sustancias que no forman parte integral de éste. La desinfección por su parte, implica la destrucción de todos los microorganismos patógenos y una marcada reducción de los saprofitos, que pueden afectar la calidad del producto final. El objetivo de la limpieza y la desinfección es obtener una estructura físicamente limpia (que ofrezca un desempeño de flujo y separación adecuados), químicamente limpia (libre de residuos que puedan contaminar el producto a procesar) y biológicamente limpia (donde se haya alcanzado una adecuada reducción de la carga microbiana) (D'Souza & Mawson, 2005)

Para alcanzar los objetivos de la limpieza, los protocolos de limpieza química deben usar a menudo productos químicos agresivos, bajo condiciones que ponen a prueba la tolerancia a pH y temperatura del material de la membrana (Zapata, 2006).

Esto hace necesario optimizar los protocolos de limpieza, tanto desde el punto de vista de la composición química de las soluciones a usar, como de las condiciones de operación durante la limpieza y los tiempos de aplicación de la

misma. Así se busca minimizar los efectos adversos de los agentes de limpieza sobre la vida de la membrana, disminuir los costos de agentes químicos, los volúmenes de consumo de agua y de aguas residuales, y las interrupciones de los procesos de manufactura (Zapata, 2006).

La limpieza es una reacción heterogénea entre la solución de limpieza y la capa de contaminantes. Para lograr una limpieza efectiva, los agentes de limpieza deben tener las siguientes características (D'Souza y Mawson, 2005):

- Una concentración del compuesto activo óptima, con buenas características de solubilidad y enjuague.
- Desprender y disolver el material de colmatación, y mantenerlo en suspensión para evitar la redeposición de material sobre las superficies ya limpias.
- Un bajo o moderado nivel de espuma.
- Buena compatibilidad con las membranas y los otros componentes del sistema.
- Promover la desinfección de las superficies húmedas.

### **2.2.9 Costos asociados a procesos de osmosis inversa**

Los costos asociados al proceso de osmosis inversa se dividen en costos de inversión y costos de operación y mantenimiento del proceso.

#### **a) Costos de inversión o capital**

Son aquellos costos o gastos que son necesarios para poder construir la planta de acondicionamiento de agua, la cual va a estar en perfecto estado para su posterior funcionamiento.

Según García, C. F. (2002), el factor clave en la determinación del coste del tratamiento del agua por ósmosis inversa es la variación inherente a los costes de capital; estos pueden afectarse fácilmente por un factor de escala.

En RO diversas razones causan estas variaciones de costes, entre ellas:

- Composición ampliamente diferente de las corrientes de alimentación.
- Tecnologías RO de capacidades muy variadas, que incluyen membranas, módulos de membranas, equipos y diseño de sistemas.
- La competitividad comercial ambiental de la industria RO, y el cambio asociado.

- Tamaño del sistema.
- Pureza del producto deseado.

Estas variaciones hacen difícil derivar ecuaciones de coste que permitan al ingeniero predecir exactamente los costes del sistema RO.

Según ESCWA (como se citó en Cánovas J., 2012) en el grupo de los costos de capital que debe ser considerado el costo de capital directo e indirecto.

El grupo de los costos directos de capital está integrado entre otros por:

- **Costos de la tierra.** Costos de la tierra pueden variar considerablemente dependiendo del propietario.
- **Equipo de proceso.** Este es uno de los factores de mayor costo, aunque cantidades naturalmente dependen del tipo de proceso y capacidad.
- **El equipo auxiliar.** Las partidas de costos por este concepto normalmente incluyen tomas abiertas o pozos, tuberías de transmisión, tanques de almacenamiento, generadores y transformadores eléctricos, bombas, tuberías y válvulas.
- **Los costos de construcción.** Los costos reales son específicos del lugar y dependerá del tipo de construcción por la que se optó. Normalmente incluye instalaciones como la sala de control, laboratorio, oficinas y talleres mecánicos, eléctricos y electrónicos.

El grupo de los costos de capital indirecto está integrado por:

- **Fletes y seguro.** Los costos de flete y los seguros pueden cubrir sólo artículos importados, sin embargo, puede ser necesario para garantizar la prestación y puesta en marcha de los elementos de producción local
- **Gastos de construcción.** Estos se estiman en alrededor del 15 por ciento de materiales directos y costos de mano de obra y después se ajustan de acuerdo al tamaño de la planta. Los gastos generales de construcción incluyen mano de obra, beneficios marginales, supervisión en campo, equipo de construcción, herramientas, artículos diversos, y los beneficios de los contratistas.
- **Gastos de usuario.** Costos de usuario comprenden esencialmente ingeniería y honorarios legales. Este costo es elaborado en torno al 10 por

ciento de directo los costes de material y mano de obra para ajustar el tamaño de la planta.

- **Contingencias.** Se estiman en alrededor de 10 por ciento de los costos directos totales.

## **b) Costos de operación y mantenimiento**

Son los costos o gastos en los cuales se va a incurrir debido al funcionamiento de la planta de acondicionamiento durante la vida útil, es decir son los que se derivan cuando la planta comienza a operar o a explotarse y que varían en función de las circunstancias que concurren en cada instalación.

Según ESCWA (como se citó en Cánovas, 2013) en este grupo se incluyen los siguientes costos entre otros por:

- **Energía.** El coste de la energía suministrada a las plantas de desalinización varía ampliamente.
- **Mano de obra.** Razonablemente, ESCWA considera este gasto como específico del sitio, también depende del carácter de la propiedad de la planta. Por lo tanto, se somete, de manera doble, a condiciones locales. Se ha observado una tendencia actual para contratar tareas de operación y mantenimiento con empresas especializadas que normalmente tienden a reducir el personal a tiempo completo.
- **Reemplazo de membrana.** Este concepto representa entre el 5 y el 20 por ciento del costo de operación y mantenimiento
- **Sustitución de filtros cartucho.** El valor de este concepto oscila alrededor del 0,1 por ciento de los costos operativos y de mantenimiento.
- **Productos Químicos.** La experiencia parece indicar que el costo de los productos químicos es en gran medida una función de la habilidad y el compromiso del operador para reducir los costos. Las estrategias para reducir los costos de los productos químicos solo se pueden desarrollar a través de los esfuerzos para lograr la optimización del proceso, con énfasis en el diseño del sitio y la planta

## **2.3 Conceptual**

### **2.3.1 Criterios de diseño y dimensionamiento del proceso**



El diseño de un proceso de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa, va a estar en función de varios factores y es crítico para obtener el máximo rendimiento de dicho proceso. Para iniciar el diseño como parte de la ingeniería básica se requiere la información o datos de partida de:

- La calidad del agua fuente (subterránea) y de la que debe entregar a la caldera donde se transformará en vapor.
- La capacidad de producción o el flujo del permeado, lo cual estará en función al uso de agua en la alimentación a la caldera, considerando el caudal de vapor necesaria, el retorno del condensado y la frecuencia de purgas.

Para determinar los equipos y dispositivos auxiliares a usar en el proceso de pre tratamiento, tratamiento con membranas y el pos tratamiento se considera las especificaciones técnicas del equipo o dispositivo evaluando los beneficios (económicos, sistema control y automatización del equipo) y aplicaciones (si con el equipo se puede obtener calidad de agua requerida a partir del agua subterránea).

A continuación, se describe los criterios de dimensionamiento de los equipos y dispositivos auxiliares que se usaran en el proceso de tratamiento de agua:

**a) Tanques de almacenamiento de agua:** es necesario dimensionar la capacidad de almacenamiento del agua de alimentación y agua de proceso para garantizar el abastecimiento o capacidad media para una autonomía de la planta o abastecimiento al proceso inmediato.

**b) Sistema hidroneumático:** El sistema se basa en el principio de compresibilidad. El agua es sometida a presión para entregar el agua según un rango de presión seleccionada para que la bomba de agua no corra sin parar, no empieza de nuevo cada vez que el sistema de distribución haga una pedida menor de agua y con el sistema se reduce al mínimo los golpes de ariete. Un sistema hidroneumático está constituido entre otros por los siguientes componentes:

- **Electrobomba:** con la determinación del caudal de bombeo requerido y carga total o altura manométrica total, se puede elegir la bomba en base

la información proporcionando en la ficha técnica (curvas características). Para la determinación de los parámetros es necesario realizar cálculos de transferencia de masa y energía. El dimensionamiento real se realiza considerando la oferta y demanda del mercado actual, ya que no siempre coincide tus requerimientos con la oferta en disponible en el mercado.

- **Tanque hidroneumático:** El dimensionamiento del tanque a presión, se efectúa tomando como parámetros de cálculo el caudal de bombeo, la potencia de la bomba y las presiones de operación.
- c) Sistema de pre filtración:** sistema diseñado para poder filtrar sólidos suspendidos en el agua, en esta tesis se usa los filtros multimedia automáticos, cuyo material filtrante contiene: arena de cuarzo (0.5 mm), arena de cuarzo (1.0 mm), antracita (1.0 mm), grava cuarzo (5.0mm) y Garnet; el filtro multimedia está diseñado para atrapar partículas que pueden ser arenilla, óxidos, orgánicos y sedimentos en general desde 10-15 micrones a más.
- d) Equipo de ablandador:** los ablandadores funcionan bajo el principio de intercambio iónico, con el objetivo de disminuir la dureza del agua. El equipo se dimensiona considerando los parámetros de operación como: presión de operación, flujo de servicio, flujo de retro lavado, consumo de sal por regeneración y temperatura de operación
- e) Equipo de osmosis inversa:** actualmente el sistema de osmosis inversa ha sido diseñado para distintos campos de aplicación, considerando el agua de distintas fuentes como: agua del mar, agua salobre (agua subterránea), agua potable, entre otros. En el mercado actual se puede conseguir equipos de osmosis inversa diseñados para obtener una determinada calidad de agua del permeado a partir de una determinada calidad de agua de alimentación, especificando el factor de conversión, es decir en las especificaciones técnicas del equipo indican:
- El flujo de producción del permeado y concentrado,
  - La cantidad, arreglo y tipo de membranas,
  - El diámetro y otras especificaciones de las conexiones de las tuberías de ingreso, permeado y concentrado,

- Las dimensiones y peso del equipo de osmosis inversa
- Especificaciones de la bomba de alta presión
- Parámetros de operación como las presiones y temperatura
- Componentes y materiales de construcción
- Especificación de control y automatización del sistema
- Características del agua fuente
- Otros

En esta tesis no se considera importante el diseño y construcción propio del equipo de osmosis inversa, ya que no justifica realizar gastos innecesarios en el diseño y construcción del equipo si se puede conseguir en el mercado con los requerimientos técnicos necesarios; sin embargo, se realizó la ingeniería básica de todo el sistema de tratamiento de agua en el cual se adoptó los equipos disponibles en el mercado nacional.

- f) Bombas dosificadoras automáticas:** dispositivo diseñada para inyectar disoluciones químicas al agua del proceso. El equipo permite el ajuste del caudal, garantiza la repetitividad y la precisión del volumen de la disolución desplazada.
- g) Equipo de desinfección con rayos ultravioleta:** dispositivo que gracias a los rayos ultravioleta UV alteran el ADN de los microorganismos (virus, bacterias, protozoos, etc.) presentes en el agua, eliminándolos o inactivándolos genéticamente, para impedir su reproducción y evitar el ensuciamiento biológico de las membranas.

### **2.3.2 Consideraciones para la evaluación económica del proceso**

Considerando que cada instalación de plantas de osmosis es única, un análisis técnico económico, permite definir los costos asociados al proceso de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa a fin de saber con cierto margen de confianza la perspectiva real que puede tener la inversión a realizar y los costos en los cuales se va a incurrir debido al funcionamiento durante la vida útil, en este estudio en particular se evaluó para varias capacidades de producción disponiendo de agua de óptima calidad para calderas y al precio más ventajoso posible.

### **a) Costos de inversión**

El tratamiento de agua en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., es un subproceso dependiente de los procesos de producción, por lo que el costo de terreno y otros costos asociados a costo de capital directo e indirecto quedan con poca importancia relativa, los costos de inversión para la presente tesis comprenden:

- **Costos de equipos y dispositivos auxiliares.** Comprende los costos en las siguientes etapas:
  1. Sistema de pretratamiento: los costos en esta etapa dependen de la calidad del agua a tratar, es decir depende de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua fuente. Se diseña a fin de prevenir los fenómenos que desencadenan el ensuciamiento de las membranas.
  2. Sistema de tratamiento por membranas: esta parte del proceso comprende el tratamiento por ósmosis inversa, depende de la calidad de permeado que se requiere y de la calidad de agua pretratada. Resulta el más costoso y el que más atención necesita, es en esta etapa donde se hace el tratamiento como tal. La manera de cómo se van a disponer y como va a ser la operación de los elementos del sistema es determinante en el momento de estudiar la viabilidad económica de todo el proceso.
  3. Sistema de pos tratamiento: Esta etapa depende del uso o aplicación del agua del permeado, comprende los gastos como de equipos dosificadores para acondicionar las propiedades fisicoquímicas del agua.
- **Costos de instrumentación y control:** comprende los costos por la automatización del sistema y depende de los equipos a instalar.
- **Costo de instalación de los equipos:** comprende los costos de instalación de los equipos y dispositivos auxiliares

### **b) Costos de operación y mantenimiento**

Como se mencionó anteriormente el tratamiento de agua en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., es un subproceso dependiente de los procesos de producción, por lo que no se consideró los costos fijos y variables con poca importancia relativa, considerando la capacidad de producción de agua por día los costos de operación y mantenimiento para la presente tesis comprenden:

- **Costos de mantenimiento:** costos para preservar o resguardar la fiabilidad y disponibilidad de la planta y sus componentes.
- **Costo de asistencia técnica:** en el Perú, principalmente en Lima y Callao la tendencia actual es contratar empresas especializadas en servicios de tratamiento de agua incluyendo monitoreo, asesorías, operación y mantenimiento si es necesario; ello permite, reducir considerablemente los gastos en personal exclusivo y permanente en planta.
- **Costo de energía:** implica los costos por consumo de energía eléctrica, principalmente de las bombas y otros componentes de la planta.
- **Costo de reposición de membranas:** depende del proceso de pre tratamiento y generalmente se realiza con una frecuencia de 20% anual en promedio.
- **Costo de materia prima directa:** depende de la fuente de agua, en el Perú con la finalidad de mantener las condiciones de equilibrio en los acuíferos Chillón – Rimac - Lurín se paga un tarifario por aguas subterráneas.
- **Costo de productos químicos:** costos asociados por el uso de los productos químicos en el pre tratamiento y post tratamiento.
- **Costo de recambio de filtros:** se realiza con una frecuencia de 2 o 3 veces anual dependiendo al flujo y calidad de agua.

#### 2.4 Definición de términos básicos

1. **Optimizar:** verbo que designa la acción de buscar la mejor forma de hacer algo. Conseguir que algo llegue a la situación óptima o dé los mejores resultados posibles. Optimizar quiere decir buscar mejores resultados, más eficacia o mayor eficiencia en el desempeño de alguna tarea. De allí que términos sinónimos sean mejorar, optimar o perfeccionar.
2. **Capacidad de producción:** máximo nivel de actividad que puede alcanzarse con una estructura productiva dada.
3. **Planta:** instalación industrial. Instalación que dispone de todos los medios necesarios para desarrollar un proceso de producción.
4. **Diseño:** Delinear una figura cualquiera. Describir las características de un objeto. Dimensionar algún objeto. Diseño de un equipo refiere a dimensionar, describir propiedades y determinación de la su capacidad.

- 5. Modelo Matemático:** Un modelo matemático es la expresión formal (en lenguaje matemático) de las relaciones entre los componentes de un modelo. La construcción de un modelo de este tipo implica la selección y cuantificación de los componentes, variables y relaciones presentes en el sistema para representarlo con el nivel de detalle requerido. Puede ser algo tan simple como sustituir las variables de una ecuación por sus valores reales o puede ser un conjunto complejo de ecuaciones interrelacionadas cuyas variables se ven modificadas a lo largo del tiempo y a través del espacio.

Un modelo es una representación ideal de un sistema y la forma en que este opera. El objetivo es analizar el comportamiento del sistema o bien predecir su comportamiento futuro. Obviamente los modelos no son tan complejos como el sistema mismo, de tal manera que se hacen las suposiciones y restricciones necesarias para representar las porciones más relevantes del mismo. Claramente no habría ventaja alguna de utilizar modelos si estos no simplificaran la situación real. En muchos casos podemos utilizar modelos matemáticos que, mediante letras, números y operaciones, representan variables, magnitudes y sus relaciones.

- 6. IBM SPSS Statistics 25:** Programa informático estadístico. Es uno de los programas estadísticos más conocidos teniendo en cuenta su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interfaz para la mayoría de los análisis. Contiene una amplia biblioteca de algoritmos de aprendizaje automático, análisis de texto, extensibilidad de código abierto, integración con big data e implementación sin inconvenientes en las aplicaciones.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis**

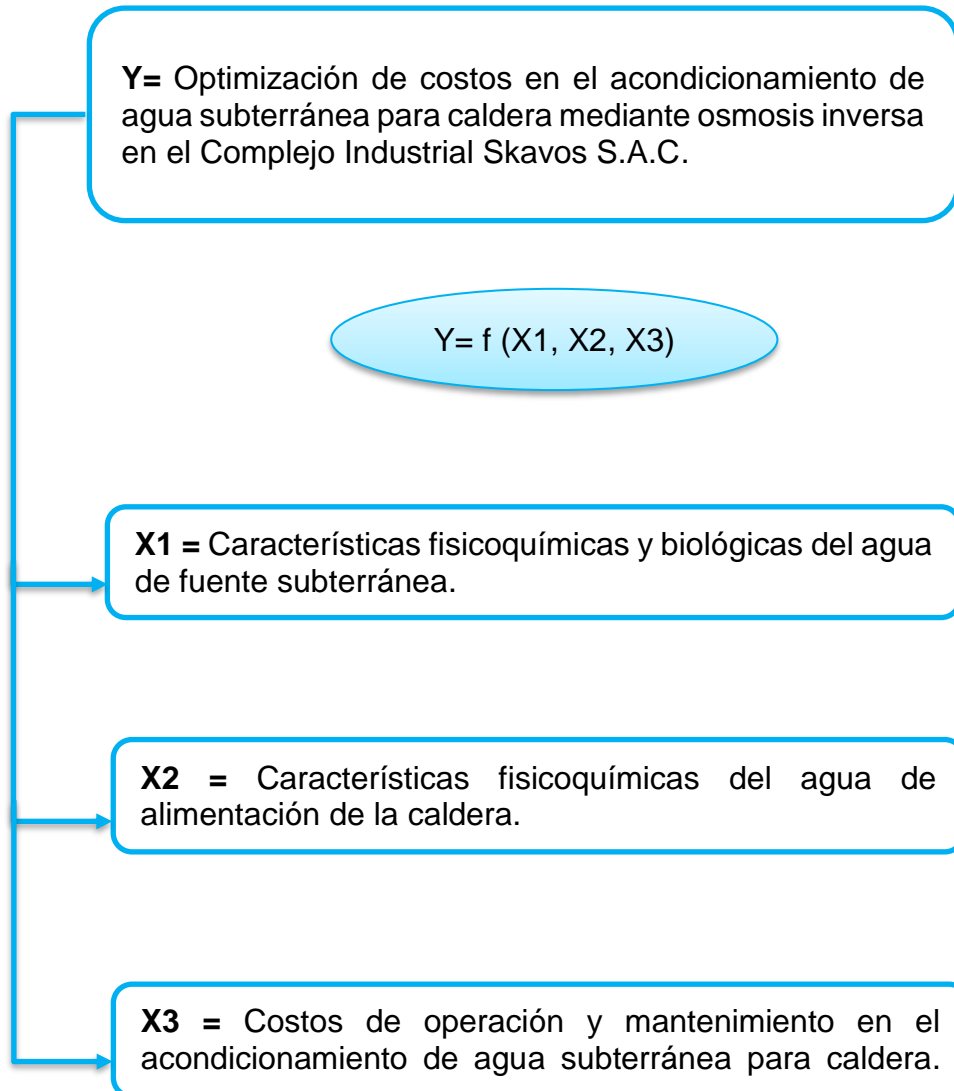
##### **3.1.1 Hipótesis General**

Si determinamos las características del agua de fuente subterránea y del agua de alimentación para caldera, podremos definir los costos de operación y mantenimiento en el proceso de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa; con ello se espera optimizar los costos en un rango de producción enmarcado desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día con factores de conversión de 70% y 80%, obteniendo una línea de producción y costo total óptimo.

##### **3.1.2 Hipótesis Específicas**

- a) Al determinar las características del agua de fuente subterránea se espera conocer la composición fisicoquímica (conductividad, STD, pH, dureza, sulfatos y turbidez) y biológica (coliformes termotolerantes).
- b) Al determinar las características del agua de alimentación de la caldera se espera conocer la composición fisicoquímica (conductividad, pH, dureza y alcalinidad).
- c) Los costos de operación y mantenimiento definidos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., serán costos de: mantenimiento, asistencia técnica, energía, reposición de membranas, productos químicos, materia prima directa y reposición de filtros cartucho.

### 3.2 Definición conceptual de variables





### 3.2.1 Operacionalización de variables

VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y= Optimización de costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.	-Capacidad de producción -Costos de producción	-Capacidad de producción óptima -Costos óptimos del m <sup>3</sup> de agua para caldera	-Análisis de costos -Modelamiento matemático con el programa IBM SPSS Statistics 25
VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X1= Características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea	- Fisicoquímicas - Biológicas	-Conductividad -STD -pH -Dureza -Sulfatos -Turbidez -Coliformes termotolerantes	- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22 nd Ed. 2012) -Cromatografía iónica (EPA Method 300.0. 1993) - Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS ISO 17294-2: 2016 Water quality)
X2= Características fisicoquímicas del agua de alimentación de la caldera.	- Fisicoquímicas	-Conductividad -pH -Dureza -Alcalinidad	- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22 nd Ed. 2012) -Revisión de publicaciones de ASME y BS -2486 ABMA-TÜV
X3= Costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa.	-Costos de operación y mantenimiento	-Mantenimiento -Asistencia técnica -Energía -Reposición de membranas -Productos químicos -Materia prima directa -Reposición de filtros	-Revisión de publicaciones -Diseño del proceso de tratamiento de agua -Dimensionamiento del proceso -Estimación paramétrica de costos -Análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1 Tipo y diseño de investigación

#### 4.1.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada se caracteriza por ser:

**Por su finalidad:** es de tipo aplicada, puesto que los resultados de la presente investigación pueden ser utilizados para optimizar los costos en procesos de acondicionamiento de agua subterránea para calderas industriales u otras aplicaciones similares mediante el proceso de osmosis inversa.

**Por su diseño interpretativo:** es de tipo experimental, porque permitirá manipular el factor causal para determinar el efecto deseado en los costos del proceso de acondicionamiento de agua subterránea para calderas con la tecnología de osmosis inversa; mediante la observación, registro y análisis de las variables intervinientes en la investigación y la manipulación de las mismas en base a un proceso metódico, ordenado de procedimientos secuenciales de la investigación.

**Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados:** es de tipo cuantitativo, porque se procesará, analizará los datos de las variables que se pueden medir, cuantificar a partir de una muestra o población en estudio.

#### 4.1.2 Diseño de investigación

En el diseño de la presente investigación se ha considerado cuatro etapas, los cuales se presenta en la figura 3.

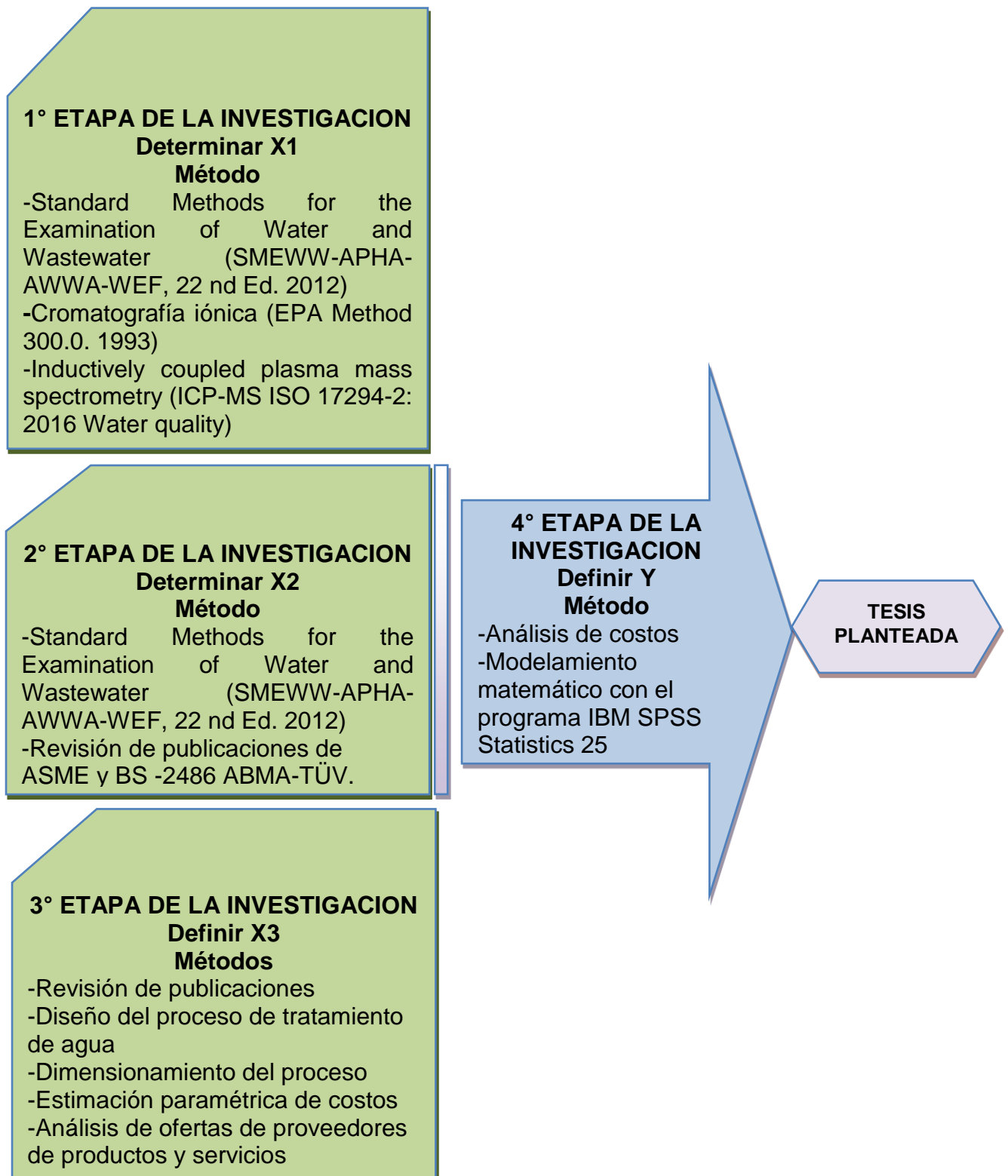


Figura 3. Diseño de la investigación  
 Fuente: elaboración propia

## 4.2 Método de investigación

### 4.2.1 Metodología para caracterizar el agua de fuente subterránea

La caracterización del agua de fuente subterránea se determinó en base a los métodos estándar de SMEWW-APHA-AWWA-WEF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation), los aniones por cromatografía iónica (EPA Method 300.0. 1993) y los metales totales se determinó por Inductively coupled plasm- mass spectrometry (ICP-MS ISO 17294-2: 2016 Water quality)

a) **Conductividad**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510 B, 22 nd Ed. 2012. Conductivity Laboratory Method.

b) **Sólidos totales disueltos**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. 2012. SolidsTotal Dissolved Solids Dried at 180°C.

c) **Alcalinidad**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012. Alkalinity. Titration Method.

d) **Carbonato**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012. Alkalinity. Titration Method.

e) **Dureza**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed. 2012. Hardness. EDTA Titrimetric Method.

f) **pH**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method

g) **Aniones por cromatografía iónica (Cloruro, Nitrato y Sulfato)**, se determinó en base a:

- EPA Method 300.0. 1993. Determination of inorganic anions by ion chromatograph.

- h) Coliformes fecales o termotolerantes (NMP)**, se determinó en base a:
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, E-2, 22nd Ed. 2012 Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant coliform test (EC medium). Thermotolerant coliform direct test (A-1 Medium)
- i) Metales totales por ICP-MS**, (boro, sodio, magnesio, aluminio, potasio, calcio, cromo, manganeso, hierro, cobre, cadmio, mercurio y plomo) se determinó en base a:
- ISO 17294-2: 2016 Water quality-Application of inductively coupled plasma - mass spectrometry (ICP-MS) - Part 2: Determination of selected elements including uranium isotope.

Adicionalmente se determinó dos parámetros para el diseño del proceso de tratamiento de agua con membranas, los cuales se describe continuación:

- **Turbidez**, en base a SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. (Incluye muestreo). 2017. Turbidity. Nephelometric Method
- **Índice de ensuciamiento de las membranas (Silt Density Index = SDI)**, se determinó con el Kit Portatil SDI Modelo SDI-2000.

#### **4.2.2 Metodología para caracterizar el agua de alimentación de la caldera**

La metodología empleada para definir las características del agua de alimentación para caldera se realizó en base a los métodos estándar de SMEWW-APHA-AWWA-WEF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation).

- a) Conductividad**, se determinó en base a:
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510 B, 22 nd Ed. 2012. Conductivity Laboratory Method.
- b) Sólidos totales disueltos**, se determinó en base a:
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. 2012. SolidsTotal Dissolved Solids Dried at 180°C.
  - **Temperatura**, se determinó en base a:
  - SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017. Temperature. Laboratory and Field Methods

**c) Alcalinidad**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012. Alkalinity. Titration Method.

**d) pH**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method

**e) Dureza**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 22nd Ed. 2012. Hardness. EDTA Titrimetric Method.

**f) Cloruros**, se determinó en base a:

- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Cl B, 23rd Ed. 2017 Chloride. Argentometric Method

#### **4.2.3 Metodología para definir los costos de operación y mantenimiento**

Para definir y estimar los costos de operación y mantenimiento de un proceso de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa, no existe un método estándar, ya que, depende del diseño del proceso y la instalación de la misma, entre las diversas razones que causan estas variaciones de costos podemos indicar la composición de la corriente de alimentación, pureza del producto deseado, capacidad de producción, tecnologías disponibles en el mercado, etc.

En la presente tesis se consideró la revisión de publicaciones y se diseñó un esquema general de planta de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., en base a este último se realizaron cálculos de dimensionamiento para diferentes capacidades de producción. Para estimar los costos se utilizó técnicas de estimación paramétrica (en base a la capacidad de producción y datos de proyectos anteriores) y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios.

### **4.3 Población y muestra**

La población está representada por el volumen de agua, de fuente subterránea en la instalación del Complejo Industrial Skavos S.A.C.

La muestra fue tomada a partir de un tanque de almacenamiento de agua proveniente de un pozo tubular, la cual es impulsada a la planta de tratamiento de agua para el uso en los diversos procesos de la empresa en mención.

Para efectos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de agua de fuente subterránea se tomó 9 litros de muestra.

### **4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado**

En cuanto al lugar de estudio las etapas de la presente investigación se desarrollaron en la instalación de la empresa Complejo Industrial Skavos S.A.C, específicamente en el establecimiento o planta industrial pesquero ubicado en la parcela rustica 1C, Mz. AS-AQ, Zona Ex Fundo Oquendo (actualmente Av. Oquendo 9329, altura Km, 13 de la Av. Néstor Gambeta), del distrito y Provincia Constitucional del Callao. Cabe indicar que los ensayos fisicoquímicos se realizaron en las instalaciones de la empresa mencionada (análisis In situ incluyendo muestreo) y en las instalaciones de las empresas Certificaciones del Perú S.A. (CERPER S.A.) y ABAQUA SAC.

En cuanto al periodo las etapas de la presente investigación se desarrollaron desde enero del 2018 hasta febrero del 2019.

### **4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

#### **4.5.1 Instrumentos de recolección de datos**

##### **Equipos**

- Equipo espectrofotómetro (HACH DR1900).
- Potenciómetro, rango de pH 1–14 (pHmetro HQ 440d multi HACH)
- Medidor portátil TDS/Temperatura/Conductividad (Conductímetro HACH Sension +EC5)
- Balanza precisión 0,1g
- Pipeta type Cole-Palmer EX Plus CE 1000

### **Kits de análisis químico**

- Test kit para dureza (total y calcio), modelo HA-71A- HACH, lo cual incluye:
  - ✓ 1 Bottle, square mixing 6/pkg
  - ✓ 1 Flask, Erlenmeyer, 125-mL
  - ✓ 1 Hardness 1 Buffer Solution 100 mL
  - ✓ 1 Hardness 2, ManVer® 2 hardness indicator 100 mL
  - ✓ 1 Hardness 3 Titrant Reagent 100 mL
  - ✓ 1 Measuring Tube, plastic, 5.83 mL
- Kit de prueba de alcalinidad, modelo AL-AP
  - ✓ Bromcresol Green-Methyl Red Indicator Powder Pillows 100/pkg
  - ✓ Phenolphthalein Indicator Powder Pillows 100/pkg
  - ✓ Sulfuric acid standard solution, 0.030 N 100 mL MDB
  - ✓ Bottle, square, 29 mL, with 10, 15, 20 and 23-mL marks 6/pkg
- Kit de análisis de cloruros (Method 8113 HACH)
  - ✓ Mercuric Thiocyanate Solution 100 mL
  - ✓ Ferric Ion Solution 50 mL

### **Materiales**

- Vasos de bohemia de 600mL
- Envases de plástico de 1L
- Pipeta 0.1–1.0 mL

#### **4.5.2 Procedimiento para caracterizar el agua de fuente subterránea**

Para la caracterización fisicoquímica y biológica, se tomó una muestra de 4.5 litros de agua de fuente subterránea en coordinación con el personal de la Empresa Certificaciones del Perú S.A. (CERPER S.A) de la instalación del Complejo Industrial Skavos S.A.C., los ensayos se realizaron en la instalación de la empresa (análisis In situ incluyendo muestreo) y en las instalaciones de las empresas Certificaciones del Perú S.A. (CERPER S.A.)

También se tomó 4.5 litros de agua de fuente subterránea para realizar ensayos y determinar los parámetros de diseño de proceso de osmosis inversa como SDI y turbidez con el personal de la empresa ABAQUA SAC.



#### **4.5.3 Procedimiento para caracterizar el agua de alimentación de la caldera**

Las características del agua de alimentación para caldera se determinaron en base a los métodos estándar de SMEWW-APHA-AWWA-WEF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation), los ensayos fisicoquímicos se realizaron de manera experimental cuando se puso en servicio la planta de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., para una capacidad de 49,9620 m<sup>3</sup>/día, realizando los análisis por triplicado del agua del permeado y del agua de alimentación de la caldera, este último es después de dosificar el Inhibidor de corrosión y el Inhibidor de incrustación al agua del permeado mezclado con el agua del retorno de condensado, los procedimientos se describen a continuación:

**a) Procedimiento para la determinación de conductividad:** se realizó in situ por triplicado de la siguiente manera:

- La colección, preservación y almacenaje de 300ml muestra se realizó usando vasos de bohemia o precipitado de 600mL.
- Se verifico el funcionamiento correcto del equipo con el estándar de calibración del electrodo medidor portátil TDS / Temperatura / Conductividad (Conductímetro HACH Sension +EC5).
- Luego se procedió a medir y registrar la conductividad de la muestra.

**b) Procedimiento para la determinación del pH:** se realizó in situ por triplicado de la siguiente manera:

- La colección, preservación y almacenaje de 300ml muestra se realizó usando vasos de bohemia o precipitado de 600mL.
- Se verifico el funcionamiento correcto del equipo con el estándar de calibración del electrodo medidor portátil potenciómetro (pHmetro HQ 440d multi HACH).
- Luego se procedió a medir y registrar la acidez(pH) de la muestra.

**c) Procedimiento para la determinación de dureza:** se realizó in situ por triplicado de la siguiente manera:

- Se usó el test de kit para dureza, modelo HA-71 - HACH, procediendo a la colección, preservación y almacenaje de 5.83ml muestra utilizando un tubo de medición de plástico calibrado, la muestra se traspasó a un frasco Erlenmeyer para la titulación, agregando 0.05 ml del Buffer y 0.1 ml del indicador. La titulación se realizó con solución de EDTA, cuyo volumen gastado fue proporcional a la dureza total en ppm.
- d) Procedimiento para la determinación de alcalinidad:** se realizó in situ por triplicado de la siguiente manera:
- Se usó el test del kit de prueba de alcalinidad, modelo AL-AP HACH, procedimiento a la colección, preservación y almacenaje de 5.83ml muestra utilizando un tubo de medición de plástico calibrado, la muestra se traspasó a un frasco de 20ml para la titulación, agregando una almohadilla del indicador fenolftaleína, si la solución con el indicador resultaba incoloro la alcalinidad (P) equivalía a cero; si el resultado con el indicador no fuera incoloro se procedía a titular con la solución acida hasta el viraje de color rosa a incoloro y se registró el volumen gastado. Luego se procedió a añadir una almohadilla de rojo de metilo, procediendo a la titulación con la solución acida hasta el viraje de color verde a rosa registrando el volumen gastado. Con los volúmenes gastados se determinó la alcalinidad P y M.
- e) Procedimiento para la determinación de cloruros:** se realizó in situ por triplicado de la siguiente manera:
- Se usó el test del kit de prueba de cloruros, Method 8113 HACH, procediendo a la colección, preservación y almacenaje de 10ml de muestra y 10 ml de blanco (agua desmineralizada) en celdas del equipo espectrofotómetro HACH DR1900, usando una pipeta (pipeta type Cole-Palmer EX Plus CE 1000) se agregó 0,8 ml de solución de tiocianato mercurio y 0,4 ml de solución de ión férrico a cada uno de la celdas luego de mezclar se inserto el blanco en el equipo espectrofotómetro HACH DR1900 poniendo en cero y luego se insertó la celda de la muestra registrando el valor de cloruros en ppm.

Para validar si la calidad o las características fisicoquímicas del agua de alimentación para caldera son adecuadas, se consideró las publicaciones con las recomendaciones de ASME (American Society of Mechanical Engineers) y

recomendaciones de la Norma Británica BS–2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV; cuyos datos se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 1

*Directrices de ASME de la calidad del agua de alimentación en función de la presión*

Presión (psi)	Límites de agua de alimentación							
	0-300	301-450	541-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500	1501-2000
Oxígeno Disuelto (mg/L)	<0,04	<0,04	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
hierro total ((mg/L)Fe)	≤0.1	≤0.05	≤0.03	≤0,025	≤0.02	≤0.02	≤0.01	≤0.01
Cobre Total ((mg/L)Cu)	≤0.05	≤.025	≤0.02	≤0.02	≤0,015	≤0,015	≤0.01	≤0.01
Dureza total ((mg/L)CaCO <sub>3</sub> )	≤0.3	≤0.3	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.05	Ninguno detectado	
Rango de pH a 25°C	7,5-10	7,5-10	7,5-10	7,5-10	7,5-10	8,5-9,5	9,0-9,6	9,0-9,6
COT No volátil ((mg/L)C)	<1	<1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2
Grasa (mg/L)l)	<1	<1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2

Fuente: ASME UFC3-240-13FN (2005)

Tabla 2

*Directrices de ASME de la calidad del agua de caldera en función de la presión*

Presión (psi)	Límites de agua de caldera							
	0-300	301-450	541-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500	1501-2000
Sílice (mg/L)SiO <sub>2</sub> )	≤150	≤90	≤40	≤30	≤20	≤8	≤2	≤1
Alcalinidad total (mg/L)CaCO <sub>3</sub> )	<350	<300	<250	<200	<150	<100	No especificado	
Hidróxido libre (mg/L)CaCO <sub>3</sub> )					No especificado		Ninguno detectable	
Conductividad sin neutralizar (µmho/cm a 25°C)	<3500	<3000	<2,500	<2,000	<1,500	<1,000	≤150	≤100

Fuente: ASME UFC3-240-13FN (2005)

Tabla 3

*Química del agua recomendada para alimentación de calderas, adoptado de ASME (Research Committee on Water Thermal power Systems)*

P (psig)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)	Dureza Total (mg/L) <sup>1</sup>	SiO <sub>2</sub> (m/gL)	Alcalinidad Total <sup>++</sup> (mg/L) <sup>1</sup>	Conductividad Específica (µmhos/cm)
0-300	0,100	0,050	0,300	150	700 <sup>+</sup>	7000
301-450	0,050	0,025	0,300	90	600 <sup>+</sup>	6000
451-600	0,030	0,020	0,200	40	500 <sup>+</sup>	5000
601-750	0,025	0,020	0,200	30	400 <sup>+</sup>	4000
751-900	0,020	0,015	0,100	20	300 <sup>+</sup>	3000
901-1000	0,020	0,015	0,050	8	200 <sup>+</sup>	2000
1001-1500	0,010	0,010	0,0	2	0 <sup>+++</sup>	150
1501-2000	0,010	0,010	0,0	1 <sup>+</sup>	0 <sup>+++</sup>	100

Nota:

+ Alcalinidad no más de 10% de conductancia específica.

++ Mínimo nivel de alcalinidad OH en calderas a menos de 1000 psi se deberá especificar la solubilidad de la sílice y otros compuestos en el tratamiento interno.

+++Cero es en los casos de sodio libre o alcalinidad del hidróxido de potasio.

1 (como CaCO<sub>3</sub>).

Fuente: García, C. F., (2002)

Tabla 4

*Requerimientos de agua de alimentación para calderas de vapor según BS 2486, ABMA y el TÜV hasta 10 BAR*

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2ppm
Contenido de oxígeno	< 8pbm
Dióxido de carbono	< 25 ppm
Contenido total de hierro	< 0.05ppm
Contenido total de cobre	<0.01ppm
Alcalinidad total	< 25ppm
Contenido de aceite	< 1ppm
pH a 25°C	8.5-9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles

Fuente: Oelker, A., (2011)

Tabla 5

*Requerimientos de agua de caldera según BS 2486, ABMA y el TÜV hasta 10 BAR*

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
pH a 25°C	10.5-11.8
Alcalinidad total CaCO <sub>3</sub>	< 700ppm
Alcalinidad caustica	>350 ppm
<b>Secuestrantes de oxígeno</b>	
• Sulfito de sodio	30 – 70 ppm
• Hidrazina	0.1 – 10 ppm
• Taninos	120 – 180 ppm
• Dietilhidroxilamina	0.1 – 1 ppm(en agua de alimentación)
Fosfato Na <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	30 – 60 ppm
Hierro	< 3 ppm
Sílice	150 ppm
Sólido disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	<7000 µS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles

Fuente: Oelker, A., (2011)

#### **4.5.4 Procedimiento para definir los costos de operación y mantenimiento**

##### **a) Diseño del esquema general de planta de acondicionamiento**

Para estimar los costos asociados al proceso se diseñó un esquema general de planta de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa; considerando las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua fuente y la calidad del agua requerida para el caldero. El esquema de planta general que se diseñó, es para varias capacidades de producción, es decir, para un rango de producción enmarcado desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día de agua para caldero, lo cual depende directamente de la cantidad de membranas usadas, el sistema está diseñado para trabajar con factores de conversión entre 70% y 80% en las membranas, con lo cual se intentó producir el agua con las características deseadas para la alimentación del caldero.

El esquema (figura 4), muestra un proceso que consta de un tanque de almacenamiento de agua de pozo que a través de un sistema hidroneumático (consta de electrobomba (BB-04), tanque hidroneumático (THK-01) y dispositivos de control) alimenta al equipo filtro multimedia (FMAT-F-01) y el agua filtrada es almacenada en un tanque de almacenamiento de agua filtrada

(TK-01) del cual se alimenta a través de un sistema hidroneumático al equipo ablandador (AA-01) y el agua blanda es almacenada en un tanque de almacenamiento de agua blanda (TK-02).

El agua blanda se alimenta a través de un sistema hidroneumático al equipo de osmosis inversa pasando previamente por el filtro cartucho (F-02) y el equipo de radiación UV (UV-01). Al agua desinfectada se dosifica anti incrustante y esto es bombeada por la bomba de alta presión (BB-01) hacia las membranas de RO. El agua del permeado es almacenada en un tanque de almacenamiento de agua permeada (TK-03) de donde se repone a la caldera pasando antes por un sistema de desgasificación. Antes de inyectar agua a la caldera se dosifica el inhibidor de incrustación y corrosión. El agua de permeado también se usa para realizar limpiezas químicas con la bomba BB-05 cuando sea necesario.

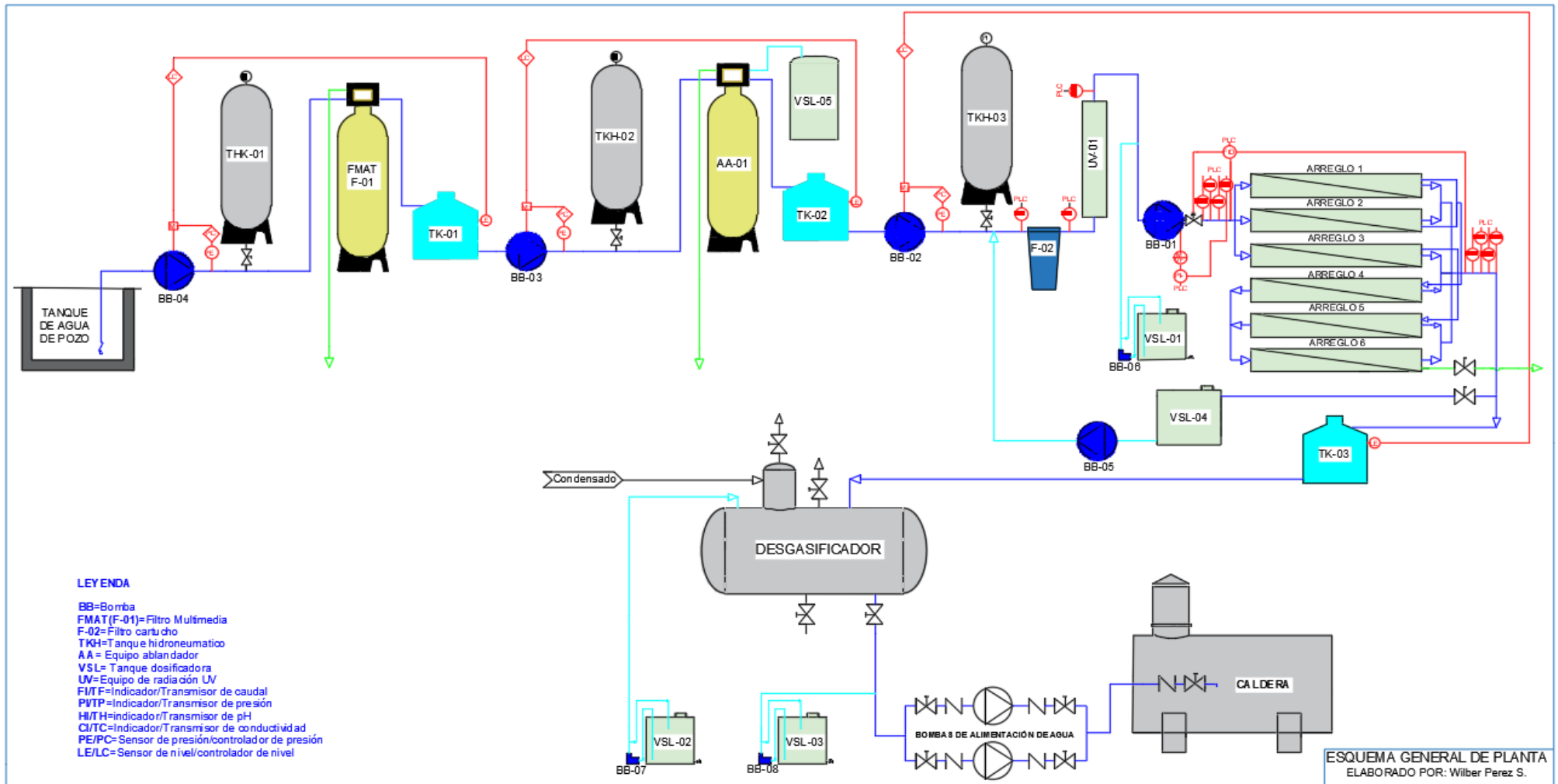


Figura 4. Esquema general de planta  
Fuente: elaboración propia

## b) Definición de los costos del proceso

- **Definición de costos de inversión del proceso:** los costos de inversión asociados al proceso se definieron en base al esquema general de planta propuesta. Los costos definidos para el proceso se describen a continuación:
  1. **Costos de equipos y dispositivos auxiliares.** Comprende lo siguiente:
    - **Costos de pre tratamiento.** comprende los costos de: bomba del filtro MM, tanque hidroneumático del filtro MM, equipo filtro MM, bomba del ablandador, tanque hidroneumático del ablandador, equipo ablandador y tanque de almacenamiento de agua blanda
    - **Costos de tratamiento por membranas.** Comprende los costos de: bomba de alimentación de OR, tanque hidroneumático de alimentación, tanque dosificador de anti incrustante de OR, bomba dosificadora de anti incrustante de OR, equipo de desinfección con ultravioleta, equipo de osmosis inversa y tanque de almacenamiento del permeado
    - **Costos de pos tratamiento.** Comprende los costos de: tanque dosificador de inhibidor de corrosión, bomba dosificadora de inhibidor de corrosión, tanque dosificador de inhibidor de incrustación y bomba dosificadora de inhibidor de incrustación
  2. **Costo de instrumentación y control:** se consideró el 6% del costo de los equipos
  3. **Costo de instalación de los equipos:** se consideró el 10% del costo de equipos y dispositivos auxiliares
- **Definición de costos de operación y mantenimiento del proceso:** los costos asociados al proceso se describen a continuación:
  1. **Costos de mantenimiento.** Se consideró el 10% del costo de equipos anual
  2. **Costo de asistencia técnica.** Se consideró el costo por asesoría y monitoreo del sistema de tratamiento de agua, por un personal de una empresa de servicios con una frecuencia de dos veces al mes.
  3. **Costo de energía.** Comprende los costos por consumo de energía de: bomba del filtro MM, equipo filtro MM, bomba del ablandador, equipo ablandador, bomba de alimentación, equipo de desinfección con



ultravioleta, bombas dosificadoras, bomba de alta presión y equipos de monitorización-automatización del OR

4. **Costo de reposición de membranas.** Se consideró una frecuencia de reposición 20% anual.
5. **Costo de materia prima directa.** Comprende el costo de agua de fuente subterránea.
6. **Costo de productos químicos.** Comprende los costos por consumo de productos químicos siguientes: anti incrustante de RO, inhibidor de corrosión, inhibidor de incrustación, sal industrial, químico ácido (limpieza química) y químico alcalino (limpieza química).
7. **Costo de recambio de filtros:** el costo de filtros cartuchos de 5u depende al flujo y calidad de agua tratada

### c) Definición de combinaciones de investigación o datos de partida

En la presente tesis se definieron 12 combinaciones de investigación centrado en un rango de producción desde los 8.33 m<sup>3</sup>/día hasta los 49.96 m<sup>3</sup>/día con factores de conversión de 70% y 80% (tabla 6), para los cuales se realizaron cálculos de dimensionamiento del proceso en base al balance de materia y energía.

Tabla 6

#### *Combinaciones de investigación*

COMBINACIONES DE INVESTIGACIÓN		SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA		
CAPACIDAD Q (m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m <sup>3</sup> /h)	RECHAZO Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /h)	PERMEADO Qp (m <sup>3</sup> /h)
8,3270	70%	0.50	0.15	0.35
8,3270	80%	0.43	0.09	0.35
16,6540	70%	0.99	0.30	0.69
16,6540	80%	0.87	0.17	0.69
24,9810	70%	1.49	0.45	1.04
24,9810	80%	1.30	0.26	1.04
33,3080	70%	1.98	0.59	1.39
33,3080	80%	1.73	0.35	1.39
42,0135	70%	2.50	0.75	1.75
42,0135	80%	2.19	0.44	1.75
49,9620	70%	2.97	0.89	2.08
49,9620	80%	2.60	0.52	2.08

Fuente: elaboración propia

#### **d) Estimación de costos del proceso**

Para la estimación de costos de inversión primero se identificaron las consideraciones básicas (expresiones matemáticas, informaciones de datos técnicos de los equipos y dispositivos, recomendaciones, etc); luego se realizó los cálculos de dimensionamiento de equipos y dispositivos auxiliares para cada combinación de investigación definida considerando el balance de materia y energía, y una vez dimensionadas, para estimar los costos de inversión se usó técnicas de estimación paramétrica (en base a la capacidad de producción y datos de proyectos anteriores) y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios. Los detalles se muestran en el anexo 2 (memoria de cálculo).

La estimación de los costos de operación y mantenimiento se efectuó después de estimar los costos de inversión del proceso para cada combinación de investigación en base a la estimación paramétrica (en base a la capacidad de producción y datos de proyectos anteriores) y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios. Los detalles se muestran en el anexo 2 (memoria de cálculo).

#### **4.5.5 Procedimiento para la optimización de costos**

La optimización de costos, se efectuó procesando los costos definidos para las combinaciones de investigación (tabla 6), con las aplicaciones de Excel y IBM SPSS Statistics 25 se realizó el análisis estadístico de los costos y modelamiento matemático. Para determinar la capacidad de producción óptima y los costos óptimos del m<sup>3</sup> de agua para caldera se consideró el modelamiento matemático y la estabilidad de costos en el rango de producción definida.

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

##### **4.6.1 Procesamiento estadístico**

Debido a que la investigación contiene variables cuantitativas, para el procesamiento de los de datos obtenidos a través de una matriz de datos, en tablas y figuras se usó el software Excel y IBM SPSS Statistics 25.

##### **4.6.2 Análisis de datos**

Para encontrar resultados y cumplir con los objetivos de esta investigación se planteó el uso de la estadística descriptiva e inferencial.

De acuerdo al tipo de variables se tomará en cuenta el tipo de análisis a seguir conociendo las características de cada variable, como se presenta en la tabla 7

Tabla 7

*Tipo de variables de la investigación*

N° VARIABLES	VARIABLES	NOTACIÓN	TIPO DE VARIABLE
1	Características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea.	X1	Cuantitativo
2	Características fisicoquímicas del agua de alimentación de la caldera.	X2	Cuantitativo
3	Costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa.	X3	Cuantitativo

Fuente: elaboración propia

- Para la caracterización fisicoquímica y biológica del agua de fuente subterránea y demostrar la hipótesis se utilizó los datos de los ensayos realizados en un laboratorio acreditado de acuerdo a la norma ISO 17025.
- Para la caracterización fisicoquímica del agua de alimentación para caldera y demostrar la hipótesis se utilizó el promedio de los datos de cada prueba.
- Para estimar los costos de operación y mantenimiento se utilizó técnicas de estimación paramétrica (en base a la capacidad de producción y datos de proyectos anteriores) y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios.

Para el análisis de datos y cumplir con el objetivo general de esta investigación se realizará el análisis estadístico de datos de la siguiente manera:

- Representación gráfica de los costos:** diagrama circular de porcentajes de costos, diagrama de barras, diagrama de dispersión, diagrama de cajas y bigotes y gráficos de control (Estudio de valores anómalos)
- Interpretación de datos definitivos:** se realizó pruebas de normalidad con prueba de Shapiro-Wilk y prueba de Kolmogorov-Smirnov

**c) Análisis de los modelos matemáticos:** se efectuó análisis de modelos matemáticos que describen los costos del proceso, como el análisis univariante y el análisis de mínimos cuadrados ponderados.

Como estrategias de análisis se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana), dispersión (desviación estándar, percentil, mínimo y máximo) y se calcularon en un intervalo de confianza para las variables de interés; la descripción de cada una de las variables cuantitativas permitió conocer su aproximación a la distribución normal.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Características fisicoquímicas y biológicas de agua subterránea

A continuación, se muestra los resultados del análisis de agua de pozo de la instalación de la empresa Complejo Industrial Skavos S.A.C., lo cual es objeto de estudio de la presente investigación.

Tabla 8

*Análisis físico químico*

<b>ENSAYOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Conductividad( $\mu$ S/cm)	<b>2610</b>
Bicarbonatos(mgCaCO <sub>3</sub> /L) (LD:0,80 mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<b>297,6</b>
Solidos disueltos totales(mg/L) (LD:2,50 mg/L)	<b>1756</b>
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L) (LD:1 mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<b>1470</b>
Alcalinidad total(mgCaCO <sub>3</sub> /L) (LD:0,80 mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<b>297,6</b>
(2)pH	<b>6.89</b>
Cloruro (mg/L) (LD:0,80 mg/L)	<b>142,19</b>
Aniones por cromatografía iónica	Sulfato (mg/L) (LD:0,80 mg/L)
	<b>1099,32</b>
	Nitrato (mg/L) (LD:0,80 mg/L)
	<b>25,795</b>

Nota:

LD: Límite de detección

(2) In situ (incluye muestreo)

Fuente: CERPER (laboratorio ambiental)

Tabla 9

*Metales totales por ICP-MS*

<b>ENSAYOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Boro (mg/L) (LD:0,01 mg/L)	0,5973
Sodio (mg/L) (LD:0,01 mg/L)	75,81
Magnesio (mg/L) (LD:0,01 mg/L)	59,83
Aluminio (mg/L) (LD:0,0025 mg/L)	<0.0025
Potasio (mg/L) (LD:0,01 mg/L)	6,285
Calcio (mg/L) (LD:0,1 mg/L)	459,9
Cromo (mg/L) (LD:0,005 mg/L)	<0,0005
Manganeso (mg/L) (LD:0,00025 mg/L)	0,1152
Hierro (mg/L) (LD:0,01 mg/L)	<0.0100
Cobre(mg/L) (LD:0,0003 mg/L)	<0,00030
Cadmio(mg/L) (LD:0,00005 mg/L)	<0,00005
Mercurio (mg/L) (LD:0,00005 mg/L)	<0.00005
plomo (mg/L) (LD:0,0002 mg/L)	<0.00020

Nota:

LD: Límite de detección

Fuente: CERPER (laboratorio ambiental)

Tabla 10

*Análisis microbiológico*

<b>ENSAYOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
Coliformes Termotolerantes (NMP / 100 mL)	2
Total Carbón Orgánico(TOC) como ppm C	2
DBO como ppm O <sub>2</sub>	4
DQO como ppm de O <sub>2</sub>	6

Fuente: CERPER (laboratorio ambiental)

Tabla 11

*Parámetros de diseño de proceso de osmosis inversa*

ENSAYOS	RESULTADOS
Índice de Ensuciamiento (SDI)-15 min	3
Turbiedad (NTU)	0.1
Temperatura del agua (°C)	19.8
PH	6.91

Fuente: ABAQUA SAC.

## 5.2 Características fisicoquímicas de agua de alimentación de la caldera

En las tablas 12 y 13 se presentan calidad del agua del permeado y la calidad del agua de alimentación del caldero respectivamente.

Tabla 12

*Calidad del agua del permeado*

ENSAYOS	RESULTADOS			
	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	16.25	17.10	16.70	16.683
PH	5.71	5.76	5.68	5.716
Dureza total ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	0	0	0	0
Alcalinidad P( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	3.1	3.21	2.97	3.093
Cloruro ( $\text{mg Cl}^-/\text{L}$ )	5.10	5.25	4.89	5.08

Fuente: elaboración propia

Tabla 13

*Calidad del agua de alimentación del caldero*

ENSAYOS	RESULTADOS			
	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	85.19	85.60	85.82	85.536
PH	8.43	8.48	8.51	8.473
Dureza total ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	0	0	0	0
Alcalinidad total( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	18.0	18.7	18.82	18.523

Fuente: elaboración propia

## 5.3 Costos del proceso

### 5.3.1 Costos de inversión del proceso

En la tabla 14, se muestra los resultados de los costos inversión definidos asociados al proceso.

Tabla 14  
Costos de inversión

CAPACIDAD Q (m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	COSTOS DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS AUXILIARES (S/)	COSTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL (S/)	COSTO DE INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS (S/)	COSTO TOTAL DE INVERSIÓN (S/)
8,3270	70%	33270.93	1240.83	3327.09	37838.85
8,3270	80%	33189.93	1240.83	3318.99	37749.75
16,6540	70%	53906.41	2172.06	5390.64	61469.11
16,6540	80%	53676.41	2172.06	5367.64	61216.11
24,9810	70%	75136.90	3141.09	7513.69	85791.68
24,9810	80%	75121.90	3141.09	7512.19	85775.18
33,3080	70%	95802.39	4095.12	9580.24	109477.74
33,3080	80%	95667.39	4095.12	9566.74	109329.24
42,0135	70%	117756.35	5156.27	11775.64	134688.26
42,0135	80%	117606.35	5156.27	11760.64	134523.26
49,9620	70%	136558.36	6045.18	13655.84	156259.37
49,9620	80%	136563.36	6046.38	13656.34	156266.07

Nota. Los datos son resultado de los cálculos que se adjunta en el anexo 2 (memoria de cálculos)

Fuente: elaboración propia

### 5.3.2 Costos de operación y mantenimiento del proceso

En la tabla 15, se muestra los resultados de los costos de operación y mantenimiento definidos asociados al proceso.

Tabla 15  
Costos de operación y mantenimiento (costo de producción)

CAPACIDAD Q (m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	COSTO DE MANTENIMIENTO (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE ASISTENCIA TÉCNICA (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE ENERGÍA (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE MEMBRANAS (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE MATERIA PRIMA DIRECTA (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS (S//m <sup>3</sup> )	COSTO DE RECAMBIO DE FILTROS (S//m <sup>3</sup> )	COSTO TOTAL DEL PRODUCTO (S//m <sup>3</sup> )
8,3270	70%	1.0947	1.2832	5.6236	0.1075	4.1076	2.3743	0.0610	14.6518
8,3270	80%	1.0920	1.2832	5.6236	0.1075	3.5941	2.3345	0.0618	14.0967
16,6540	70%	0.8868	0.6416	2.9972	0.1065	4.1076	2.3512	0.0306	11.1214
16,6540	80%	0.8830	0.6416	2.9972	0.1065	3.5941	2.3118	0.0306	10.5648
24,9810	70%	0.8240	0.4277	2.7767	0.1054	4.1076	2.3282	0.0202	10.5898
24,9810	80%	0.8239	0.4277	2.7767	0.1054	3.5941	2.2891	0.0202	10.0372
33,3080	70%	0.7880	0.3208	2.3606	0.1033	4.1076	2.2821	0.0223	9.9847
33,3080	80%	0.7869	0.3208	2.3606	0.1033	3.5941	2.2438	0.0223	9.4318
42,0135	70%	0.7679	0.2543	2.5328	0.1014	4.1011	2.2591	0.0175	10.0340
42,0135	80%	0.7669	0.2543	2.5328	0.1014	3.5884	2.2212	0.0175	9.4825
49,9620	70%	0.7488	0.2139	2.2534	0.1012	4.1076	2.2360	0.0146	9.6755
49,9620	80%	0.7489	0.2139	2.2534	0.1012	3.5941	2.1985	0.0146	9.1245

Nota. Los datos son resultado de los cálculos que se adjunta en el anexo 2 (memoria de cálculos)

Fuente: elaboración propia

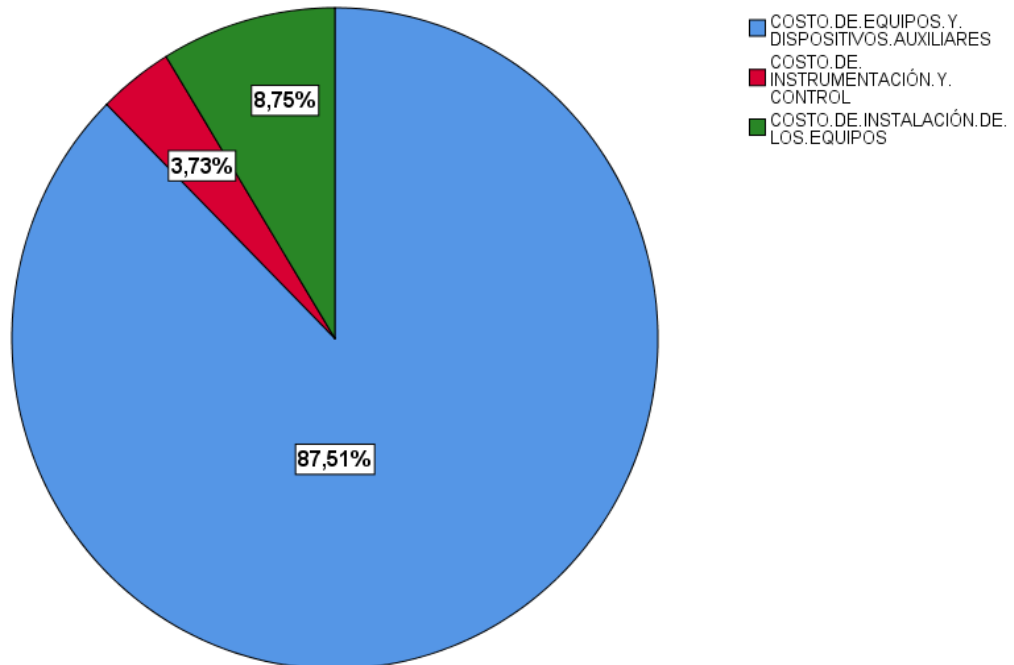


## 5.4 Análisis de los costos y modelamiento matemático

### 5.4.1 Representación gráfica de datos

A continuación, se graficarán los datos de las tablas 14 y 15.

#### a). Diagrama circular de porcentajes de costos



**Figura 5.** Diagrama circular de porcentajes de costos de inversión

Fuente: elaboración propia

En la figura 5, se muestra la importancia relativa de los diferentes costos de inversión respecto al costo total de inversión, observándose que los costos de equipos y dispositivos auxiliares representan un 87,51%, seguida del costo instalación y montaje de equipos que representa un 8,75% y el costo de instrumentación y control de menor importancia relativa con solo 7,73% respecto al costo total de inversión.

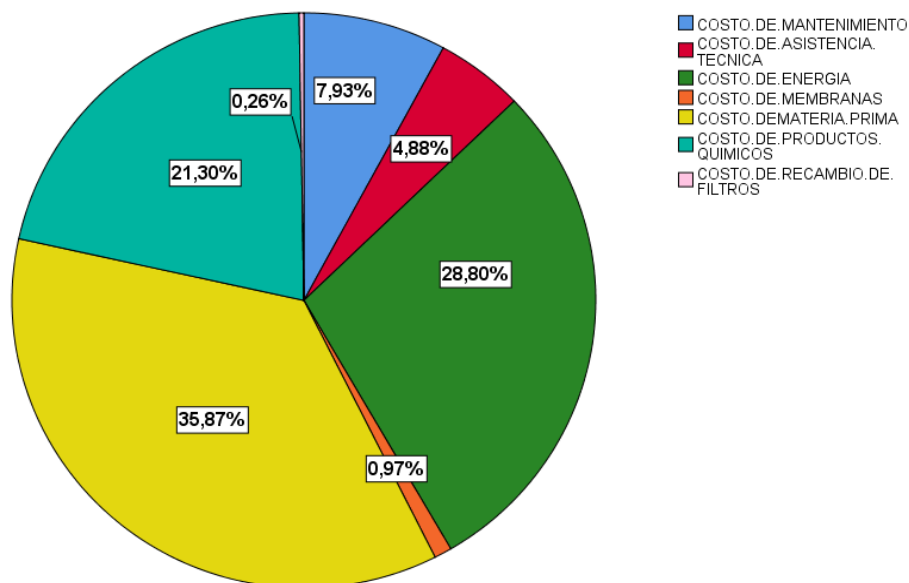


Figura 6. Diagrama circular de porcentajes de costos de operación y mantenimiento

Fuente: elaboración propia

En la figura 6, se muestra la importancia relativa de los diferentes costos de operación y mantenimiento respecto al costo total del producto, observándose que el costo de materia prima representa un 35,87% del costo total, seguida del costo de energía que representa un 28,80% y así sucesivamente siendo el costo de recambio de filtros cartuchos de menor importancia relativa con solo 0,26% respecto al costo total.

**b). Diagrama de barras y dispersión de los costos**

• **Costo de mantenimiento**

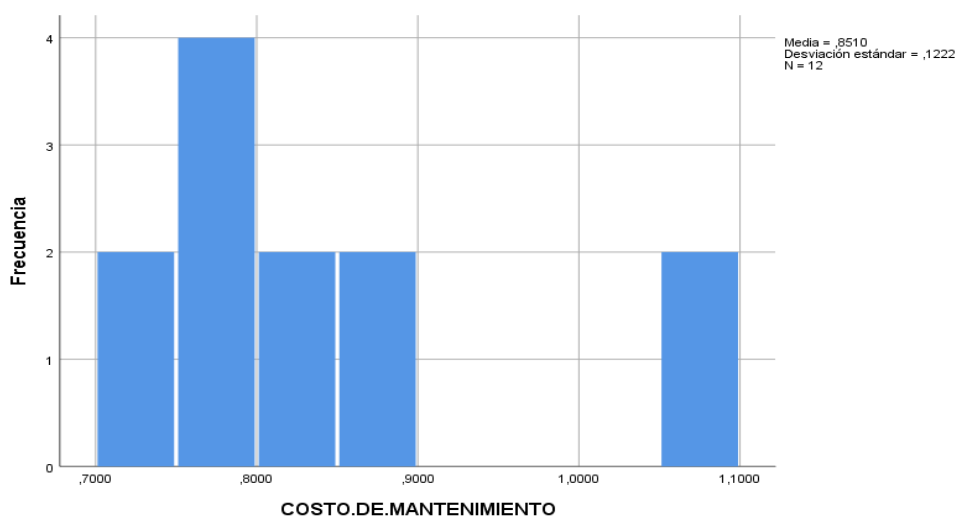
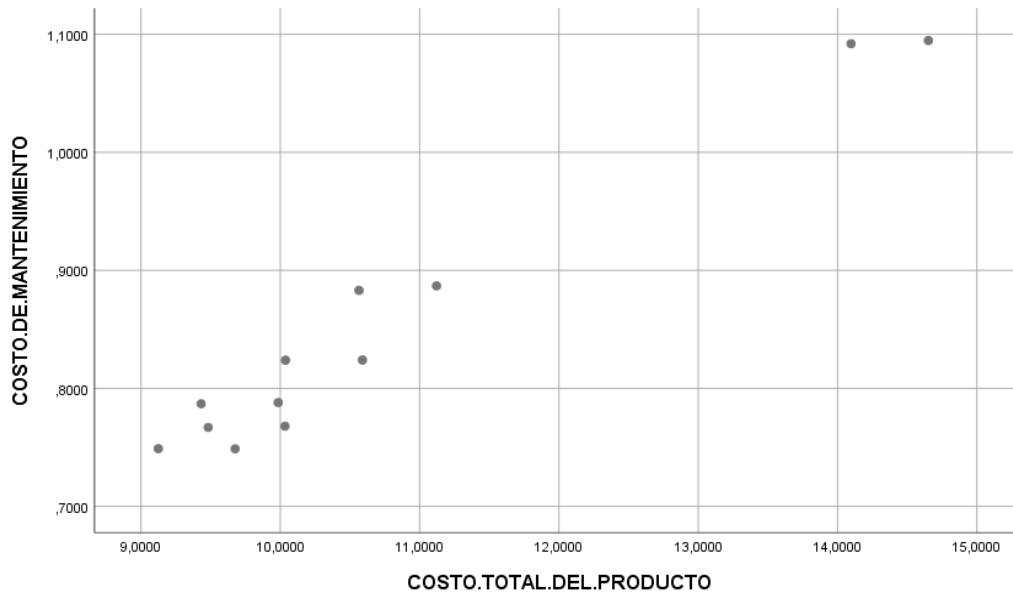


Figura 7. Diagrama de barras de costo de mantenimiento

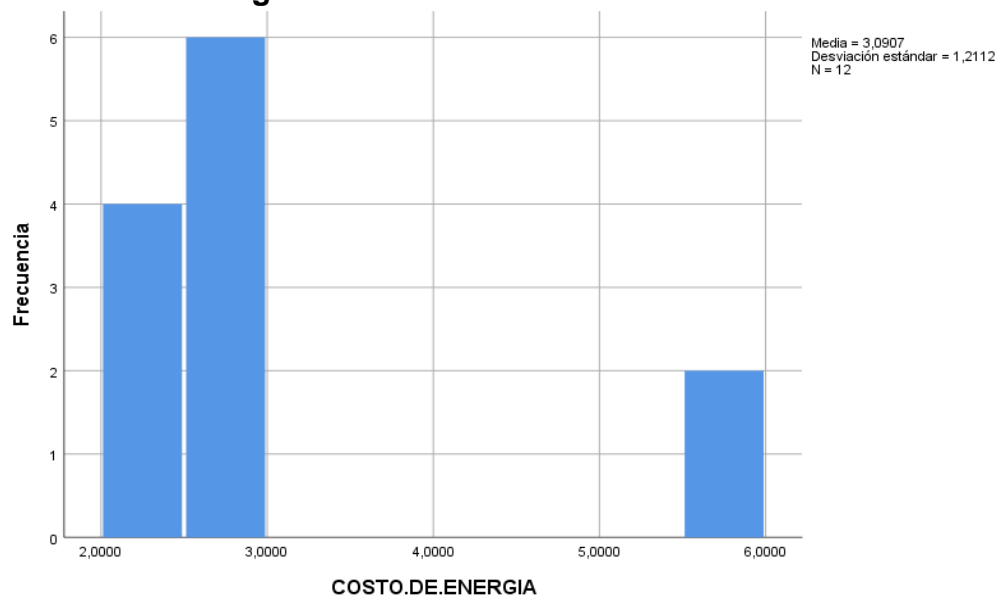
Fuente: elaboración propia



**Figura 8.** Diagrama de dispersión de costo de mantenimiento  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 7, nos informa de asimetría con valores en 2 sectores y una media de 0.8510 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 8, nos muestra 2 valores dispersos.

- **Costo de energía**



**Figura 9.** Diagrama de barras de costo de energía  
Fuente: elaboración propia

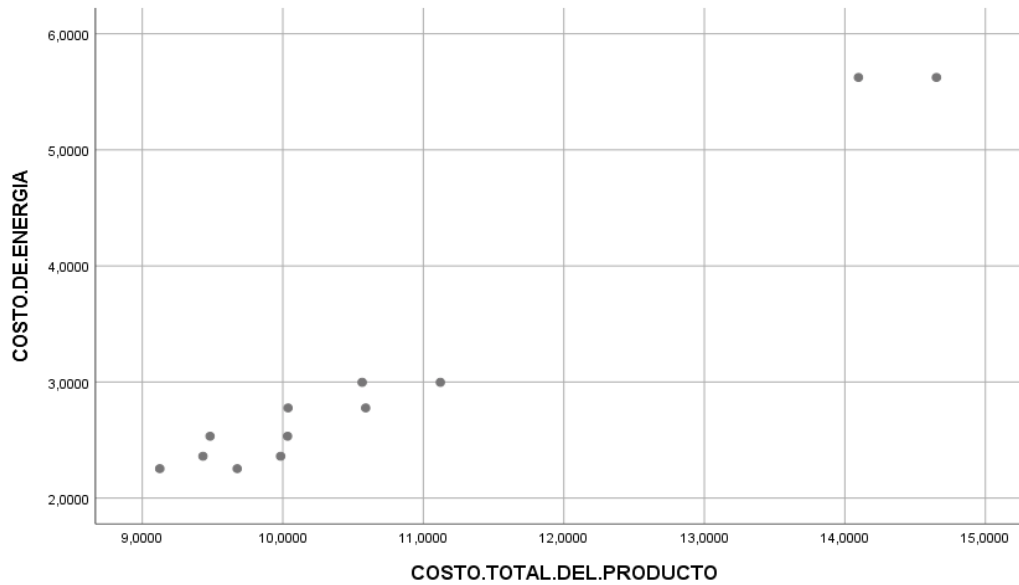


Figura 10. Diagrama de dispersión de costo de energía  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 9, nos informa de asimetría con valores en 2 sectores y una media de 3.0907 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 10, nos muestra 2 valores dispersos

- **Costo de membranas**

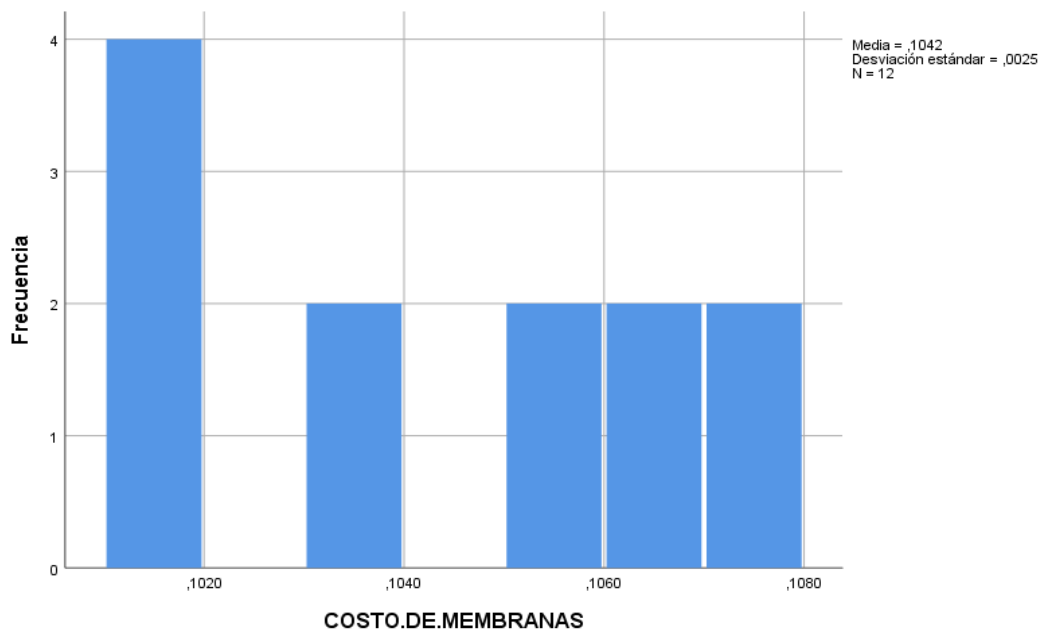


Figura 11. Diagrama de barras de costo de membranas  
Fuente: elaboración propia

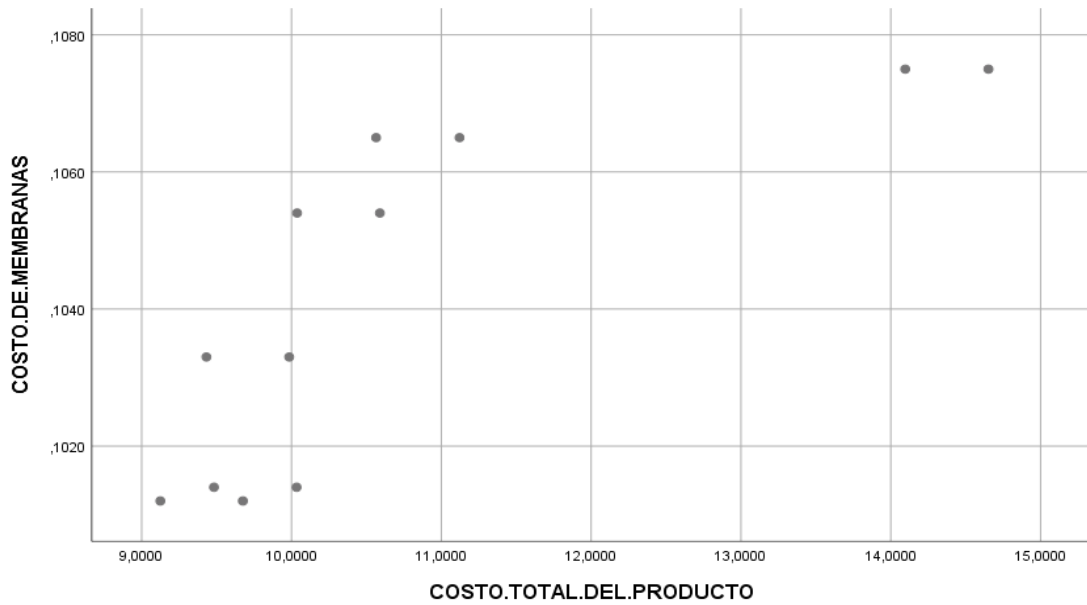


Figura 12. Diagrama de dispersión de costo de membranas  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 11. nos informa de la asimetría en 3 sectores y una media de 0.1042 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 12, nos muestra 2 valores dispersos.

- **Costo de materia prima**

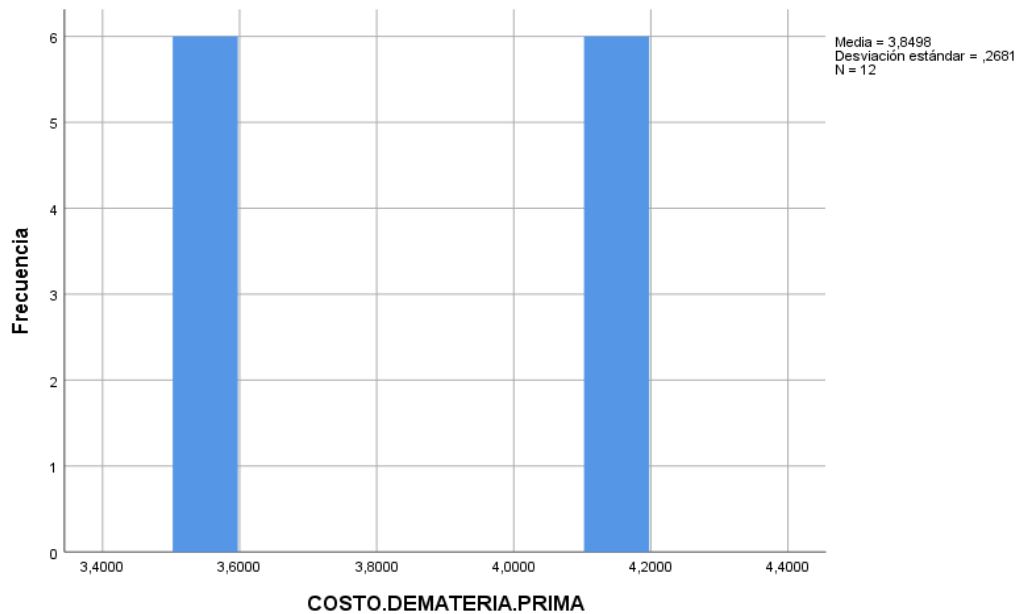


Figura 13. Diagrama de barras de costo de materia prima  
Fuente: elaboración propia

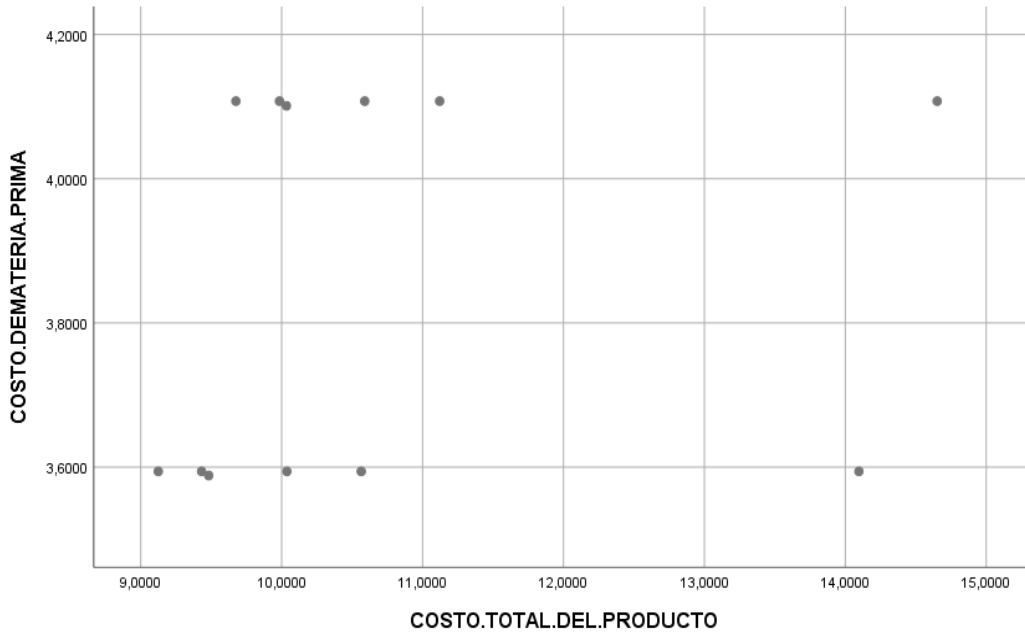


Figura 14. Diagrama de dispersión de costo de materia prima  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 13, nos informa de asimetría en dos sectores y una media de 3.8498 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 14, nos muestra valores dispersos en cuatro grupos siendo 2 valores muy dispersos.

- **Costo de productos químicos**

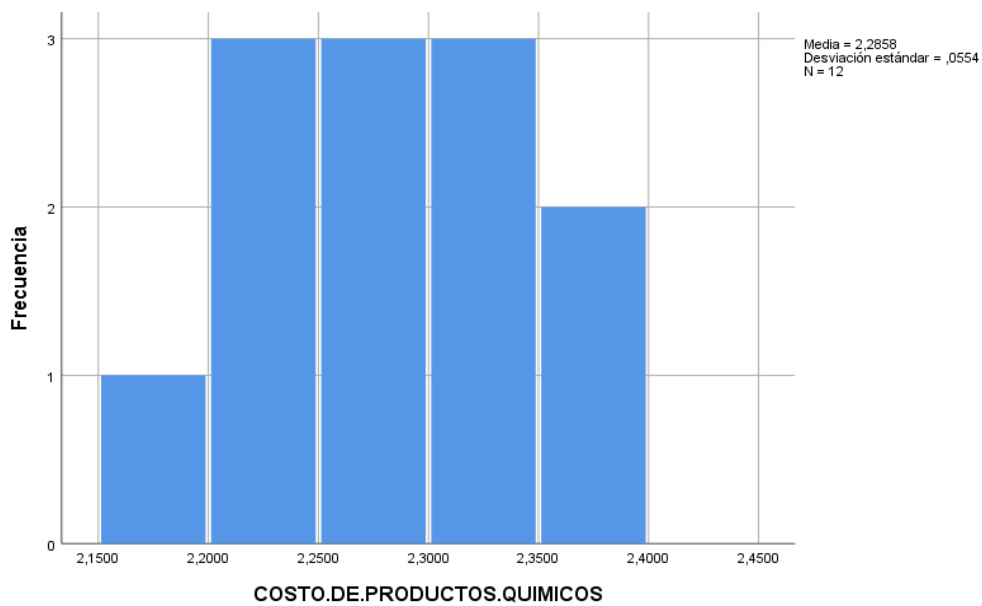


Figura 15. Diagrama de barras de costo de productos químicos  
Fuente: elaboración propia

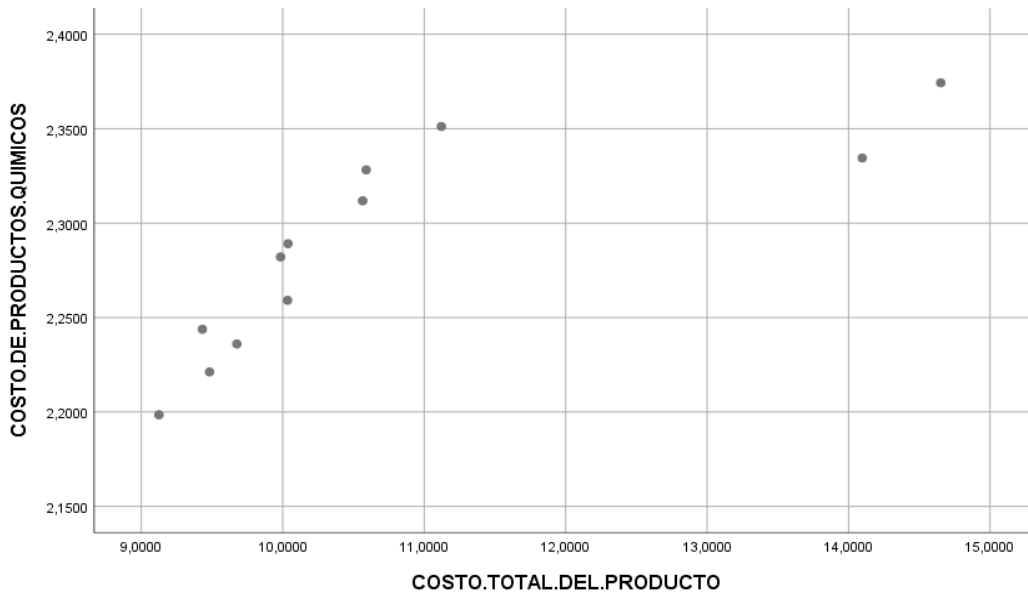


Figura 16. Diagrama de dispersión de costo de productos químicos  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 15, nos informa de simetría con valores una media de 2.2858 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 16, nos muestra 2 valores muy dispersos.

- **Costo de filtro cartucho**

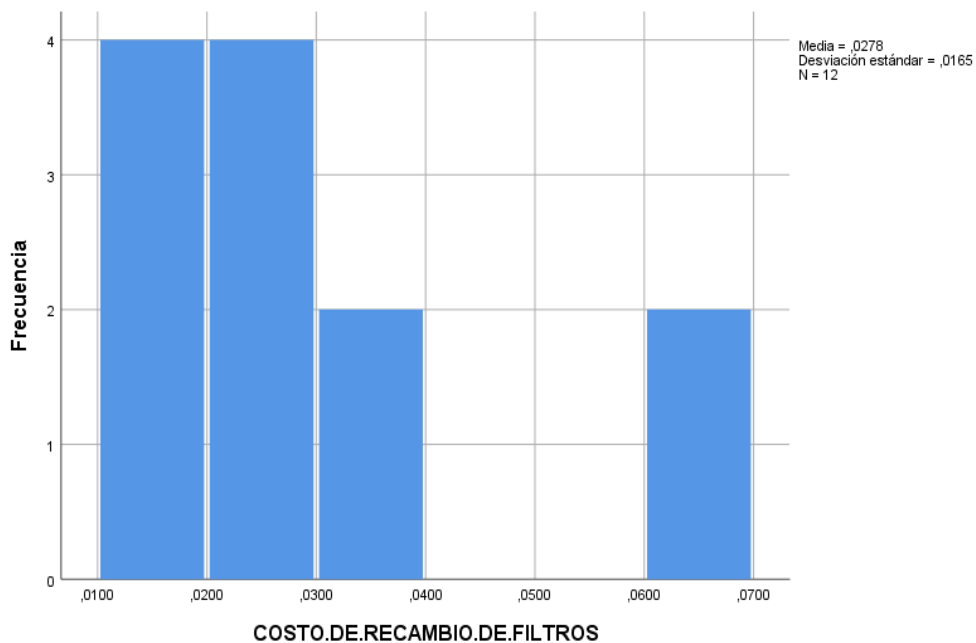


Figura 17. Diagrama de barras de costo de filtro cartucho  
Fuente: elaboración propia

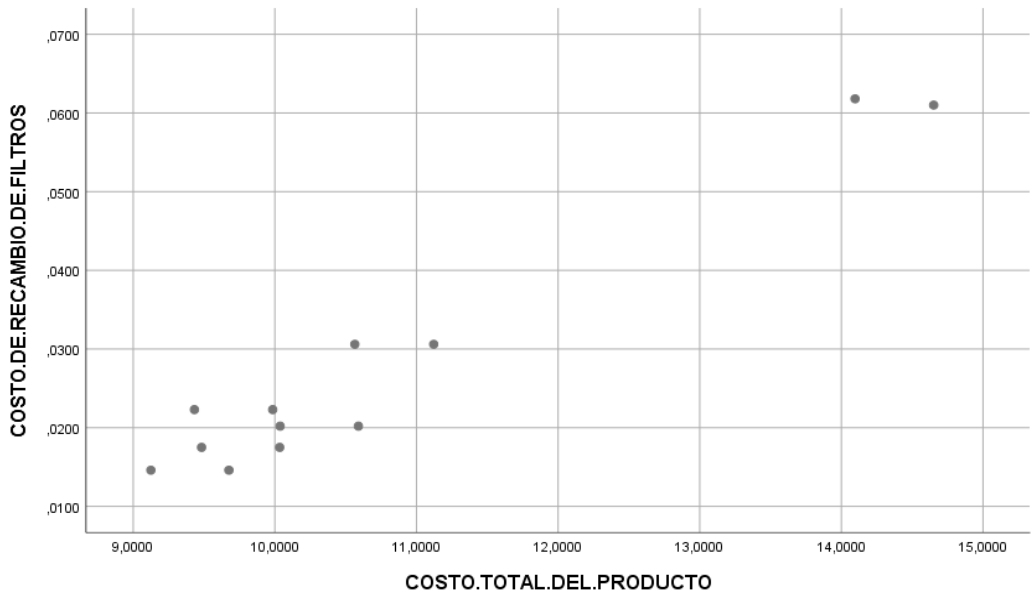


Figura 18. Diagrama de dispersión de costo de filtro cartucho  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 17, nos informa de asimetría con valores en 2 sectores y una media de 0.0278 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 18, nos muestra 2 valores dispersos.

- **Costo de asistencia técnica**

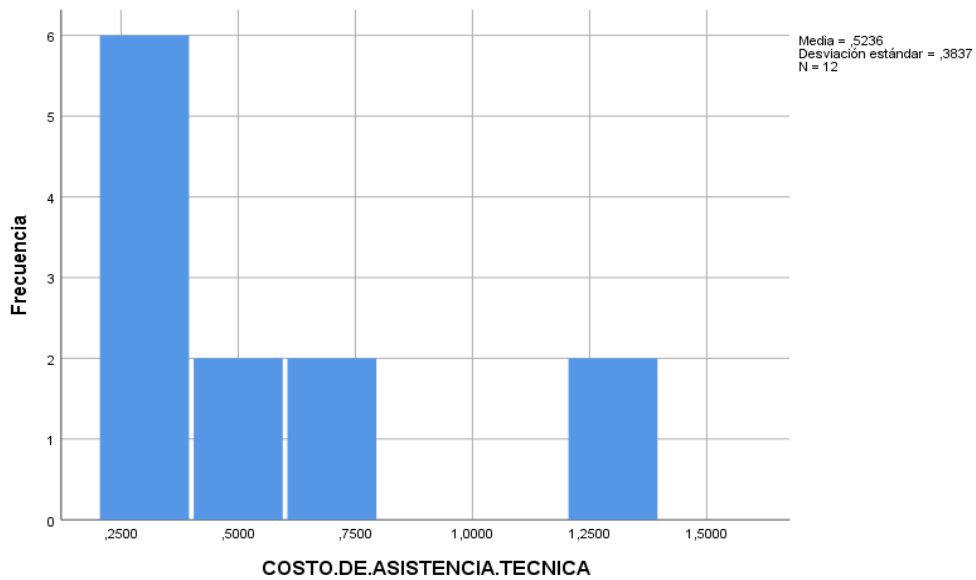
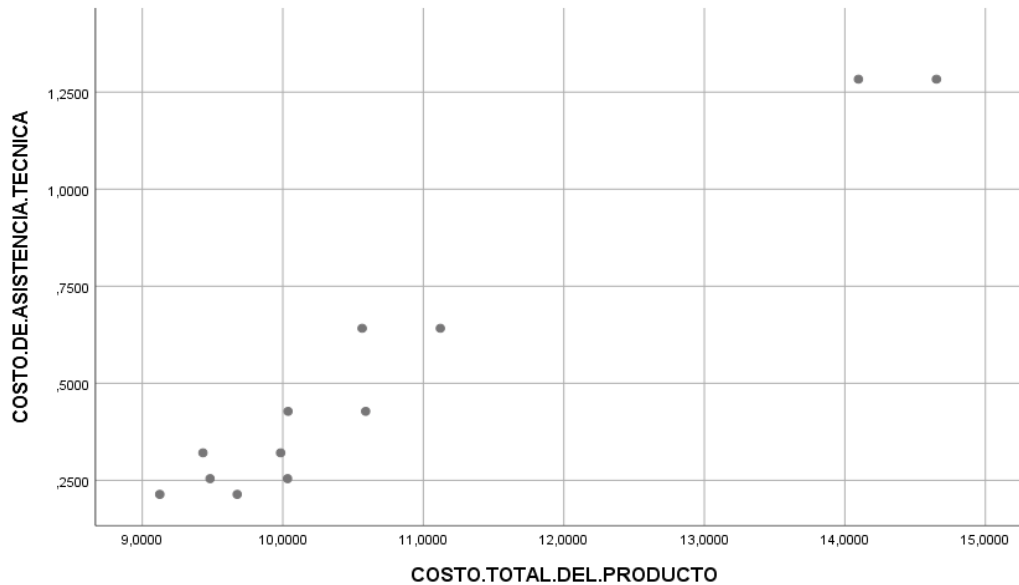


Figura 19. Diagrama de barras de costo de asistencia técnica  
Fuente: elaboración propia





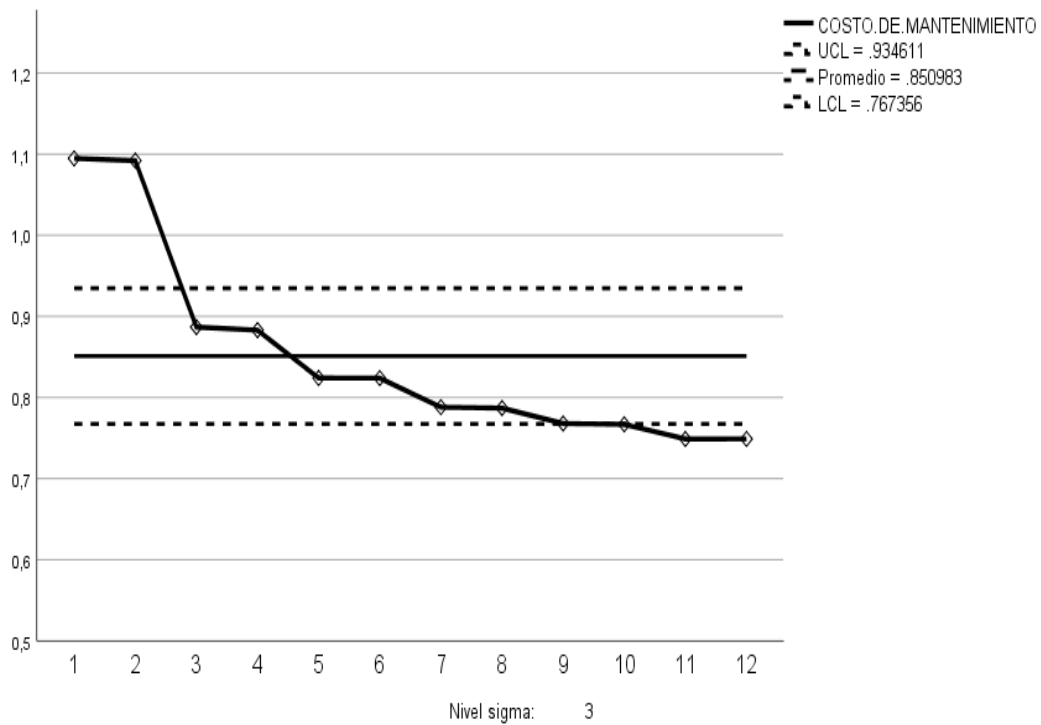
*Figura 20.* Diagrama de dispersión de costo de asistencia técnica  
Fuente: elaboración propia

El histograma de la figura 19 nos informa de asimetría con valores en 2 sectores y una media de 0.5236 S//m<sup>3</sup>. El diagrama de dispersión, figura 20, nos muestra 2 valores dispersos.

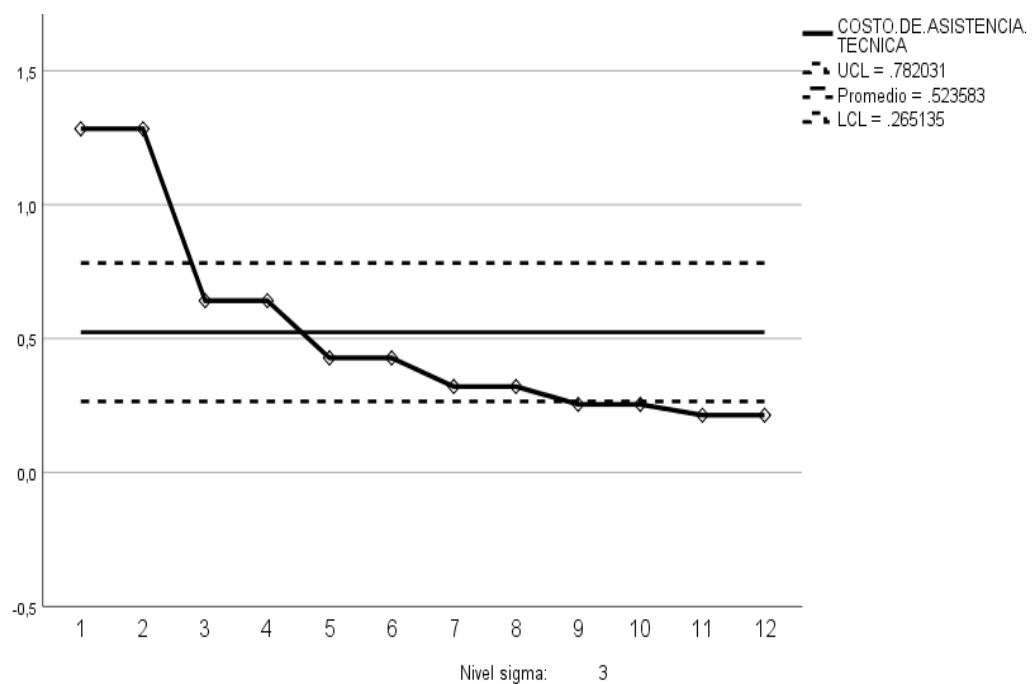
#### **5.4.2 Estudio de valores anómalos**

Para estudiar los posibles valores que pueden ser anómalos para el modelo matemático, además de la información obtenida en el apartado anterior se realizó unos gráficos de control de calidad para cada costo para poder asegurar de aquellos valores que se podría retirar del estudio.

Dichos gráficos quedan definidos por dos líneas horizontales discontinuas que nos definen los límites superiores e inferiores de control y por una línea horizontal continua que nos define el valor medio de la variable. Los valores que quedan fuera de los límites de control son los valores atípicos y que se podrían despreciar para obtener una información adecuada.



**Figura 21.** Gráfico de control de costo de mantenimiento  
 Fuente: elaboración propia



**Figura 22.** Gráfico de control de costo de asistencia técnica  
 Fuente: elaboración propia

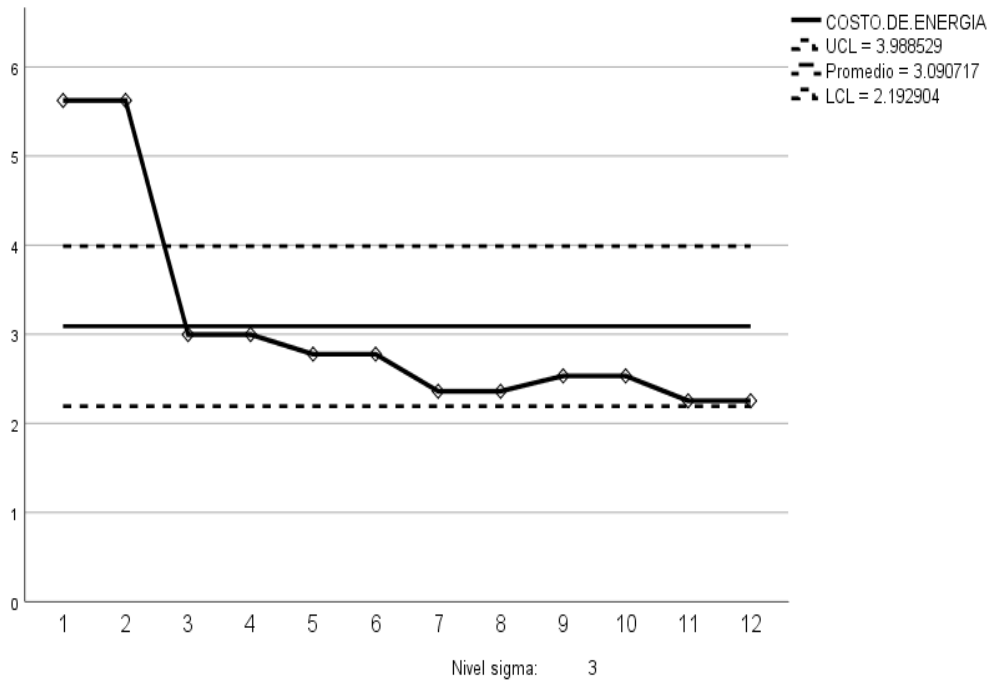


Figura 23. Gráfico de control de costo de energía  
Fuente: elaboración propia

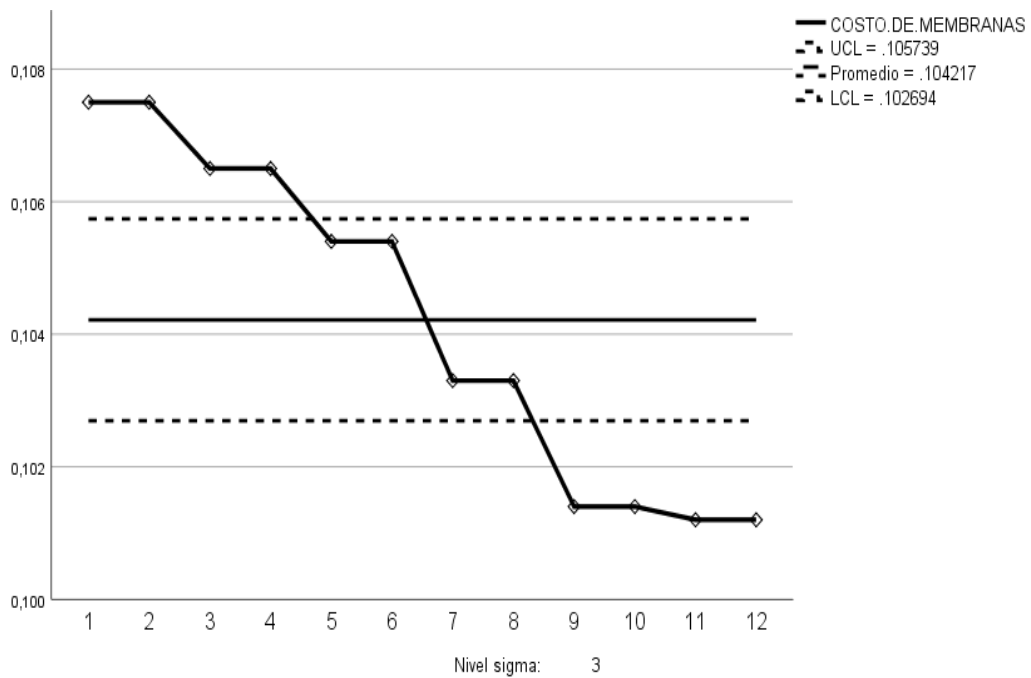
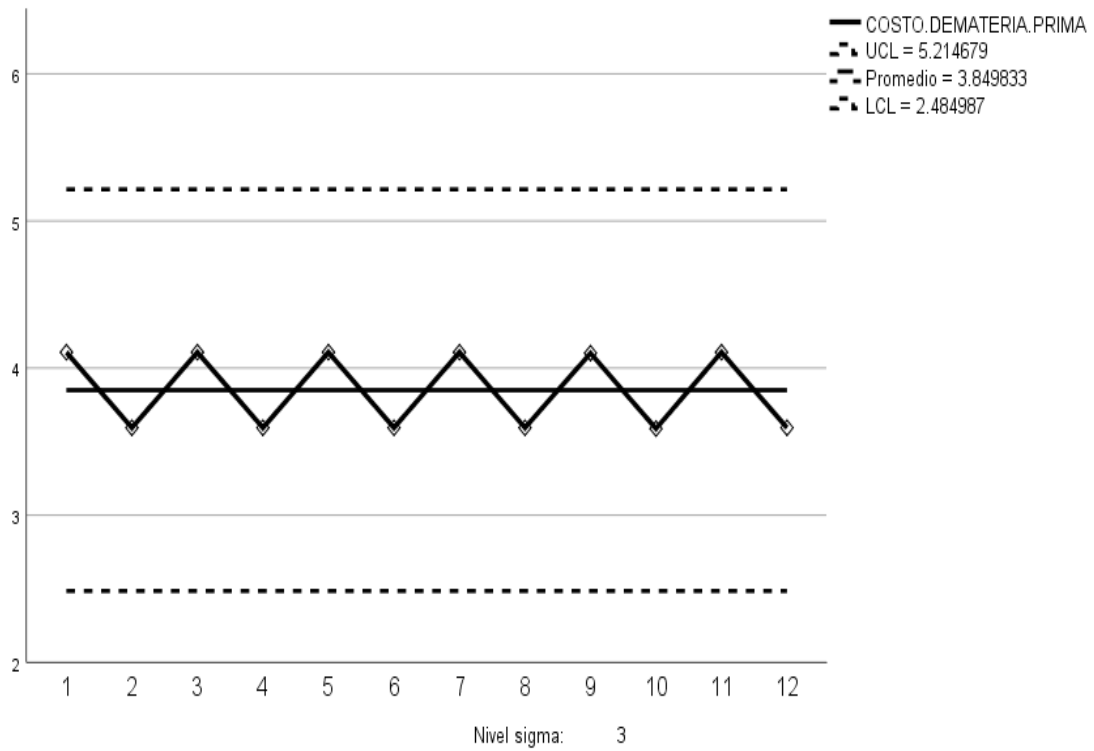
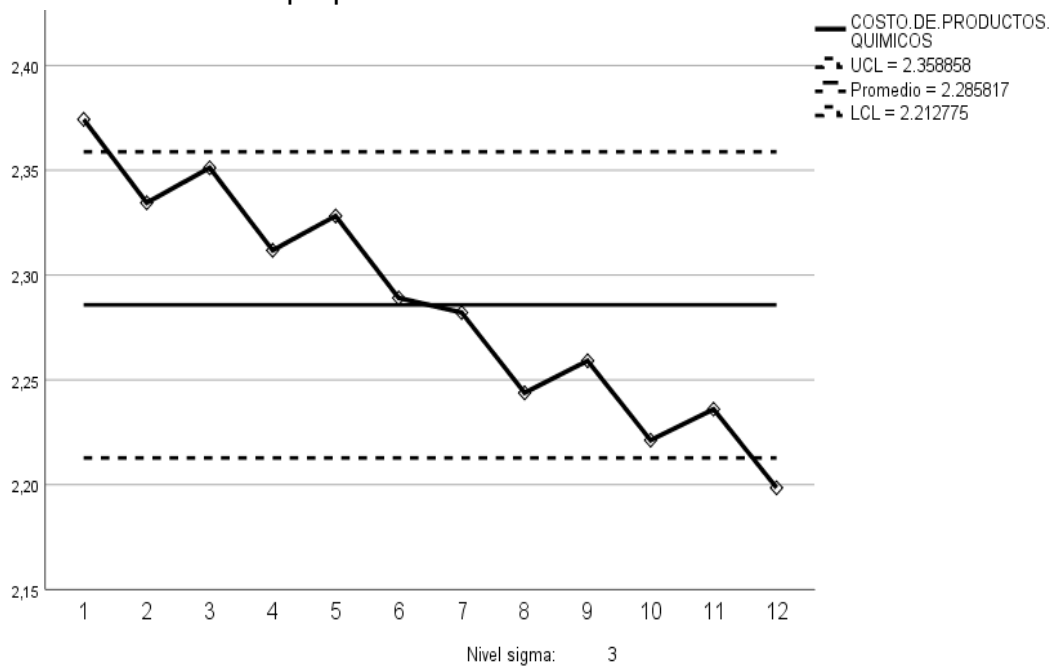


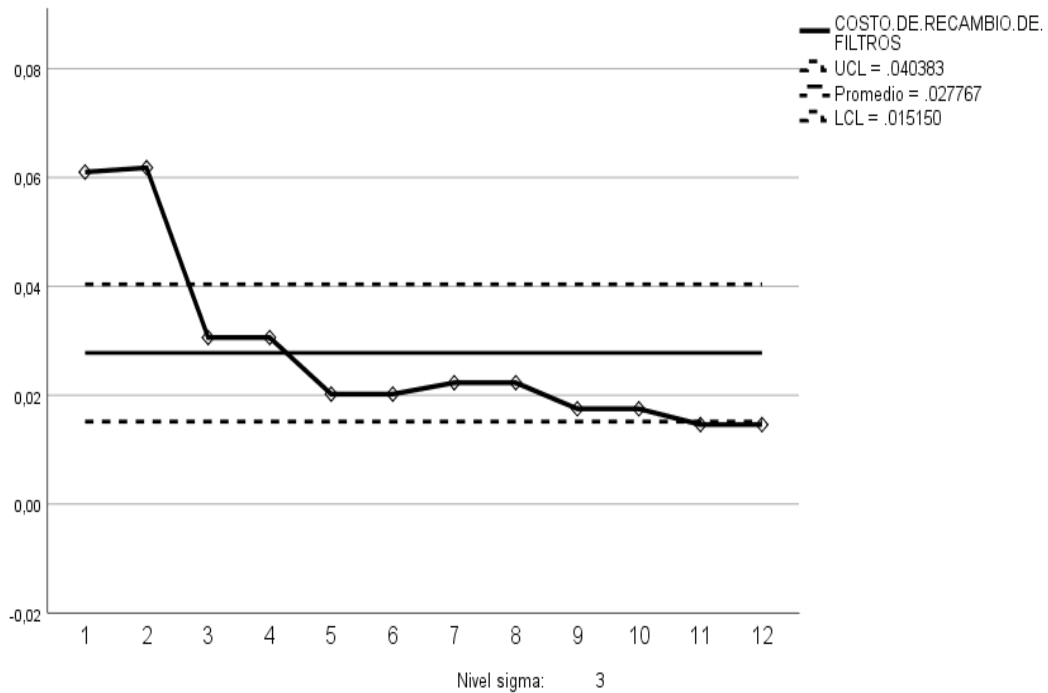
Figura 24. Gráfico de control de costo de membranas  
Fuente: elaboración propia



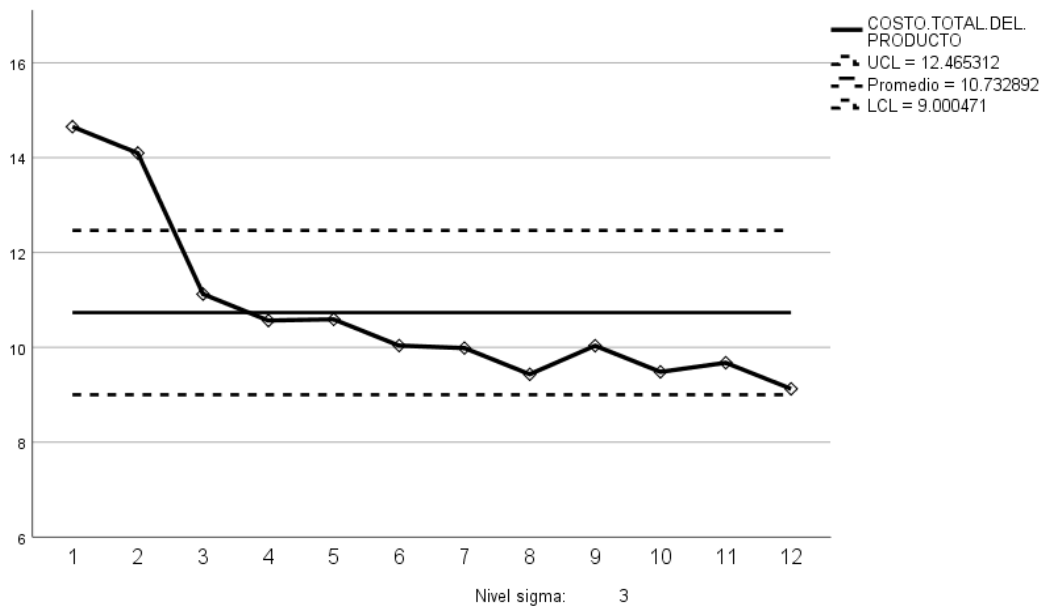
**Figura 25.** Gráfico de control de costo de materia prima  
Fuente: elaboración propia



**Figura 26.** Gráfico de control de costo de productos químicos  
Fuente: elaboración propia



**Figura 27.** Gráfico de control de costo de recambio de filtros  
Fuente: elaboración propia



**Figura 28.** Gráfico de control del costo total del producto  
Fuente: elaboración propia

Como consecuencia de lo anterior, las figuras 21 y 22 presentan 4 valores atípicos mientras que las figuras 23, 26, 27 y 28 presentan 2 valores atípicos. La figura 24 tiene 8 valores atípicos. Los valores de la figura 25 son todos correctos no existiendo atipicidad.

De las nueve figuras correspondiente a los gráficos de control de cada costo, y con los datos recogidos anteriormente, podemos asegurar que los costos que afectan fundamentalmente al costo total son el costo de energía, costo de productos químicos y costo de mantenimiento y que, por la dispersión, los correspondiente a 8.327 m<sup>3</sup>/día no es adecuado para el estudio.

### 5.4.3 Estudio de normalidad de datos definitivos

Como consecuencia de lo estudiado en los apartados anteriores, se realizó estudios con 4 tipos de costos que son los representativos y con un caudal que va de los 16,654 hasta los 49,962m<sup>3</sup>/día. La tabla 16 expresa los datos:

Tabla 16

*Datos definitivos*

CAPACIDAD Q (m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	COSTO DE ENERGÍA (\$/m <sup>3</sup> )	COSTO DE PRODUCTO S QUÍMICOS (\$/m <sup>3</sup> )	COSTO DE MATERIA PRIMA (\$/m <sup>3</sup> )	COSTO TOTAL DEL PRODUCTO (\$/m <sup>3</sup> )
16,6540	70%	2.9972	2.3512	4.1076	11.1214
16,6540	80%	2.9972	2.3118	3.5941	10.5648
24,9810	70%	2.7767	2.3282	4.1076	10.5898
24,9810	80%	2.7767	2.2891	3.5941	10.0372
33,3080	70%	2.3606	2.2821	4.1076	9.9847
33,3080	80%	2.3606	2.2438	3.5941	9.4318
42,0135	70%	2.5328	2.2591	4.1011	10.0340
42,0135	80%	2.5328	2.2212	3.5884	9.4825
49,9620	70%	2.2534	2.2360	4.1076	9.6755
49,9620	80%	2.2534	2.1985	3.5941	9.1245

Fuente: elaboración propia

Con los costos definidos en la tabla 16, se procedió a realizar las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, con los estimadores de Hubera, bponderado de Tukey, de Hampel y la Onda de Andrews, realizando las pruebas de normalidad y obteniendo los histogramas y gráficos de normales. Se presenta también las tablas y figuras correspondientes a cada uno de los costos fundamentales. Podemos observar también las constantes de ponderación de los estimadores, así como el contraste de Shapiro y Wilks que nos mide el ajuste de la muestra a una recta.

### a) Costos de energía

Tabla 17

*Descriptivos*

			Estadístico	Desv. Error
Costo de energía	Media		2,584140	0,0906388
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,379101	
		Límite superior	2,789179	
	Media recortada al 5%		2,579567	
	Mediana		2,532800	
	Varianza		0,082	
	Desv. Desviación		,2866251	
	Mínimo		2,2534	
	Máximo		2,9972	
	Rango		0,7438	
	Rango intercuartil		0,4980	
	Asimetría		0,355	0,687
	Curtosis		-1,432	1,334

Fuente: elaboración propia

Tabla 18

*Estimadores M*

	Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Bponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Costo de energía	2,561824	2,569959	2,582671	2,569931

Nota:

a. La constante de ponderación es 1,339.

b. La constante de ponderación es 4,685.

c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500

d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

Fuente: Elaboración propia

Los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad, así como los diagramas representados muestran la normalidad de los datos.

Tabla 19  
Valores extremos

		Número del caso		Valor
Costo de energía	Mayor	1	1	2,9972
		2	2	2,9972
		3	3	2,7767
		4	4	2,7767
		5	7	2,5328 <sup>a</sup>
	Menor	1	10	2,2534
		2	9	2,2534
		3	6	2,3606
		4	5	2,3606
		5	8	2,5328 <sup>b</sup>

Nota.

a. Sólo se muestra una lista parcial de casos con el valor 2,5328 en la tabla de extremos superiores.

b. Sólo se muestra una lista parcial de casos con el valor 2,5328 en la tabla de extremos inferiores.

Fuente: elaboración propia

Tabla 20  
Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Costo de energía	0,182	10	0,200*	0,891	10	0,174

Nota.

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia

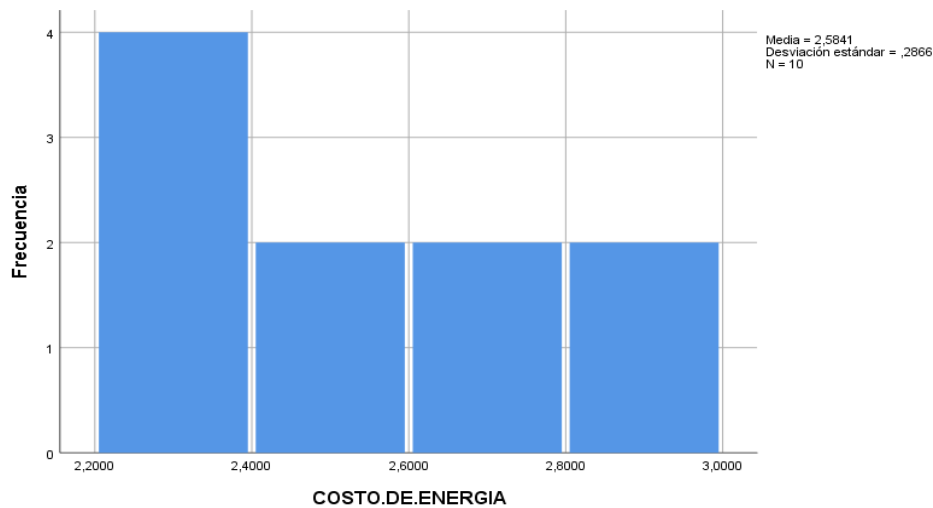
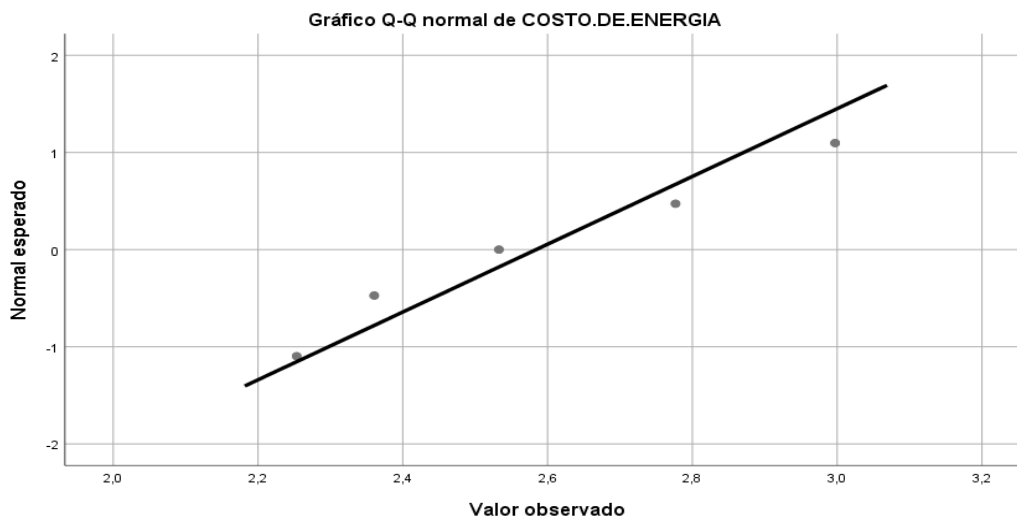


Figura 29. Diagrama de barras de costo de energía

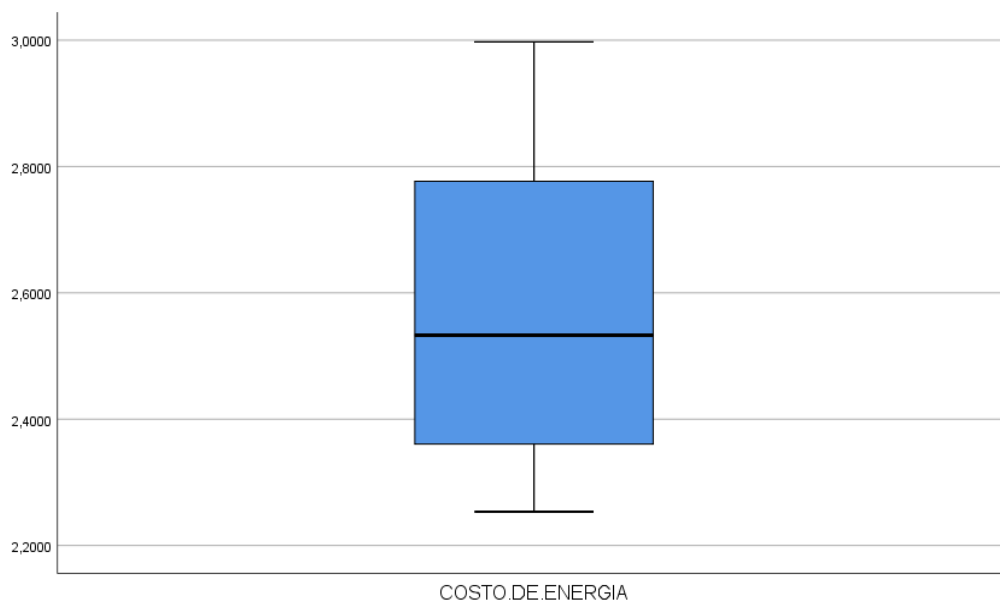
Fuente: elaboración propia





*Figura 30.* Gráfico q-q normal de costo de energía  
Fuente: elaboración propia

Para el caso del costo de energía, el histograma y la gráfica Q-Q normal corroboran la normalidad de los mismos. La figura 31 nos muestra la inexistencia de valores anómalos y una ligera asimetría hacia la izquierda.



*Figura 31.* Diagrama de cajas y bigotes de costo de energía  
Fuente: elaboración propia

## **b) Costos de productos químicos**

Tabla 21  
*Descriptivos*

			Estadístico	Dev. Error
Costo de productos químicos	Media		2,272100	0,0155098
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,237014	
		Límite superior	2,307186	
	Media recortada al 5%		2,271794	
	Mediana		2,270600	
	Varianza		0,002	
	Desv. Desviación		0,0490464	
	Mínimo		2,1985	
	Máximo		2,3512	
	Rango		0,1527	
	Rango intercuartil		0,0836	
	Asimetría		0,162	0,687
Curtosis		0-,943	1,334	

Fuente: elaboración propia

Tabla 22  
*Estimadores M*

		Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Costo de productos químicos		2,270562	2,270825	2,271271	2,270828

Nota.

a. La constante de ponderación es 1.339.

b. La constante de ponderación es 4.685.

c. Las constantes de ponderación son 1.700, 3.400 y 8.500

d. La constante de ponderación es  $1.340 \cdot \pi$ .

Fuente: elaboración propia

Los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad muestran que la distribución es normal.

Tabla 23  
*Valores extremos*

		Número del caso		Valor
Costo de productos químicos	Mayor	1	1	2,3512
		2	3	2,3282
		3	2	2,3118
		4	4	2,2891
		5	5	2,2821
	Menor	1	10	2,1985
		2	8	2,2212
		3	9	2,2360
		4	6	2,2438
		5	7	2,2591

Fuente: elaboración propia

Tabla 24  
Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Costo de productos químicos	0,118	10	0,200*	0,978	10	0,956

Nota.

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia

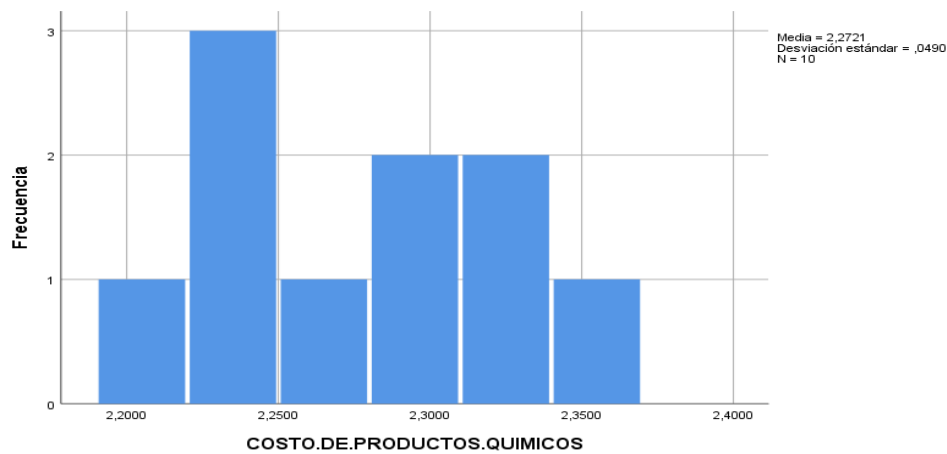


Figura 32. Diagrama de barras de costo de productos químicos

Fuente: elaboración propia

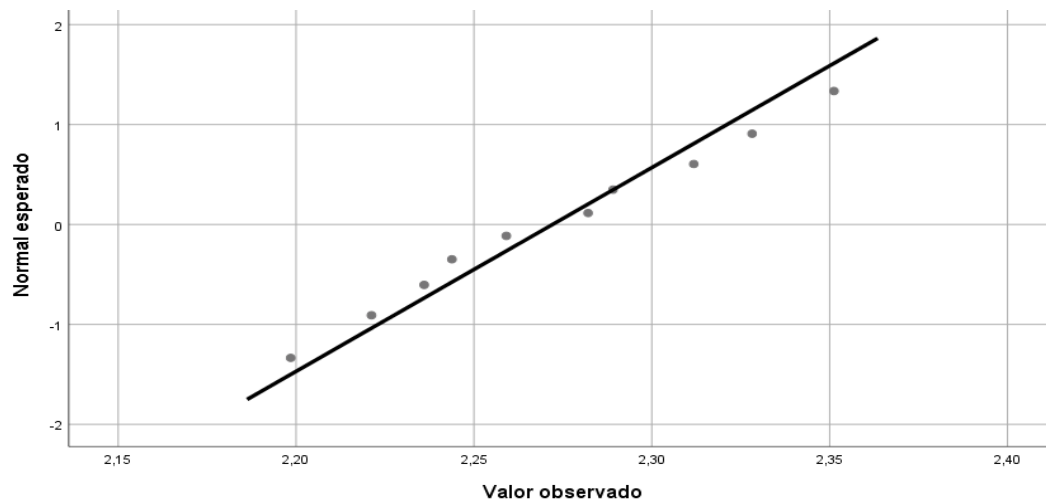


Figura 33. Gráfico Q-Q normal de costo de productos químicos

Fuente: elaboración propia

Para el caso del costo de productos químicos, el histograma y el gráfico Q-Q normal corroboran la normalidad de los mismos. La figura 34 nos muestra una simetría de los datos.

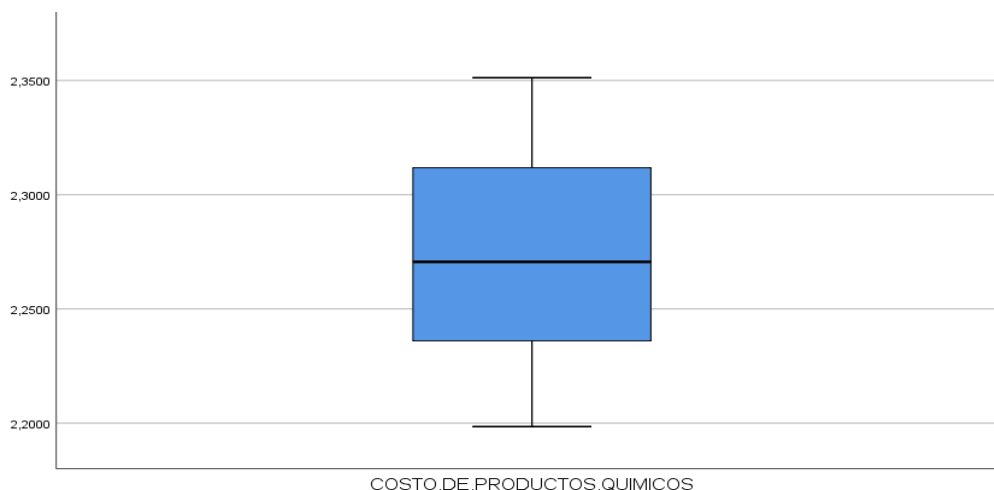


Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes de costo de productos químicos

Fuente: elaboración propia

### c) Costos de materia prima

Tabla 25

#### Descriptivos

			Estadístico	Desv. Error
Costo de materia prima	Media		3,849630	0,0855605
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,656079	
		Límite superior	4,043181	
	Media recortada al 5%		3,849811	
	Mediana		3,847600	
	Varianza		0,073	
	Desv. Desviación		0,2705662	
	Mínimo		3,5884	
	Máximo		4,1076	
	Rango		0,5192	
	Rango intercuartil		0,5135	
	Asimetría		0,000	0,687
Curtosis		-2,571	1,334	

Fuente: elaboración propia

Tabla 26

#### Estimadores M

	Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Costo de materia prima	3,849630	3,849241	3,849630	3,849237

Nota.

a. La constante de ponderación es 1.339.

b. La constante de ponderación es 4.685.

c. Las constantes de ponderación son 1.700, 3.400 y 8.500

d. La constante de ponderación es  $1.340 \cdot \pi$ .

Fuente: elaboración propia

Los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores de los contrastes de normalidad, así como los diagramas representados muestran la anormalidad de los datos porque la variación de los datos solo varía con la conversión del RO y es constante para cada valor de conversión definida.

Tabla 27

*Valores extremos*

		Número del caso		Valor
Costo de materia prima	Mayor	1	1	4,1076
		2	3	4,1076
		3	5	4,1076
		4	9	4,1076
		5	7	4,1011
	Menor	1	8	3,5884
		2	10	3,5941
		3	6	3,5941
		4	4	3,5941
		5	2	3,5941

Fuente: elaboración propia

Tabla 28

*Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Costo de materia prima	0,328	10	0,003	0,662	10	0,000

Nota.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia

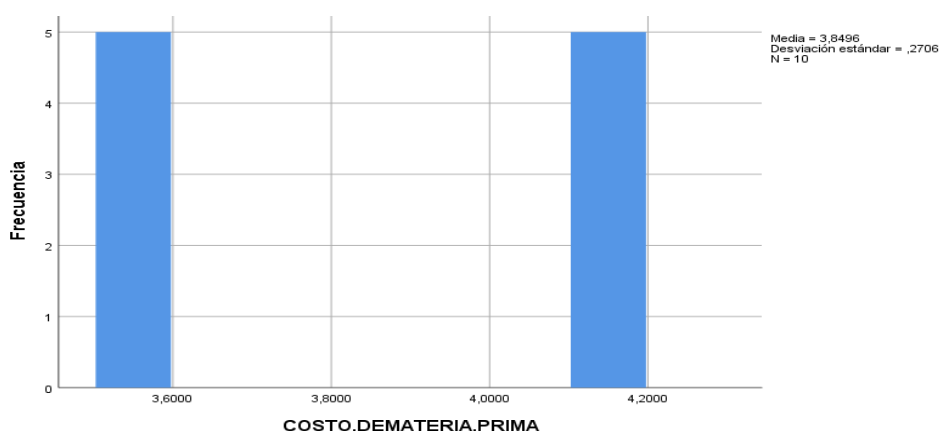
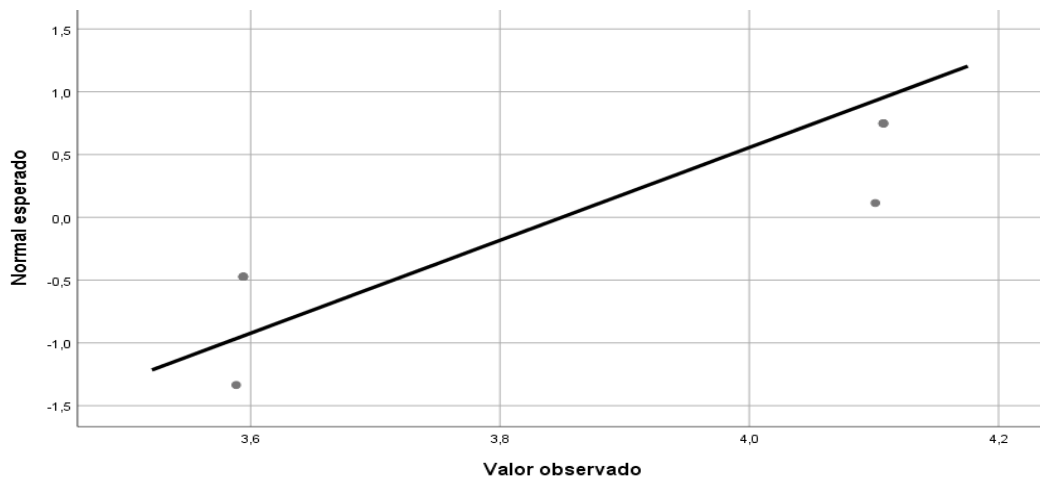


Figura 35. Diagrama de barras de costo de materia prima

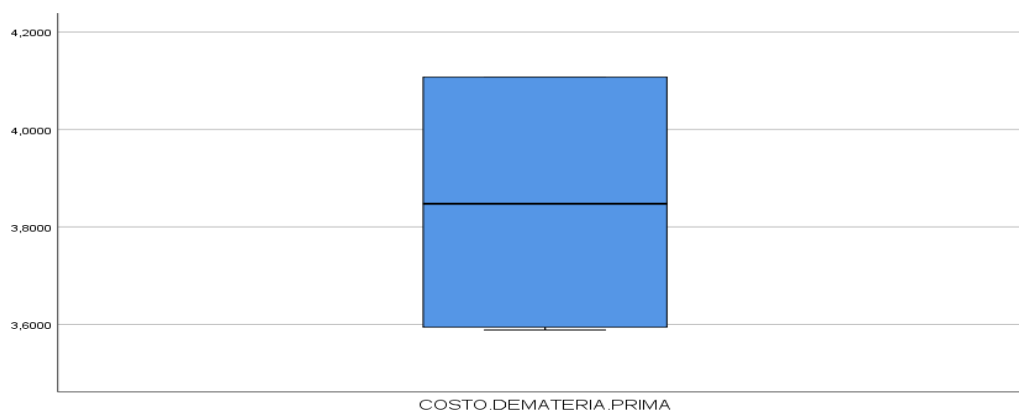
Fuente: elaboración propia



*Figura 36.* Gráfico Q-Q normal de costo de materia prima

Fuente: elaboración propia

Para el caso del costo de materia prima, el histograma y el gráfico Q-Q normal corroboran la anormalidad de los mismos. La figura 37 muestra la inexistencia de valores anómalos.



*Figura 37.* Diagrama de cajas y bigotes de costo de materia prima

Fuente: elaboración propia

#### **d) Costo total**

Tabla 29  
*Descriptivos*

		Estadístico	Desv. Error	
Costo total del producto	Media	10,004620	0,1940624	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9,565620	
		Límite superior	10,443620	
	Media recortada al 5%	9,991472		
	Mediana	10,009350		
	Varianza	0,377		
	Desv. Desviación	0,6136792		
	Mínimo	9,1245		
	Máximo	11,1214		
	Rango	1,9969		
	Rango intercuartil	1,1012		
	Asimetría	0,434	0,687	
	Curtosis	-0,392	1,334	

Fuente: elaboración propia

Tabla 30  
*Estimadores M*

	Estimador M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
Costo total del producto	9,980365	9,983978	9,984990	9,984046

Nota.

a. La constante de ponderación es 1.339.

b. La constante de ponderación es 4.685.

c. Las constantes de ponderación son 1.700, 3.400 y 8.500

d. La constante de ponderación es  $1.340 \cdot \pi$ .

Fuente: elaboración propia

Los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

Los valores muy pequeños de los contrastes de normalidad, así como los diagramas representados muestran la normalidad de los datos.

Tabla 31  
*Valores extremos*

		Número del caso		Valor
Costo total del producto	Mayor	1	1	11,1214
		2	3	10,5898
		3	2	10,5648
		4	4	10,0372
		5	7	10,0340
	Menor	1	10	9,1245
		2	6	9,4318
		3	8	9,4825
		4	9	9,6755
		5	5	9,9847

Fuente: elaboración propia

Tabla 32

*Pruebas de normalidad*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Costo total del producto	0,179	10	0,200*	0,961	10	0,800

Nota.

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia

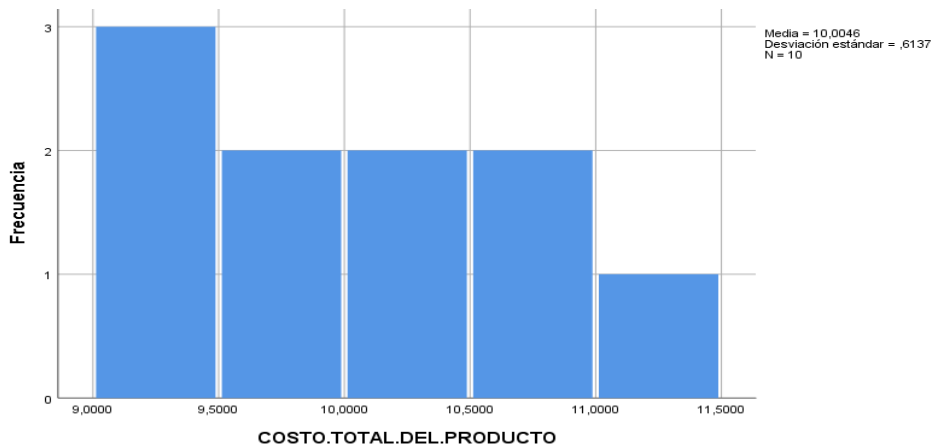


Figura 38. Diagrama de barras del costo total

Fuente: elaboración propia

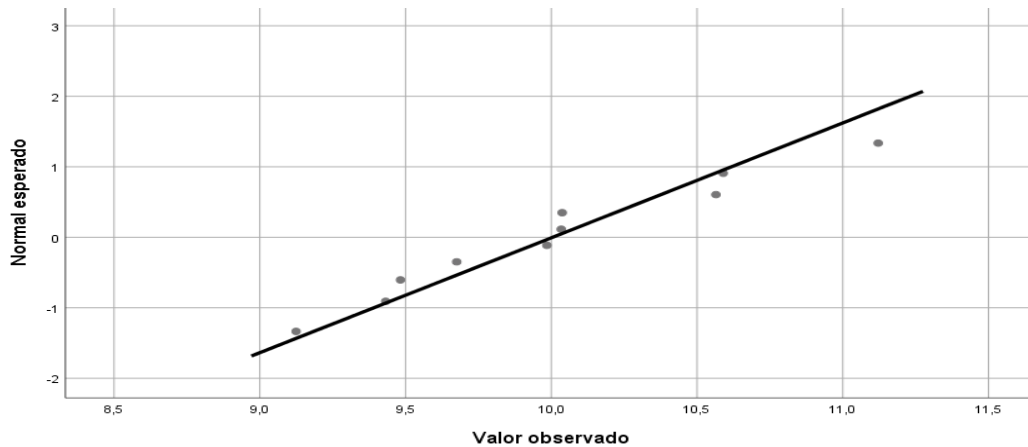
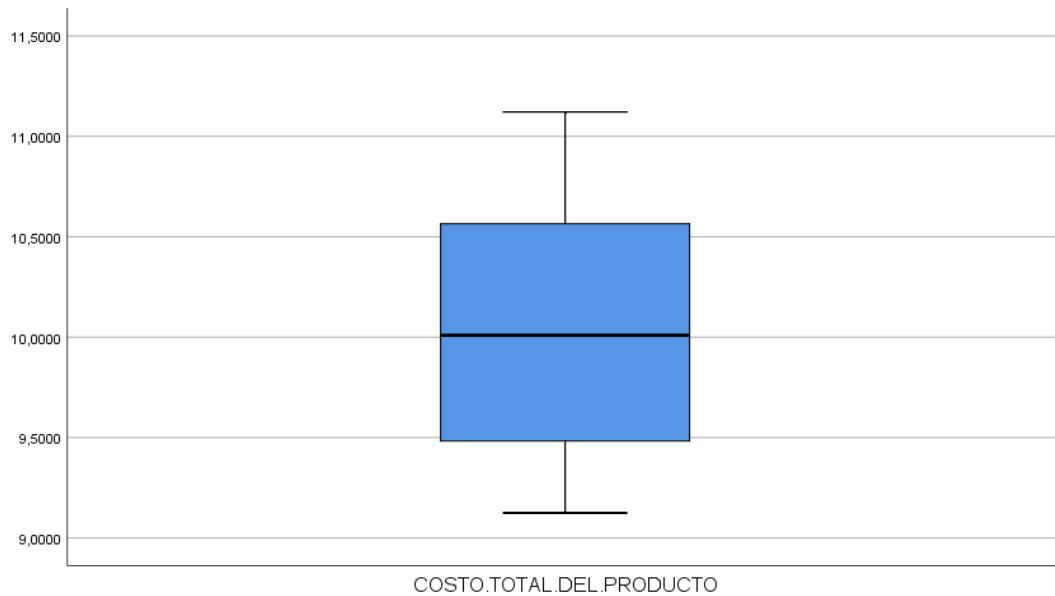


Figura 39. Gráfico Q-Q normal del costo total

Fuente: elaboración propia

Para el caso del costo de costo total, el histograma y el grafico Q-Q normal corroboran la normalidad de los mismos. La figura 40, muestra la inexistencia de valores anómalos y una simetría.





*Figura 40.* Diagrama de cajas y bigotes del costo total  
Fuente: elaboración propia

#### **5.4.4 Obtención del modelo matemático**

Mediante el programa IBM SPSS Statistics 25, se ha analizado los posibles modelos matemáticos dentro de la investigación, partiendo de la base, que el costo total es una variable única dependiente de las otras 7 variables independientes. En función de lo comentado el modelo matemático puede responder a un modelo univariante o a un modelo en base a mínimos cuadrados ponderados, que a continuación se va a estudiar, describir, calcular y definir.

##### **a). Análisis de varianza univariante.**

Se tomó como variable dependiente los costos totales y el resto de costos forman parte de las covariables. A continuación, se muestra las pruebas de los efectos inter-sujetos donde se pueden observar una serie de resultados básicos para el cálculo del modelo.

Tabla 33

*Pruebas de efectos inter-sujetos*

Variable dependiente: Costo total del producto								
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>b</sup>
Modelo corregido	35,366 <sup>a</sup>	7	5,052	1615312430,	0,000	1,000	11307187012	1,000
Intersección	4,350E-11	1	4,350E-11	0,014	0,912	0,003	0,014	0,051
Costo de mantenimiento	5,810E-6	1	5,810E-6	1857,651	0,000	0,998	1857,651	1,000
Costo de asistencia técnica	0,000	1	0,000	43063,235	0,000	1,000	43063,235	1,000
Costo de energía	0,018	1	0,018	5841484,440	0,000	1,000	5841484,440	1,000
Costo de membranas	7,324E-7	1	7,324E-7	234,161	0,000	0,983	234,161	1,000
Costo de materia prima	0,044	1	0,044	13921924,02	0,000	1,000	13921924,02	1,000
Costo de productos químicos	0,000	1	0,000	62325,370	0,000	1,000	62325,370	1,000
Costo de recambio de filtros	8,438E-6	1	8,438E-6	2697,622	0,000	0,999	2697,622	1,000
Error	1,251E-8	4	3,128E-9					
Total	1417,706	12						
Total corregido	35,366	11						

Nota.

a. R al cuadrado = 1.000 (R al cuadrado ajustada = 1.000)

b. Se ha calculado utilizando alpha = .05

Fuente: elaboración propia

Tabla 34

*Estadísticos descriptivos*

Variable dependiente: Costo total del producto			
Media	Desv. Desviación	N	
10,732892	1,7930742	12	

Fuente: elaboración propia

A continuación, en la tabla 35, se presenta los parámetros obtenidos en este primer modelo, respondiendo a un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 35

*Estimaciones de parámetro*

Variable dependiente: Costo total del producto									
Parámetro	B	Desv. Error	t	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		Eta parcial al cuadrado	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>
					Límite inferior	Límite superior			
Intersección	0,001	0,007	0,118	0,912	-0,018	0,020	0,003	0,118	0,051
Costo de mantenimiento	0,974	0,023	43,100	0,000	0,911	1,037	0,998	43,100	1,000
Costo de asistencia técnica	1,004	0,005	207,517	0,000	0,991	1,018	1,000	207,517	1,000
Costo de energía	1,001	0,000	2416,916	,000	1,000	1,002	1,000	2416,916	1,000
Costo de membranas	1,144	0,075	15,302	,000	,936	1,352	,983	15,302	1,000
Costo de materia prima	1,000	0,000	3731,209	,000	,999	1,001	1,000	3731,209	1,000
Costo de productos químicos	1,001	0,004	249,650	,000	,990	1,012	1,000	249,650	1,000
Costo de recambio de filtros	1,027	0,020	51,939	0,000	0,972	1,082	0,999	51,939	1,000

Nota.

a. Se ha calculado utilizando alpha = .05

Fuente: elaboración propia

Tabla 36

*Función general que se puede estimara<sup>a</sup>*

Parámetro	Contraste							
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Intersección	1	0	0	0	0	0	0	0
Costo de mantenimiento	0	1	0	0	0	0	0	0
Costo de asistencia técnica	0	0	1	0	0	0	0	0
Costo de energía	0	0	0	1	0	0	0	0
Costo de membranas	0	0	0	0	1	0	0	0
Costo de materia prima	0	0	0	0	0	1	0	0
Costo de productos químicos	0	0	0	0	0	0	1	0
Costo de recambio de filtros	0	0	0	0	0	0	0	1

Nota.

a. diseño : intersección + costo de mantenimiento + costo d .asistencia técnica + costo de energía + costo de membranas + costo de materia prima + costo de productos químicos + costo de recambio de filtros

Fuente: elaboración propia

Tabla 37

*Pruebas de falta de ajuste*

Variable dependiente: costo total del producto								
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Sig F	Eta parcial al cuadrado	Parámetro sin centralidad	Potencia observada <sup>a</sup>	
Falta de ajuste	0,000	4	0,000	.	1,000	.	.	.
Error puro	0,000	0	.	.				

Nota.

a. Se ha calculado utilizando alpha = .05

Fuente: elaboración propia

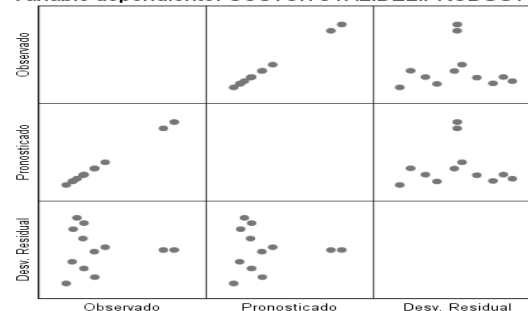
Tabla 38

*Coefficientes de contraste (matriz L)*

Parámetro	Media global
Intersección	1
Costo de mantenimiento	0,851
Costo de asistencia técnica	0,524
Costo de energía	3,091
Costo de membranas	0,104
Costo de materia prima	3,850
Costo de productos químicos	2,286
Costo de recambio de filtros	0,028

Fuente: elaboración propia

Variable dependiente: COSTO.TOTAL.DEL.PRODUCTO



Modelo: Intersección + COSTO.DE.MANTENIMIENTO + COSTO.DE.ASISTENCIA.TECNICA + COSTO.DE.ENERGIA + COSTO.DE.MEMBRANAS + COSTO.DEMATERIA.PRIMA + COSTO.DE.PRODUCTOS.QUIMICOS + COSTO.DE.RECAMBIO.DE.FILTROS

Figura 41. Residuales

Fuente: elaboración propia

En función de los cálculos realizados para este modelo, la expresión que define el modelo matemático, es la siguiente:

$$\text{Función costo} = 0.001 + 0,974M + 1,004AT + 1,001E + 1,144RM + 1.000MP + 1.001PQ + 1.027RF$$

Donde:

M=Costos de mantenimiento

AT=Costo de asistencia técnica

E=Costo de energía

RM=Costo de reposición de membranas

MP=Costo de materia prima directa

PQ=Costo de productos químicos

RF=Costo de recambio de filtros

**b). Análisis de los cuadrados mínimos ponderados (costo de materia prima)**

Se estudió en un segundo caso el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora el costo de materia prima, por ser la variable con más peso en el costo total.

Tabla 39  
*Valores de log-verosimilitud*

Potencia	VALORES DE LOG-VEROSIMILITUD <sup>b</sup>	
	-2,000	68,530 <sup>a</sup>
	-1,500	68,501
	-1,000	68,478
	-,500	68,462
	,000	68,452
	,500	68,449
	1,000	68,452
	1,500	68,462
	2,000	68,479

Nota.

a. La potencia correspondiente está seleccionada para análisis adicionales porque maximiza la función de log-verosimilitud.

b. Variable dependiente: costo total del producto, variable de origen: costo de materia prima

Fuente: elaboración propia

Tabla 40  
*Estadísticas del mejor modelo*

		Descripción del modelo
Variable dependiente		Costo total del producto
Variables independientes	1	Costo de asistencia técnica
	2	Costo de energía
	3	Costo de membranas
	4	Costo de materia prima
	5	Costo de productos químicos
	6	Costo de recambio de filtros
Ponderación	Origen	Costo de materia prima
	Valor de potencia	-2,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 41  
*Resumen del modelo*

	Valores
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error estándar de la estimación	,004
Valor de función de log-verosimilitud	68,530

Fuente: elaboración propia

Tabla 42  
*ANOVA*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	526,491	6	87,748	5173897,19	0,000
Residuo	0,000	5	0,000		
Total	526,491	11			

Fuente: elaboración propia

Tabla 43  
*Coefficientes*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta	Desv. Error		
(Constante)	0,273	0,058			4,677	0,005
Costo de asistencia técnica	1,211	0,015	0,259	0,003	78,606	0,000
Costo de energía	1,017	0,002	0,687	0,002	421,689	0,000
Costo de membranas	2,291	1,304	0,003	0,002	1,757	0,139
Costo de materia prima	0,994	0,004	0,147	0,001	226,176	0,000
Costo de productos químicos	1,124	0,056	0,035	0,002	20,007	0,000
Costo de recambio de filtros	1,756	0,196	0,016	0,002	8,948	0,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 44

*Variables excluidas*

	En beta	Correlación parcial	Tolerancia mínima	t	Sig.
Costo de mantenimiento	0,073	0,998	7,385E-5	32,255	0,000

Fuente: elaboración propia

En función de los cálculos realizados para este modelo, la expresión que define el modelo matemático, es la siguiente:

$$\text{Función costo} = 0.273 + 1,211\text{AT} + 1,017\text{E} + 2,291\text{RM} + 0,994\text{MP} + 1.124\text{PQ} + 1.756\text{RF}$$

Donde:

AT=Costo de asistencia técnica

E=Costo de energía

RM=Costo de reposición de membranas

MP=Costo de materia prima directa

PQ=Costo de productos químicos

RF=Costo de recambio de filtros

**c). Análisis de los cuadrados mínimos ponderados (recambio de filtros)**

Se estudió en un tercer caso el modelo de los mínimos cuadrados ponderados, eligiendo como variable ponderadora el costo de recambio de filtros, por ser la variable con menos peso en el costo total.

Tabla 45

*Valores de log-verosimilitud*

	VALORES DE LOG-VEROSIMILITUD <sup>b</sup>	
Potencia	-2,000	67,793
	-1,500	67,677
	-1,000	67,759
	-,500	68,033
	0,000	68,452
	,500	68,951
	1,000	69,469
	1,500	69,955
	2,000	70,379 <sup>a</sup>

Nota.

a. La potencia correspondiente está seleccionada para análisis adicionales porque maximiza la función de log-verosimilitud.

b. Variable dependiente: costo total del producto, variable de origen: costo de recambio de filtros

Fuente: elaboración propia

Tabla 46

*Estadísticas del mejor modelo*

		Descripción del modelo
Variable dependiente		Costo total del producto
Variables independientes	1	Costo de asistencia técnica
	2	Costo de anergia
	3	Costo de membranas
	4	Costo de materia prima
	5	Costo de productos químicos
	6	Costo de recambio de filtros
Ponderación	Origen	Costo de recambio de filtros
	Valor de potencia	2,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 47

*Resumen del modelo*

	Valores
R múltiple	1,000
R cuadrado	1,000
R cuadrado ajustado	1,000
Error estándar de la estimación	0,038
Valor de función de log-verosimilitud	70,379

Fuente: elaboración propia

Tabla 48

*ANOVA*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	18097,875	6	3016,312	2143536,916	0,000
Residuo	0,007	5	0,001		
Total	18097,882	11			

Fuente: elaboración propia

Tabla 49

*Coefficientes*

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta	Desv. Error		
(constante)	0,269	0,045			6,043	0,002
Costo de asistencia técnica	1,209	0,013	0,270	0,003	90,785	0,000
Costo de energía	1,018	0,002	0,618	0,001	431,443	0,000
Costo de membranas	2,575	0,992	0,006	0,002	2,595	0,049
Costo de materia prima	0,993	0,003	0,314	0,001	331,944	0,000
Costo de productos químicos	1,113	0,038	0,062	0,002	28,921	0,000
Costo de recambio de filtros	1,770	0,153	0,016	0,001	11,601	0,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 50

*Variables excluidas*

	En beta	Correlación parcial	Tolerancia mínima	t	Sig.
Costo de mantenimiento	0,069	0,997	8,184E-5	25,754	0,000

Fuente: elaboración propia

En función de los cálculos realizados para este modelo, la expresión que define el modelo matemático, es la siguiente:

**Función costo = 0.269 + 1,209AT + 1,018E + 2,575RM + 0,993MP + 1,113PQ + 1,770RF**

Donde:

AT=Costo de asistencia técnica

E=Costo de energía

RM=Costo de reposición de membranas

MP=Costo de materia prima directa

PQ=Costo de productos químicos

RF=Costo de recambio de filtros

**5.5 Representación gráfica de costos de operación y mantenimiento**

**• Costos de mantenimiento**

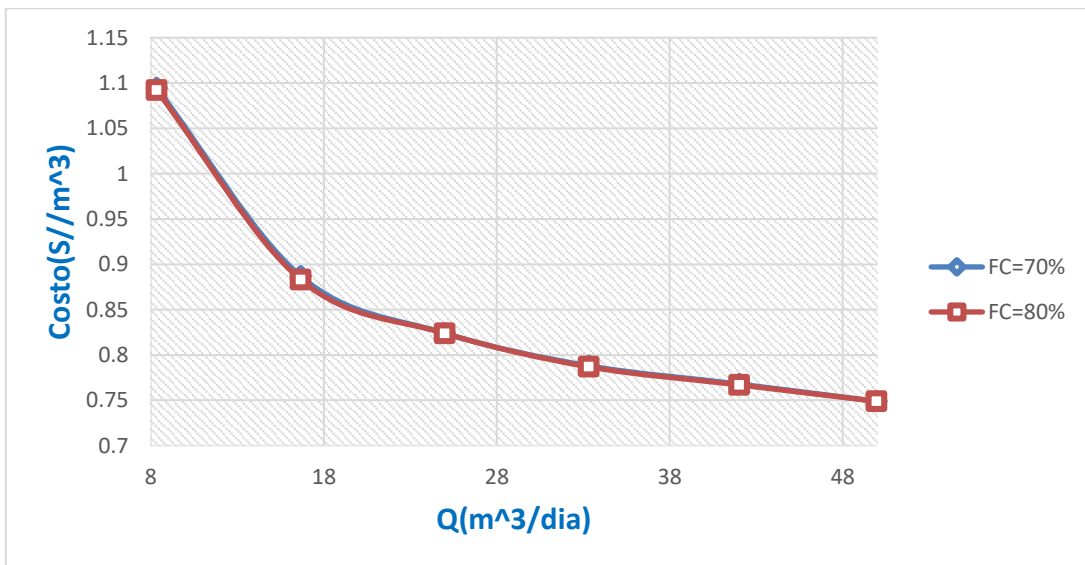


Figura 42. Resultados de costos de mantenimiento

Fuente: elaboración propia



En la figura 42, se observa que el costo presenta valores elevados a capacidades mínimas a conversiones de 70% y 80%, dichos valores comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día, presentando valores más bajos a mayor capacidad de producción.

- **Costo de asistencia técnica**

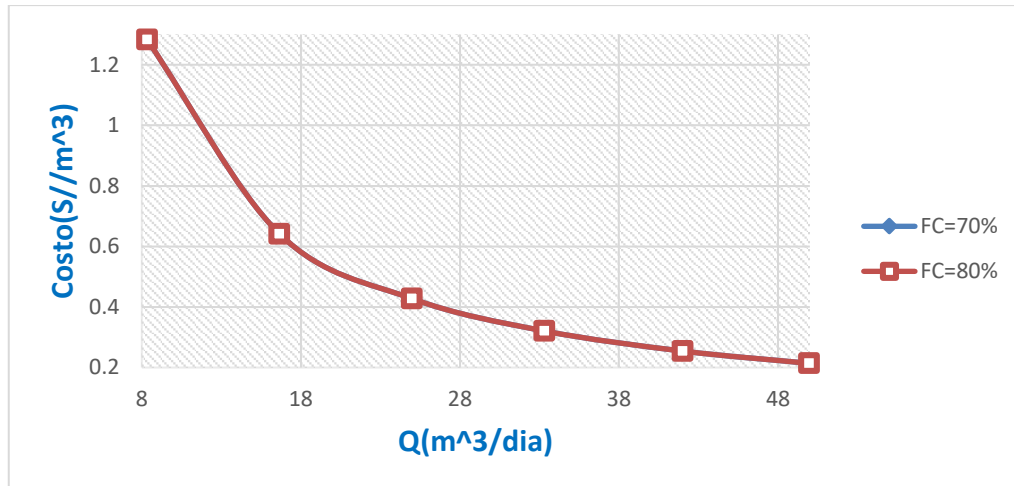


Figura 43. Resultados de costos de asistencia técnica

Fuente: elaboración propia

En la figura 43, se observa que el costo presenta valores elevados a capacidades mínimas a conversiones de 70% y 80% y no depende de la capacidad de producción, dichos valores comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día, presentando valores más bajos a mayor capacidad de producción, presenta un valor mínimo de 0.2139 S//m<sup>3</sup> para 49.962m<sup>3</sup>/día y un valor máximo de 1.2832 S//m<sup>3</sup> para 8.327 m<sup>3</sup>/día.

- **Costo de energía**

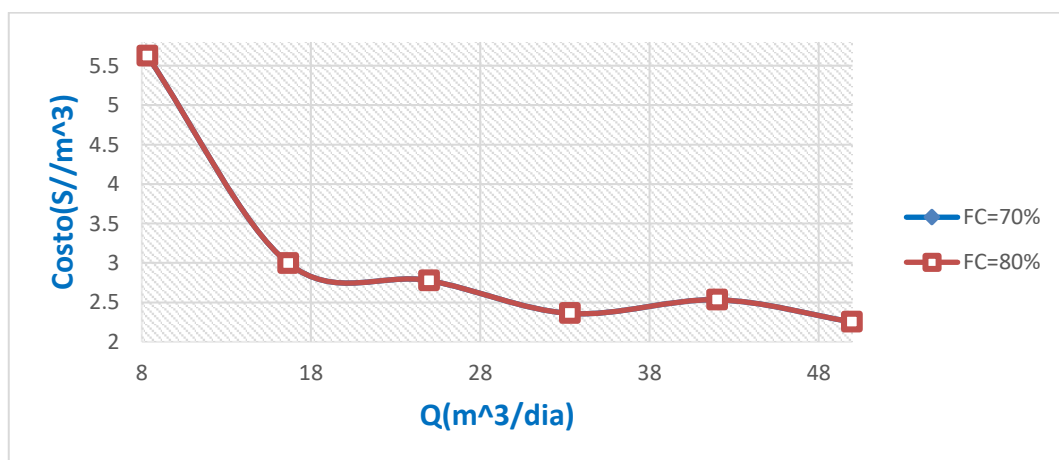


Figura 44. Resultados de costos de energía

Fuente: elaboración propia

En la figura 44, se observa que el costo de energía presenta valores elevados a menor capacidad de producción a conversiones de 70% y 80%, dichos valores comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día, presentando valores más bajos a mayor capacidad de producción.

- **Costo de reposición de membranas:**

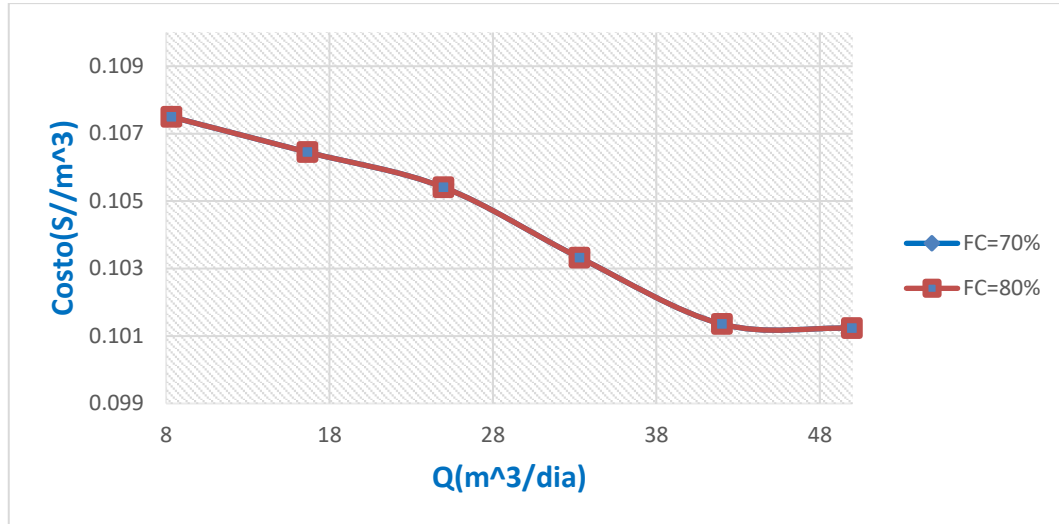


Figura 45. Resultados de costos de membranas.

Fuente: elaboración propia

En la figura 45, se observa que el costo de membranas presenta valores ligeramente variables a distintas capacidades a conversiones de 70% y 80%, presenta un valor mínimo de 0.1012 S./m<sup>3</sup> para 49.962m<sup>3</sup>/día y un valor máximo de 0.1075 S./m<sup>3</sup> para 8.327 m<sup>3</sup>/día siendo un rango muy pequeño de variación de costos.

- **Costo de materia prima directa**

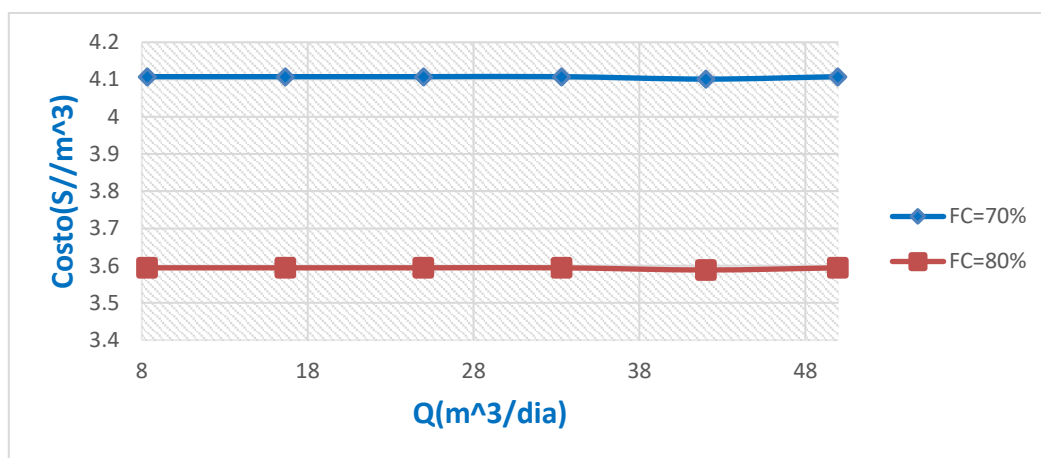


Figura 46. Resultados de materia prima directa

Fuente: elaboración propia

En la figura 46, se observa que los costos dependen únicamente de la conversión siendo el costo a conversión de 80% menor que a la conversión de 70% del proceso de osmosis.

- **Costo de productos químicos**

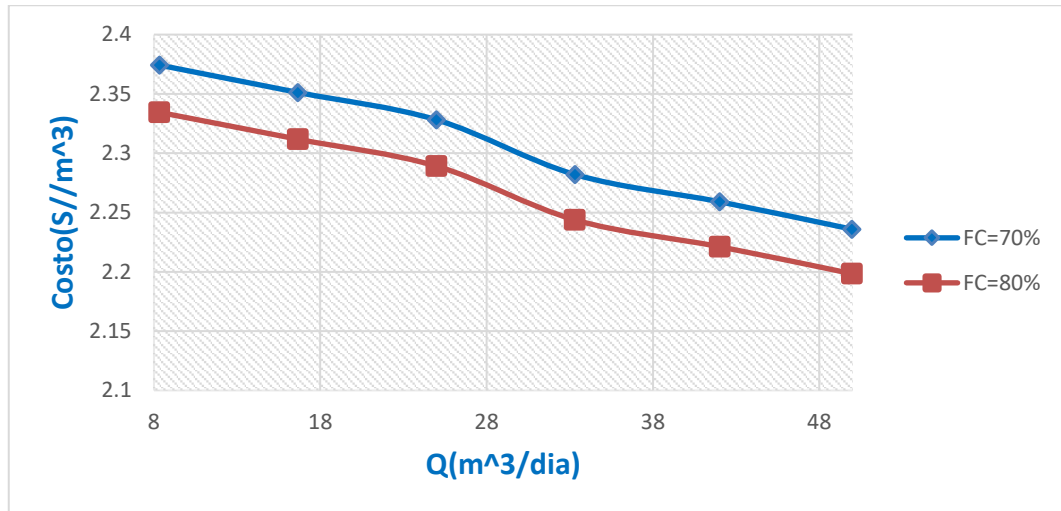


Figura 47. Resultados de productos químicos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 47, se observa que el costo de productos químicos presenta valores ligeramente variables a distintas capacidades y conversiones de 70% y 80%, presenta un valor mínimo de 2.1985 S//m³ para 49.962 m³/día y un valor máximo de 2.3743 S//m³ para 8.327 m³/día siendo un rango muy pequeño de costos en función a la capacidad de producción.

- **Costo de recambio de filtros**

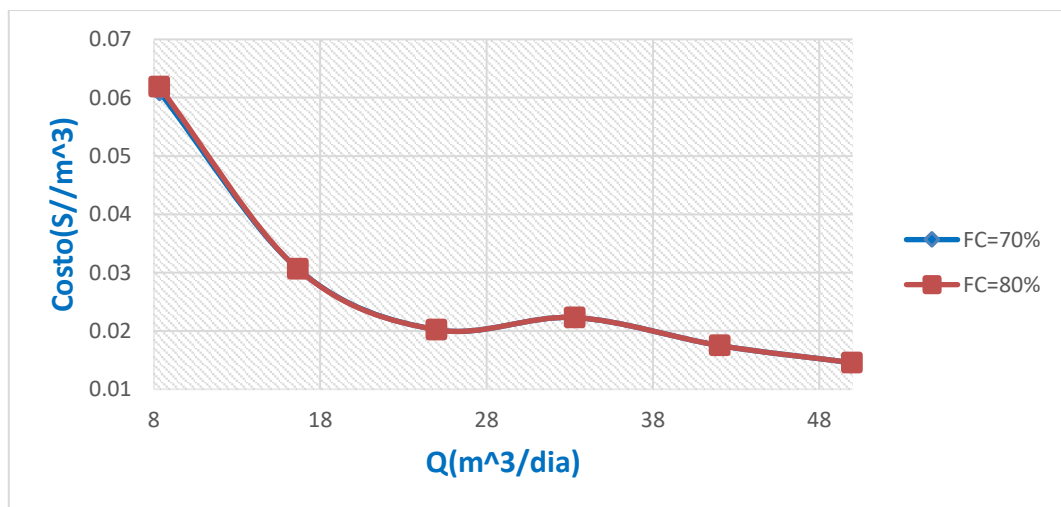


Figura 48. Resultados de costos de filtros cartucho

Fuente: elaboración propia

En la figura 48, se observa, que el costo de reposición de filtros presenta valores elevados a conversiones de 70% y 80% a capacidades mínimas y que dichos valores comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día, presentando valores más bajos a mayor capacidad de producción.

### Costos totales

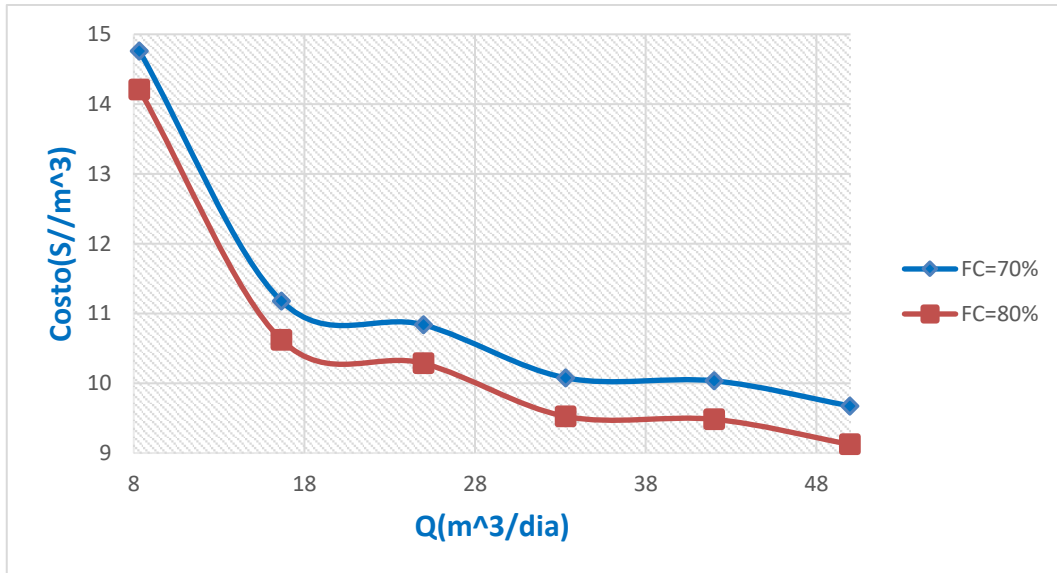


Figura 49. Resultados de costos totales

Fuente: elaboración propia

En la figura 49, se observa que a capacidad 8.327 m<sup>3</sup>/día presenta costos elevados para conversiones de 70% y 80%, a partir de 16,654 m<sup>3</sup>/día de capacidad de producción presenta valores de los costos más estables.

## VI.

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

##### 6.1.1 Caracterización de agua subterránea

En las tablas 8, 9, 10 y 11 se puede observar los resultados de la caracterización fisicoquímica y biológica del agua de fuente subterránea previstos en la hipótesis específica a) del apartado 3.1.2, cuyos valores son conductividad = 2610  $\mu\text{S/cm}$ , sólidos disueltos totales = 1756 mg/L, dureza total = 1470 mgCaCO<sub>3</sub>/L, pH = 6.89, sulfato = 1099,32 mg/L, coliformes termotolerantes = 2 NMP/100mL, turbiedad = 0.1NTU, índice de ensuciamiento (SDI)-15 min = 3, entre otros; con estos valores se logró demostrar la conjetura de la hipótesis mencionada.

El costo del pretratamiento del proceso de osmosis inversa depende de la calidad del agua a tratar es decir las características fisicoquímicas y biológicas del agua subterránea; el pretratamiento se diseñó para minimizar las posibilidades del ensuciamiento de las membranas por materia biológica, orgánica, inorgánica y partículas coloidales reduciendo la tasa del flujo del permeado y afectando la calidad de la misma.

En la presente tesis, el sistema de pre filtración se efectuó con filtros multimedia para poder retener sólidos suspendidos en el agua desde 10 -15 micrones a más y evitar el ingreso al ablandador, que pueden ser arenilla, óxidos, orgánicos y sedimentos. Debido a la elevada dureza se usó el proceso de ablandamiento de agua fuente para el intercambio iónico, ya que actualmente es el método más eficiente y económico para reducir la dureza del agua. Para atrapar partículas de mayores 5 $\mu$  se usó filtros cartuchos de 5 $\mu$ . Debido a la presencia de coliformes termotolerantes se usó un equipo de radiación ultravioleta. Visto que la dureza total residual después del proceso de ablandamiento es relativamente alta (dureza total  $\leq$  60 ppm) se usó un químico anti incrustante para controlar la precipitación de agentes incrustantes y reducir el ensuciamiento de membranas.

### **6.1.2 Caracterización de agua de alimentación de la caldera**

En tabla 12 se puede observar los resultados de la caracterización fisicoquímica del agua de alimentación para caldera previstos en la hipótesis específica b) del apartado 3.1.2, cuyos valores promedio son conductividad = 85.536  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH = 8.473, dureza total = 0  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$  y alcalinidad total = 18.523  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ; cuyos valores dependen directamente de la calidad del agua del permeado que se muestra en la tabla 11, con estos valores se logró demostrar la conjetura de la hipótesis mencionada.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica del agua de alimentación para caldera se contrastaron con las recomendaciones de ASME (tablas 1, 2 y 3) y recomendaciones de la Norma Británica BS-2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV (tabla 4) y los valores se encuentran dentro de los rangos permisibles.

La calidad de agua de alimentación que se requiere para caldera condicione el sistema de tratamiento por ósmosis inversa, es decir, la manera de cómo se dispuso y como va a ser la operación del sistema para minimizar los depósitos de minerales e impurezas en el interior de la caldera y los efectos de la corrosión, lo que se traducirá en reducción de costos de mantenimiento, menor consumo de energía y mayor vida útil de la misma.

En la presente tesis, se usó un equipo de osmosis inversa diseñado por la empresa GE Water & Process Technologies con membranas de alto rechazo (membranas General Electric Ag (material poliamida)). Para acondicionar el agua del permeado y alimentar a la caldera se instaló un sistema de pos tratamiento, es decir, un sistema de dosificación de inhibidor de corrosión e incrustación.

### **6.1.3 Costos definidos de operación y mantenimiento en el proceso**

En la tabla 15 se puede observar los resultados de los costos definidos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa previstos en la hipótesis específica c) del apartado 3.1.2; con cuyos valores se logró demostrar la conjetura de la hipótesis.

Para estimar los costos asociados al proceso se diseñó un esquema general de planta de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante

osmosis inversa (figura 4) para varias capacidades de producción enmarcado desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día, con factores de conversión de 70% y 80%, para cual realizo cálculos de dimensionamiento del proceso en base al balance de materia y energía.

Para estimar los costos de operación y mantenimiento, así como para los costos de inversión se utilizó técnicas de estimación paramétrica (en base a la capacidad de producción y datos de proyectos anteriores) y análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios en el Perú, no considerando otros costos de menor importancia relativa de los costos por ser el tratamiento de agua un subproceso dependiente de los procesos producción en la Empresa en mención.

#### **6.1.4 Análisis de la optimización de costos**

En el apartado 5.4 (análisis de los costos y modelamiento matemático) se procesó los costos definidos para las 12 combinaciones de investigación centrado en un rango de producción enmarcado desde los 8.33 m<sup>3</sup>/día hasta los 49.96 m<sup>3</sup>/día con factores de conversión de 70% y 80%, con las aplicaciones de Excel y IBM SPSS Statistics 25 se comprobó que el modelo univariante y el de mínimos cuadrados ponderados son adecuados para describir el comportamiento de los costos; según la tabla 35 los valores más exactos corresponden al modelo matemático basado univariante.

En función del apartado 5.4.4 que corresponde a la obtención del modelo matemático se observa que el modelo matemático univariante tiene una variable dependiente (costo total) y 7 variables independientes (costo de: mantenimiento, asistencia técnica, energía, reposición de membranas, productos químicos, materia prima directa y reposición de filtros cartucho). En el caso de los mínimos cuadrados ponderados, la variable ponderadora podría ser el costo de materia prima como variable de mayor peso o el costo de reposición de filtros de cartuchos como variable de menor peso, siendo la variable dependiente (costo total) y 6 variables independientes (costo de: asistencia técnica, energía, reposición de membranas, productos químicos, materia prima directa y reposición de filtros cartucho).

En base a los estadísticos descriptivos se observa que la mayoría de los factores responden inicialmente a una distribución normal. Realizadas por tanto las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk podemos confirmar la distribución normal.

Para todos los costos podemos observar que no existen valores perdidos, que los estadísticos descriptivos habituales y los robustos que corresponden a los estimadores M (Huber, Tukey, Hampel y Andrews) son muy similares y los valores extremos no son exagerados, lo que nos lleva a no prever la existencia de valores atípicos.

A continuación, se muestra el análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los costos de operación y mantenimiento implicados en la optimización de costos tanto para una conversión del 70 % como para el 80%.

- **Costos de mantenimiento:** son costos para preservar o resguardar la fiabilidad y disponibilidad del sistema y los componentes de la planta que implica principalmente cambio de lecho filtrante del filtro multimedia, limpieza y cambio de resinas del ablandador, mantenimiento de tuberías de la planta y cambio de accesorios. Se consideró un 10% de los costos equipos y dispositivos auxiliares. Los costos varían con la capacidad de producción presentando valores elevados a 8.327 m<sup>3</sup>/día a conversiones de 70% y 80% y comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día.
- **Costo de asistencia técnica:** son costos de asesoría y monitoreo de una empresa externa especializada en servicios de tratamiento de agua, incluyendo monitoreo, asesorías, operación y mantenimiento si es necesario, realizando visitas programadas, se consideró dos visitas por mes cobrando S/.162.5 por visita. Se realizó análisis de oferta y la tendencia actual de contratar empresas externas para reducir considerablemente los gastos de personal exclusivo y permanente en planta. Los costos varían con la capacidad de producción presentando valores elevados a 8.327 m<sup>3</sup>/día a conversiones de 70% y 80% y comienzan a estabilizarse a partir de una zona que ronda los 16,654 m<sup>3</sup>/día
- **Costo de energía:** implica los costos principalmente por la operación de los siguientes equipos: bomba del filtro MM, equipo filtro MM, bomba del



ablandador, equipo ablandador, bomba de alimentación, equipo de desinfección con ultravioleta, bombas dosificadoras y bomba de alta presión. Los costos varían con la capacidad de producción presentando valores estables a partir de 16,654 m<sup>3</sup>/día

- **Costo de reposición de membranas:** son costos de recambio de membranas, se consideró una frecuencia de cambios del 20% anual, en la memoria de cálculo se realizó un primer análisis y se calculó el costo inicial de la reposición de membranas, era lógico pensar que en función de la cantidad de membranas que se consume, su costo unitario podría variar, tanto en aumento como en disminución. Esto quiere decir, que, para realizar una gestión de compras eficiente, y consultando con el proveedor se ha aplicado una variación de  $\pm 3\%$  del precio medio unitario comprando entre 1 a 6 membranas. Los costos varían ligeramente con la capacidad de producción a conversiones de 70% y 80%.
- **Costo de materia prima directa:** son costos por el consumo de agua subterránea ya que SEDAPAL impuso el tarifario por el servicio de monitoreo y gestión de aguas subterráneas que brinda, con la finalidad de mantener las condiciones de equilibrio en los acuíferos Chillón – Rimac - Lurín, respecto a la categoría industrial es la siguiente:  
En la memoria de cálculo se realizó los cálculos de consumo de agua considerando la pérdida en el proceso de regeneración del ablandador y retro lavado del filtro multimedia, aparte de la pérdida por rendimiento del equipo de RO. Por ser la tarifa fija los costos dependen únicamente de la conversión siendo el costo a conversión de 80% menor que a la conversión de 70% del proceso de osmosis.
- **Costo de productos químicos:** implica costos de anti incrustante de OR, inhibidor de corrosión, inhibidor de incrustación, sal industrial y limpieza química, en la memoria de cálculos se realizó el primer análisis, sin embargo, era lógico pensar que en función de la cantidad de productos que se consume dependiendo de la capacidad de producción, su costo unitario podría variar, tanto en aumento como en disminución. Esto quiere decir, que, para realizar

una gestión de compras eficiente, consultando con el proveedor se ha aplicado una variación de  $\pm 3\%$  del precio medio unitario.

Los costos varían con la capacidad de producción presentando valores estables a partir de 16,654 m<sup>3</sup>/día a conversiones de 70% y 80%.

- **Costo de recambio de filtros:** se refiere a los costos por recambio de filtros de 5 $\mu$  y se realiza con una frecuencia de 2 o 3 veces anual dependiendo al flujo de agua, en la memoria de cálculo se realizó un primer análisis y se calculó el costo inicial de reposición de filtros, era lógico pensar que en función de la cantidad de filtros que se consume, su costo unitario podría variar, tanto en aumento como en disminución. Esto quiere decir, que, para realizar una gestión de compras eficiente, y consultando con el proveedor se ha aplicado una variación de  $\pm 3\%$  del precio medio unitario. Los costos varían con la capacidad de producción presentando valores estables a partir de 16,654 m<sup>3</sup>/día a conversiones de 70% y 80%.
- **Costos totales:** es la suma de todos los costos de operación y mantenimiento, en base a los resultados, se ha observado que cuanto mayor sea el factor de conversión y la capacidad de producción, menor es el costo total, presentando valores estables a partir de 16,654 m<sup>3</sup>/día a conversiones de 70% y 80%.

Considerando el inicio de la estabilidad de los costos, análisis y procesamiento de datos se logró demostrar una línea de producción óptima de 16,654 m<sup>3</sup>/día con costos óptimos de agua para caldera de 10.564 S//m<sup>3</sup> y 11.121 S//m<sup>3</sup> al 80% y 70% de factor de conversión respectivamente. Por dispersión de datos lo correspondiente a la producción de 8.327 m<sup>3</sup>/día no es adecuado para el estudio. Con cuyos valores y el modelo matemático propuesto se logró demostrar la conjetura de la hipótesis general.

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Debido a que variación de los costos en plantas de osmosis inversa, existen pocos estudios para poder realizar una contrastación significativa, sin embargo, como antecedente se tomó en cuenta un trabajo de investigación con metodología similar donde Feo, J. J. (2013), en su tesis doctoral de optimización de costes en líneas de producción para plantas desalinizadoras de agua de mar

mediante osmosis inversa en las islas canarias, concluye que los modelos matemáticos que se adecuan a su estudio son modelo univariante y modelo de mínimos cuadrados ponderados siendo este último lo más exacto posible, con lo cual podemos afirmar que esta tesis tiene resultados metodológicos similares.

### **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El autor del presente informe, declara que reconoce los reglamentos y procedimientos vigentes establecidos por la Universidad Nacional del Callao y se responsabiliza por la información emitida en el presente informe de tesis: Optimización de costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., para optar el título profesional de Ingeniero Químico, lo cual, se desarrolló en cumplimiento de los aspectos metodológicos, éticos, administrativos, legales y de propiedad intelectual de los proyectos de investigación, de conformidad con los reglamentos internos de la Universidad y con las disposiciones normativas pertinentes, sometiéndose a ser sancionado si actúo en contra de lo establecido.

## VII.

### CONCLUSIONES

- a) La optimización de los costos en el proceso se logró caracterizando el agua de fuente subterránea y alimentación para caldera, diseñando un proceso de tratamiento de aguas y definiendo los costos de operación y mantenimiento en un rango de producción desde 8,32 m<sup>3</sup>/día hasta 49,96 m<sup>3</sup>/día con factores de conversión de 70% y 80%; realizando un análisis estadístico y modelamiento matemático se obtuvo una línea de producción óptima de 16,654 m<sup>3</sup>/día con costos óptimos de agua para caldera de 10.564 S//m<sup>3</sup> y 11.121 S//m<sup>3</sup> al 80% y 70% de factor de conversión respectivamente.
- b) Las características determinadas del agua de fuente subterránea son conductividad = 2610  $\mu$ S/cm, sólidos disueltos totales = 1756 mg/L, dureza total = 1470 mgCaCO<sub>3</sub>/L, pH = 6.89, sulfato = 1099,32 mg/L, coliformes termotolerantes = 2 NMP/100mL, turbiedad = 0.1 NTU, índice de ensuciamiento (SDI)-15 min = 3, entre otros (tablas 8, 9, 10 y 11). Estos valores son determinantes para el diseño del sistema de tratamiento de agua y en consecuencia del costo de producción.
- c) Las características definidas del agua de alimentación para caldera (ver tabla 13) son conductividad = 85.536  $\mu$ S/cm, pH = 8.473, dureza total = 0 mgCaCO<sub>3</sub>/L y alcalinidad total = 18.523 mgCaCO<sub>3</sub>/L, cuyos valores dependen de la calidad del agua del permeado (tabla 12) y la dosificación de productos químicos. Estos valores son determinantes para el diseño del sistema de acondicionamiento de agua y en consecuencia del costo de producción.
- d) Los costos operación y mantenimiento definidos en el proceso son: mantenimiento, asistencia técnica, energía, reposición de membranas, productos químicos, materia prima directa y reposición de filtros cartucho; cuyos valores dependen de la capacidad producción y factores de conversión (tabla 15).

## VIII.

### RECOMENDACIONES

- a) Considerar que cada instalación de RO es única y varían de acuerdo a los requerimientos. El proceso se diseña considerando el agua fuente y producto requerido, donde el sistema de pretratamiento debe prevenir el ensuciamiento de las membranas y el postratamiento debe acondicionar el agua del permeado.
- b) El costo de asistencia técnica es una alternativa para evitar costos en personal permanente especialista en tratamiento de aguas; sin embargo, a mayores a mayores capacidades de producción tendría que evaluarse contar con personal permanente en planta.
- c) El costo de productos químicos depende del sistema de pretratamiento adoptado y es fundamental evaluar para prolongar la vida útil de las membranas. Los costos de productos químicos para el pos tratamiento o para alimentar a la caldera dependerá de la calidad de vapor requerido y si es para uso de vapor directo se recomienda no usar productos volátiles dañinos para la salud y medio ambiente.
- d) Como consecuencia de los resultados de la tesis, en la capacidad de producción de 16,654 m<sup>3</sup>/día se localiza el inicio de la estabilización de los costos, lo que nos podría indicar, que se debe abrir una línea de investigación para producciones menores de 16,654 m<sup>3</sup>/día para obtener los resultados de costos correspondientes.

## X.

### REFERENCIAS BIBLIOFIGURAS

- ANA (2010). *Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac: Estudio Hidrológico de la red de estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac* (Volumen I). Lima.
- Cánovas, J., 2012. *Report on water desalination status in the mediterranean countries*. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, Murcia, Spain.
- Berkeley-Pentair. (2019). *Pentair Berkeley MGP/MGPS High-Pressure Booster Series*. Recuperado de: [http://www.berkeleypumps.com/Spanish/ResidentialProduct\\_Series\\_MG\\_P\\_MGPS.aspx](http://www.berkeleypumps.com/Spanish/ResidentialProduct_Series_MG_P_MGPS.aspx)
- Cusme, G. A. & Valencia, G. R. (2014). *Mejoramiento del sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química, de la facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, de la universidad técnica de Manabí* (tesis para optar el grado de Ingeniero químico). Universidad Técnica de Manabí, Manabí.
- D'Souza N. M. & Mawson A. J. (2005). *Membrane cleaning in the dairy industry: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutritio*. Massachusetts, USA.
- Fariñas, M. (1999). *Osmosis inversa, fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Madrid, España: Editorial Mc Graw Hill.
- Fariñas, M. (2003). *Desalinización de aguas marinas y salobres. Curso Experto universitario en diseño y cálculo de infraestructuras hidráulicas municipales*. Universidad Internacional de Andalucía ,Sevilla, España..
- Feo J. J. (2013). *Optimización de costes en líneas de producción para plantas desalinizadoras de agua de mar mediante osmosis inversa en las islas canarias* (tesis doctoral). Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería de Procesos, España.
- García, C. F. (2002). *Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltracion en el acondicionamiento de aguas para calderas* (tesis doctoral). Universidad

de Oviedo, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Medio Ambiente, España.

GE Water & Process Technologies. 2019. *Reverse Osmosis Membranes for Water Treatment*. Recuperado de:

<https://www.suezwatertechnologies.com/products/reverse-osmosis>

Gutiérrez, S. (2011). *Desalación de aguas de mar mediante ósmosis inversa. estudio de los mecanismos de ensuciamiento y limpieza de las membranas* (tesis doctoral). Universidad de Cadiz, Facultad de ciencias del mar y ambientales, departamento de tecnologías del medio ambiente, Cádiz, España.

Koros, W. J., Ma, H., y Shimidzu T. (1996). Terminology for membranes and membrane processes IUPAC. *Recommendation. Journal of Membrane Science* (vol. 1).

Melián, N. (2015). *Caracterización y evaluación del ensuciamiento en membranas de ósmosis inversa con combinación de agentes ensuciantes* (tesis doctoral). Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería de Procesos. España

Merinsac: Mercantil Interamericana S.A.C (2019). *Equipos industriales*. Recuperado de: <http://www.merinsa.com/productos/4-equipos-industriales>

Ministerio de Agricultura del Perú (2004). *Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle del río chillón*. Administración técnica del distrito de riego Chillón-Rímac, Instituto nacional de recursos naturales, Intendencia de recursos hídricos. Lima

Ministerio de Agricultura del Perú (2011). *Evaluación de las aguas subterráneas del acuífero Asia-Lomas*. Autoridad nacional del agua, Dirección de conservación y planeamiento de recursos hídricos. Lima.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (sexta edición). México: Pearson educación.

Mulder, M. (1996). *Basic principles of membrane technology*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Nogués, J. (1926). *Elementos de máquinas y calderas* (2 edición). Bilbao: Casa Dochao
- Oelker, A. (2011). *Tratamiento de agua para calderas*. Thermal Engineering LTDA, Santiago, Chile.
- Ortiz, D., & Tavera, C. (2006). *Desarrollo de un Sistema de Control Avanzado de la Presión del Vapor en una Caldera de Tubos de Fuego*. Lima. (Tesis presentada para optar el grado de ingeniero químico petrolero). Instituto Politécnico Nacional. México.
- N. Peña, S. Gallego, F. del Vigo & S.P. Chesters (2013) Evaluating impact of fouling on reverse osmosis membranes performance, *Desalination and Water Treatment*, 51:4-6, 958-968, DOI: 10.1080/19443994.2012.699509
- Pedrollo Perú (2019). *Electrobombas centrifugas*. Recuperado de: <http://www.pedrolloperu.com/electrobombas/centrifugas/electrobomba-centrifuga-hf-medio-caudalO>
- Perry, R. & Chilton, C. (1973). *Chemical Engineer's Handbook*. New York: Mc Graw-Hill Book.
- Rodríguez, J. R. (2006). *Desarrollo de un Sistema de Control Avanzado de la Presión del Vapor en una Caldera de Tubos de Fuego* (Tesis para optar el grado de Magíster). Pontificia Universidad Católica de Perú, Ingeniería de Control y Automatización. Lima.
- SODIMAC (2019). *Tanques, fosas y cisternas*. Recuperado de: <http://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/category/cat10422/Tanques,-fosas-y-cisternas>
- Strathman, H. (1999). *Economic evaluation of membrane technology*. Aiche Journal. Volumen 40.
- WELLMATE (2019). *Tanques hidroneumáticos*. Recuperado de: <http://www.atb.com.mx/img/pdf/tanques-hidroneumaticos-wellmate.pdf>
- WWF Perú (2014). *Un frágil ciclo Agua, energía y población en Lima*. Lima



## X. ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

**Título:** Optimización de costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.?	Optimizar los costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.	Si determinamos las características del agua de fuente subterránea y del agua de alimentación para caldera, podremos definir los costos de operación y mantenimiento en el proceso de acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa; con ello se espera optimizar los costos en un rango de producción enmarcado desde 8,32 m <sup>3</sup> /día hasta 49,96 m <sup>3</sup> /día con factores de conversión de 70% y 80%, obteniendo una línea de producción y costo total óptimo.	Y= Optimización de costos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C.	-Capacidad de producción -Costos de producción	-Capacidad de producción óptima. -Costos óptimos del m <sup>3</sup> de agua para caldera.	-Análisis de costos -Modelamiento matemático con el programa
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea?	a) Determinar las características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea.	Al determinar las características del agua de fuente subterránea se espera conocer la composición fisicoquímica (conductividad, STD, pH, dureza, sulfatos y turbidez) y biológica (coliformes termotolerantes).	X1= Características fisicoquímicas y biológicas del agua de fuente subterránea	- Fisicoquímicas - Biológicas	-Conductividad -STD -pH -Dureza -Sulfatos -Turbidez -Coliformes termotolerantes	-Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22 nd Ed. 2012) -Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS ISO 17294-2: 2016 Water quality)
a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de alimentación para caldera?	a) Determinar las características fisicoquímicas del agua de alimentación para caldera.	Al determinar las características del agua de alimentación para caldera se espera conocer la composición fisicoquímica (conductividad, pH, dureza y alcalinidad).	X2= Características fisicoquímicas del agua de alimentación de la caldera.	- Fisicoquímicas	-Conductividad -pH -Dureza -Alcalinidad	- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22 nd Ed. 2012) -Revisión de publicaciones de ASME y BS -2486 ABMA-TÜV
b) ¿Cuáles son los costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa?	b) Definir los costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa.	Los costos de operación y mantenimiento definidos en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa en el Complejo Industrial Skavos S.A.C., serán costos de: mantenimiento, asistencia técnica, energía, reposición de membranas, productos químicos, materia prima directa y reposición de filtros cartucho.	X3= Costos de operación y mantenimiento en el acondicionamiento de agua subterránea para caldera mediante osmosis inversa.	-Costos de operación y mantenimiento	-Mantenimiento -Asistencia técnica -Energía -Reposición de membranas -Productos químicos -Materia prima directa -Reposición de filtros	-Revisión de publicaciones - Diseño del proceso de tratamiento de agua -Dimensionamiento del proceso -Estimación paramétrica de costos -Análisis de ofertas de proveedores de productos y servicios

**RELACIÓN DE VARIABLES:**  $Y = f(X1, X2, X3)$

## **Anexo 2. Memoria de cálculos**

### **MEMORIA DE CÁLCULOS**

#### **1. Consideraciones de cálculos de dimensionamiento de equipos y dispositivos auxiliares**

En este apartado se realizó las consideraciones básicas para realizar cálculos de dimensionamiento de equipos y dispositivos auxiliares para cada combinación de investigación definida.

##### **1.1 Dimensionamiento de tanques de almacenamiento de agua**

En esta tesis se adoptó 15 minutos de abastecimiento o capacidad media para una autonomía de la planta o abastecimiento al proceso inmediato; en base a esto y caudal requerido se calcula el volumen del tanque necesario para cada combinación de investigación definida.

##### **1.2 Dimensionamiento del sistema hidroneumático**

En esta tesis como se observa en el esquema general de planta (figura 4), se usa sistemas hidroneumáticos para el equipo filtro multimedia, equipo ablandador y para la alimentación del equipo de osmosis inversa. Un sistema hidroneumático está constituido por los siguientes componentes:

- Electrobomba
- Tanque hidroneumático
- Válvula de retención instalada antes de la succión de la bomba
- Manómetro
- Control de presión (presostato)
- Tablero de potencia y control de motores (aplica cuando se tiene 2 o más bombas)

El sistema hidroneumático se basa en el principio de compresibilidad, lo que quiere decir es que el agua está sometida a presión para entregar el agua según un rango de presión seleccionada. El sistema garantiza que la bomba de agua no corra sin parar, no empieza de nuevo cada vez que el sistema de distribución haga una pedida menor de agua y reducir al mínimo los golpes de ariete.

### 1.2.1 Consideraciones para dimensionamiento de la electrobomba

La ecuación general de la energía es como una extensión de la ecuación de Bernoulli, lo que posibilita resolver problemas en los que hay pérdida y ganancia de energía. Los términos  $E_1$  y  $E_2$  denotan la energía que posee el fluido por unidad de peso en las secciones 1 y 2, respectivamente. Se muestran las energías agregadas ( $h_A$ ), removidas ( $h_R$ ) y pérdidas ( $h_L$ ). Para un sistema tal, la expresión del principio de conservación de la energía es:

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \dots\dots\dots EC. 1$$

La energía que posee el fluido por unidad de peso es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots EC. 2$$

Dónde:

$\frac{P}{\gamma}$  = Carga de presión del sistema

Z = Carga de elevación del nivel de fluido

$\frac{v^2}{2g}$  = Carga de velocidad de flujo

$h_A$  = Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico como puede ser una bomba.

$h_R$  = Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico, podría ser un motor del fluido.

$h_L$  = Pérdida de energía por parte del sistema, debida a la fricción en los conductos, o pérdidas menores debida a la presencia de válvulas y conectores.

#### a) Número de Reynolds

$$N_R = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\eta} = \frac{V \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots EC. 3$$

Dónde:

V = Velocidad promedio del fluido.

D = Diámetro de la tubería donde circula el flujo

$\rho$  = Densidad del fluido.

$\eta$  = Viscosidad dinámica del fluido.

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido.

**b) Ecuación de Darcy**

Para el caso de flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots \text{EC. 4}$$

Dónde:

$h_L$  = Pérdida de energía debido a la fricción (N-m/N, m, lb-pie/lb o pies).

L = longitud de la corriente del flujo (m o pies).

D = diámetro de la tubería (m o pies).

v = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s).

f = factor de fricción (adimensional).

**c) Ecuaciones para el factor de fricción**

Régimen	Coefficiente de fricción	Dependencia	
Laminar	$f = \frac{64}{Re}$	$f = F(Re)$	EC. 5
Turbulento liso	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$	$f = F(Re)$	EC. 6
Turbulento intermedio	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \cdot \log\left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon_r^{1.11}}{3.7}\right)\right)$	$f = F(Re, \epsilon)$	EC. 6
Turbulento rugoso	$f = \frac{0.25}{\left[\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$	$f = F(Re, \epsilon)$	EC. 7

Dónde:

D = Diámetro de la sección transversal de circulación del flujo

NR = Número de Reynolds

$\epsilon$  = Rugosidad del material

D/ $\epsilon$  = Rugosidad relativa del material

**d) Coeficiente de resistencia**

Por lo general los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots\dots\dots \text{EC. 8}$$

Dónde:

$h_L$  = Pérdida menor en el accesorio, expansiones o contracciones de tubería y válvulas.

K = Coeficiente de resistencia.

$\frac{v^2}{2g}$  = Carga de velocidad, pero hay que tener en cuenta que v es la velocidad promedio del flujo en el tubo en la vecindad donde ocurre la pérdida menor.

**e) Potencia de la bomba agregada al fluido**

La potencia se define como la rapidez a que se realiza un trabajo. En la mecánica de fluidos se modifica dicho enunciado y se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere la energía. La potencia agregada al fluido se calcula de la siguiente manera

$$P_A = h_A \cdot W \dots\dots\dots EC. 9$$

Como  $W = \gamma Q$ , también se escribe

$$W = h_A \cdot \gamma \cdot Q \dots\dots\dots EC. 10$$

Dónde:

$P_A$  = Potencia que se agrega al fluido.

$\gamma$  = Peso específico del fluido que circula a través de la bomba.

Q = Flujo volumétrico del fluido.

**f) Eficiencia mecánica de las bombas**

La eficiencia se define como el cociente entre la potencia entregada por la bomba al fluido y la potencia que recibe la bomba. No toda la potencia que recibe la bomba es entregada al fluido. Una buena parte de ella se pierde debido a la fricción. Por ello es necesario calcular la eficiencia mecánica de la bomba:

$$e_m = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I} \dots\dots\dots EC. 11$$

**g) Cálculo del NPSH (Disponible) del sistema de bombeo**

$$NPSH_{DISP} = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \dots\dots\dots EC. 12$$

Donde:

$h_{sp}$  = Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento, se expresa en metros o en pies de líquido;  $h_{sp} = P_{sp}/\gamma$

$h_s$  = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros o en pie

- Si la bomba está abajo del depósito,  $h_s$  es positiva.

- Si la bomba está arriba del depósito,  $h_s$  es negativa.

$h_f$  = Pérdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores; se expresa en metros o en pies.

$h_{vp}$  = Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo; se expresa en metros o en pies de líquido;  $h_{vp} = P_{vp} / \gamma$

#### **h) Elección de las electrobombas.**

Las dimensiones reales se hicieron en base a la información comercial proporcionada por las Empresas (Curvas características y datos de prestaciones), para lo cual se realizó cálculos para obtener el caudal de bombeo  $Q(m^3/h)$  y carga total o altura manométrica total  $h_A(m)$ , con estos datos se eligió la bomba.

#### **1.2.2 Consideraciones para el dimensionamiento del tanque hidroneumático**

El dimensionamiento del tanque a presión, se efectuó tomando como parámetros de cálculo el caudal de bombeo, la potencia de la bomba en (KW) y las presiones de operación.

En esta tesis para el dimensionamiento o calcular el volumen del tanque se realizó en base a la información proporcionada por la Empresa de marca WELLMATE, para lo cual requiere saber además de la potencia de la bomba y caudal de bombeo, la presión máxima y mínima del sistema; es decir se debe saber tres factores:

- El ritmo de alimentación de la bomba en litros por minuto (LPM)).
- El tiempo de ejecución mínimo recomendado de la bomba.
- Los parámetros mínimos (corte) y máximo (desconexión) de presión del sistema.

#### **1.3 Consideraciones para el dimensionamiento del equipo de filtro multimedia**

En la presente tesis se usó los filtros multimedia automáticos diseñados por la compañía americana GE Water & Process Technologies, la información y ficha técnica se obtuvo a través de la información comercial de la Empresa Merinsac: Mercantil Interamericana. El filtro multimedia elegido está diseñado para atrapar partículas que pueden ser arenilla, óxidos, orgánicos y sedimentos en general desde 10 -15 micrones a más.

Las dimensiones reales se hicieron en base a la información proporcionada por la ficha técnica del equipo donde la velocidad de filtración es 5 - 17gpm/ft sección y velocidad de retrolavado 15 -20 gpm/ft<sup>3</sup> sección. El control de filtración es totalmente automático con válvula GE y con controlador digital LOGIX, con controlador de programación sencilla y pantalla LCD de fácil lectura, indica la hora y el estado de operación

#### **1.4 Consideraciones para el dimensionamiento del equipo de ablandador**

En esta tesis se usó los ablandadores automáticos diseñados por la compañía americana GE Water & Process Technologies, la información técnica se obtuvo a través de las publicaciones de la empresa Merinsac: Mercantil Interamericana. Los datos de diseño del ablandador usado son:

- **Flujo de servicio:** 2-5 gpm/ft<sup>3</sup> resina (basada en datos de fabricante de resina)
- **Flujo de retrolavado:** 5 gpm/ft<sup>3</sup> resina (basada en datos de fabricante de resina)
- **Consumo de sal por regeneración:** 15lb /ft<sup>3</sup> resina (calculado para nivel alto de sal)
- **Temperatura ambiente:** 4 - 48.9°C
- **Temperatura de operación:** 4 - 48.9°C
- **Presión de operación:** 25 - 50 psi

Se considera también que el sistema es Simplex (un solo tanque), es decir que cuando está regenerando, el equipo estará fuera de servicio hasta que termine el proceso de regeneración; el control de regeneración es totalmente automático con válvula GE y con controlador digital LOGIX, con controlador de programación sencilla y pantalla LCD de fácil lectura, indica la hora y el estado de operación. En la presente investigación el agua de alimentación ingresa con 1470 ppm de dureza total y con el equipo ablandador se logra remover hasta  $\leq 60$  ppm de dureza total con flujo de servicio 5 gpm/ft<sup>3</sup> resina y flujo de retrolavado de 5 gpm/ft<sup>3</sup> resina.

## 1.5 Consideraciones para el dimensionamiento del equipo de osmosis inversa

El equipo de osmosis inversa que se usó en la presente fue diseñado por la empresa GE Water & Process Technologies. El dimensionamiento para las combinaciones de investigación elegida se hizo en función a la hoja técnica proporcionado por la empresa y las especificaciones se muestra a continuación.

Tabla 1

### *Especificaciones del RO-HR*

ESPECIFICACIONES DEL RO-HR							
MODELO		RO-2200	RO-4400	RO-6600	RO-8800	RO-11100	RO-13200
<b>ESPECIFICACIONES DEL FLUJO</b>							
Rango de recuperación	de	50-75%	50-75%	50-75%	50-75%	50-75%	50-75%
Producción de permeado(GPM) a 25°C	de a	1.5	3	4.5	6	7.5	9
Concentrado (GPM)		0.5-1.5	1-3	1.5-4.5	2-6	2.5-7.5	3.0-9.0
<b>MEMBRNA GENERAL ELECTRIC</b>							
cantidad		1	2	3	4	5	6
Arreglo		1	1-1	1-1-1	1-1-1-1	2-1-1-1	2-2-1-1
<b>CONEXIONES</b>							
Ingreso(in)		0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0
Permeado(in)		0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75
Concentrado (in)		0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75
<b>DIMENSIONES Y PESO</b>							
Dimensiones LxWxH (mt)		0.85x0.75x1.7	0.85x0.75x1.7	0.85x0.75x1.7	0.85x0.75x1.7	1.05x0.75x1.7	1.05x0.75x1.7
Peso (Kg)		90	95	100	105	110	115

Fuete: GE Water & Process Technologies (2019).

En la tabla 1, se muestra las especificaciones técnicas de los modelos de equipos de osmosis inversa, los cuales se usaron en esta tesis considerando las capacidades de producción por día de operación (2200 GPD, 4400GPD, 6600GPD, 8800GPD, 11100GPD y 13200GPD).

## 1.6 Consideraciones de dispositivos auxiliares

### 1.6.1 Bombas dosificadoras automáticas

En esta tesis se usos la bomba dosificadora, DDA 7.5-16 FCM-PVC/V/C-F-311001FG de la marca Grundfos, modelo: 97722438, este dispositivo diseñada para inyectar disoluciones químicas, en el que se requiere un control preciso de



inyección para el proceso y costo del químico. La bomba dosificadora permite el ajuste del caudal, garantiza la reproducibilidad, la repetitividad y la precisión del volumen desplazado.

### 1.6.2 Equipo de desinfección con rayos ultravioleta

En esta tesis se uso los esterilizadores UV de marca Sterilight, dispositivo que gracias a los rayos ultravioleta UV alteran el ADN de los microorganismos (virus, bacterias, protozoos, etc.) presentes en el agua, eliminándolos o inactivándolos genéticamente, para impedir su reproducción. El UV no genera subproductos, no altera el sabor, olor, color y pH del agua.

Los rayos UV penetra las estructuras de los microorganismos y destruye su capacidad de reproducción, de manera efectiva haciéndolos inofensivos y destruyendo de un mínimo de 99,99% de microorganismos nocivos, incluyendo E. coli, Cryptosporidium y Giardia.

## 2. Definición de combinaciones de investigación o datos de partida

Dentro de la metodología planteada, se consideró una serie de combinaciones investigación, en función de la capacidad de producción de agua acondicionada para caldera mediante osmosis inversa donde caudal Q viene expresado en m<sup>3</sup>/día y el factor de conversión viene expresado en % de osmosis inversa.

Tabla 1

*combinaciones de investigación o datos de partida*

COMBINACIONES DE INVESTIGACIÓN		SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA		
CAPACIDAD	CONVERSION	ALIMENTACION	RECHAZO	PERMEADO
Q (m <sup>3</sup> /día)	F.C. (%)	Qa (m <sup>3</sup> /h)	Qr (m <sup>3</sup> /h)	Qp (m <sup>3</sup> /h)
8.33	70%	0.50	0.15	0.35
8.33	80%	0.43	0.09	0.35
16.65	70%	0.99	0.30	0.69
16.65	80%	0.87	0.17	0.69
24.98	70%	1.49	0.45	1.04
24.98	80%	1.30	0.26	1.04
33.31	70%	1.98	0.59	1.39
33.31	80%	1.73	0.35	1.39
42.01	70%	2.50	0.75	1.75
42.01	80%	2.19	0.44	1.75
49.96	70%	2.97	0.89	2.08
49.96	80%	2.60	0.52	2.08

### 3. Cálculos justificativos de los costos de inversión

#### 3.1 Costos de tratamiento por membranas

##### 3.1.1 Costo de bomba de alimentación de OR

Tabla 2

*Datos de partida*

<b>Ds(m)</b>	<b>0.0254</b>	<b>Ls(m)</b>	<b>3.5</b>
<b>v(m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>0.00000102</b>	<b>Pmax(psi)</b>	<b>60</b>
<b>ξ(pvc)</b>	<b>0.0000003</b>	<b>Pmin(psi)</b>	<b>30</b>

Tabla 3

*Costo de bomba de alimentación de OR*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD DE OPERACIÓN v (m/s)	NUMERO DE REYNOLD NR	FACTOR DE FRICCIÓN fsuc	NPSH DISPONIBLE NPSH	CARGA TOTAL h <sub>A</sub>	CAUDAL DE OPERACION l/min	POTENCIA REAL HP	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.000138	0.2717	6766.31	0.03461	8.071	45.80	8.26	0.85	550
8.33	80%	0.000120	0.2378	5920.52	0.03599	8.079	45.79	7.23	0.85	550
16.65	70%	0.000275	0.5434	13532.62	0.02857	7.978	45.90	16.52	0.85	550
16.65	80%	0.000241	0.4755	11841.05	0.02960	8.006	45.87	14.46	0.85	550
24.98	70%	0.000413	0.8152	20298.93	0.02575	7.842	46.06	24.78	1	760
24.98	80%	0.000361	0.7133	17761.57	0.02663	7.898	45.99	21.68	1	760
33.31	70%	0.000551	1.0869	27065.25	0.02399	7.666	46.26	33.04	1.5	1140
33.31	80%	0.000482	0.9510	23682.09	0.02478	7.759	46.15	28.91	1.5	1140
42.01	70%	0.000695	1.3709	34139.12	0.02271	7.441	46.52	41.68	3	1740
42.01	80%	0.000608	1.1996	29871.73	0.02343	7.582	46.36	36.47	3	1740
49.96	70%	0.000826	1.6303	40597.87	0.02181	7.201	46.80	49.57	3	1740
49.96	80%	0.000723	1.4265	35523.14	0.02250	7.393	46.58	43.37	3	1760

##### 3.1.2 Costo de tanque hidroneumático de alimentación

Tabla 4

*Datos de partida*

<b>Pmax(psi)</b>	<b>60</b>
<b>Pmin(psi)</b>	<b>20</b>
<b>factor</b>	<b>0.5</b>
<b>Tiempo de ejecución min de la bomba</b>	<b>1.75</b>

Tabla 5

*Costo de tanque hidroneumático de alimentación*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (LPM)	FLUJO DE OPERACIÓN v(GAL)	VOLUMEN DE TANQUE V(g)	VOLUMEN DE TANQUE V(l)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	8.26	3.82	8.68	32.86	200.00
8.33	80%	7.23	3.34	7.59	28.75	200.00
16.65	70%	16.52	7.64	17.36	65.71	320.00
16.65	80%	14.46	6.68	15.19	57.50	320.00
24.98	70%	24.78	11.46	26.04	98.57	440.00
24.98	80%	21.68	10.02	22.78	86.25	440.00
33.31	70%	33.04	15.28	34.72	131.42	560.00
33.31	80%	28.91	13.37	30.38	115.00	560.00
42.01	70%	41.68	19.27	43.79	165.77	680.00
42.01	80%	36.47	16.86	38.32	145.05	680.00
49.96	70%	49.57	22.91	52.08	197.14	800.00
49.96	80%	43.37	20.05	45.57	172.49	800.00

### 3.1.3 Costo de tanque dosificadora de anti incrustante de OR

Tabla 6

*Datos de partida*

<b>Dosis(ppm)</b>	<b>2</b>
<b>Densidad(gr/cc)</b>	<b>1.15</b>
<b>Volumen calculado para un mes(30dias)</b>	

Tabla 7

*Costo de tanque dosificadora de anti incrustante de OR*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /dia)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (l/dia)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN DEL PRODUCTO (L)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO (L)	VOLUMEN REAL DE TANQUE (L)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	11895.71	0.71	0.62	6.21	9.09	30
8.33	80%	10408.75	0.62	0.54	5.43	9.09	30
16.65	70%	23791.43	1.43	1.24	12.41	13.63	35
16.65	80%	20817.50	1.25	1.09	10.86	13.63	35
24.98	70%	35687.14	2.14	1.86	18.62	22.73	45
24.98	80%	31226.25	1.87	1.63	16.29	18.18	40
33.31	70%	47582.86	2.85	2.48	24.83	27.27	50
33.31	80%	41635.00	2.50	2.17	21.72	22.73	45
42.01	70%	60019.29	3.60	3.13	31.31	31.82	55
42.01	80%	52516.88	3.15	2.74	27.40	31.82	55
49.96	70%	71374.29	4.28	3.72	37.24	40.91	65
49.96	80%	62452.50	3.75	3.26	32.58	36.36	60

### 3.1.4 Costo de bomba dosificadora de anti incrustante de OR

Tabla 8

*Datos de partida*

<b>Dosis(ppm)</b>	<b>2</b>
<b>Densidad(gr/cc)</b>	<b>1.15</b>
<b>Caudal calculado para un mes(30dias)</b>	

Tabla 9

*Costo de bomba dosificadora de anti incrustante de OR*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /dia)	CONVERSION F.C. (%)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO	CAUDAL DE DOSIFICACION (L)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	6.21	8.62	1650
8.33	80%	5.43	7.54	1650
16.65	70%	12.41	17.24	1650
16.65	80%	10.86	15.09	1650
24.98	70%	18.62	25.86	1650
24.98	80%	16.29	22.63	1650
33.31	70%	24.83	34.48	1650
33.31	80%	21.72	30.17	1650
42.01	70%	31.31	43.49	1650
42.01	80%	27.40	38.06	1650
49.96	70%	37.24	51.72	1650
49.96	80%	32.58	45.26	1650

### 3.1.5 Costo de equipo de Desinfección con ultravioleta

Tabla 10

Costo de bomba dosificadora de anti incrustante de OR

<b>Esterilizadores UV Sterilight</b>			
CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	CAUDALDE ALIMENTACION (LPM)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	8.26	2260.44
8.33	80%	7.23	2260.44
16.65	70%	16.52	2260.44
16.65	80%	14.46	2260.44
24.98	70%	24.78	2260.44
24.98	80%	21.68	2260.44
33.31	70%	33.04	2260.44
33.31	80%	28.91	2260.44
42.01	70%	41.68	2260.44
42.01	80%	36.47	2260.44
49.96	70%	49.57	2260.44
49.96	80%	43.37	2260.44

### 3.1.6 Costo de equipo OR

Tabla 11

Datos de partida

Ds(m)	0.0254	Ls(m)	3.5
v(m <sup>2</sup> /s)	0.00000102	Pmax(psi)	60
é(pvc)	0.0000003	Pmin(psi)	30

Tabla 12

Costo de equipo OR

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (L/DIA)	PERMEADO Qa (L/DIA)	RECHAZO Qa (L/DIA)	CANTIDAD DE MEMBRANAS (UNIDADES)	ARREGLO	MODELO	COSTO (\$/.)
8.33	70%	11895.71	8327.00	3568.71	1.00	1	RO-2200	15520.49
8.33	80%	10408.75	8327.00	2081.75	1.00	1	RO-2200	15520.49
16.65	70%	23791.43	16654.00	7137.43	2.00	1-1	RO-4400	31040.97
16.65	80%	20817.50	16654.00	4163.50	2.00	1-1	RO-4400	31040.97
24.98	70%	35687.14	24981.00	10706.14	3.00	1-1-1	RO-6600	46561.46
24.98	80%	31226.25	24981.00	6245.25	3.00	1-1-1	RO-6600	46561.46
33.31	70%	47582.86	33308.00	14274.86	4.00	1-1-1-1	RO-8800	62081.95
33.31	80%	41635.00	33308.00	8327.00	4.00	1-1-1-1	RO-8800	62081.95
42.01	70%	60019.29	42013.50	18005.79	5.00	2-1-1-1	RO-11100	78307.91
42.01	80%	52516.88	42013.50	10503.38	5.00	2-1-1-1	RO-11100	78307.91
49.96	70%	71374.29	49962.00	21412.29	6.00	2-2-1-1	RO-13200	93122.92
49.96	80%	62452.50	49962.00	12490.50	6.00	2-2-1-1	RO-13200	93122.92

### 3.1.7 Costo de tanque de almacenamiento del permeado

- Volumen teórico de permeado calculado para 15 minutos

Tabla 13

*Costo de tanque de almacenamiento del permeado*

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION QA (L/hr)	VOLUMEN DEL PERMEADO (L)	VOLUMEN REAL DE TANQUE (L)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.35	86.74	250	209.90
8.33	80%	0.35	86.74	250	209.90
16.65	70%	0.69	173.48	250	209.90
16.65	80%	0.69	173.48	250	209.90
24.98	70%	1.04	260.22	600	319.00
24.98	80%	1.04	260.22	600	319.00
33.31	70%	1.39	346.96	600	319.00
33.31	80%	1.39	346.96	600	319.00
42.01	70%	1.75	437.64	600	319.00
42.01	80%	1.75	437.64	750	379.00
49.96	70%	2.08	520.44	750	379.00
49.96	80%	2.08	520.44	750	379.00

### 3.2 Costos de pre tratamiento

#### 3.2.1 Costo de bomba del filtro MM

Tabla 14

*Datos de partida*

Ds(m)	0.0254	Ls(m)	3.5
v(m <sup>2</sup> /s)	0.00000102	Pmax(psi)	60
ε(pvc)	0.0000003	Pmin(psi)	30

Tabla 15

*Costo de bomba del filtro MM*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD DE OPERACIÓN v (m/s)	NUMERO DE REYNOLD NR	FACTOR DE FRICCIÓN fsuc	NPSH DISPONIBLE NPSH	CARGA TOTAL h <sub>a</sub> (m)	CAUDAL DE OPERACION l/min	POTENCIA REAL HP	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.000275	0.5434	13532.6	0.0286	7.978	37.36	33.04	2	1480
8.33	80%	0.000241	0.476	11841.0	0.0296	8.006	37.33	28.91	2	1480
16.65	70%	0.000551	1.087	27065.2	0.0240	7.666	37.72	66.09	2	1480
16.65	80%	0.000482	0.951	23682.9	0.0248	7.759	37.61	57.83	2	1480
24.98	70%	0.000826	1.630	40597.8	0.0218	7.201	38.26	99.13	3	1690
24.98	80%	0.000723	1.427	35523.1	0.0225	7.393	38.03	86.74	3	1690
33.31	70%	0.001101	2.174	54130.4	0.0204	6.595	38.97	132.17	3	1690
33.31	80%	0.000964	1.902	47364.1	0.0211	6.915	38.59	115.65	3	1690
42.01	70%	0.001389	2.742	68278.2	0.0194	5.819	39.89	166.72	4	2120
42.01	80%	0.001216	2.399	59743.4	0.0200	6.304	39.31	145.88	4	2120
49.96	70%	0.001652	3.261	81195.7	0.0187	4.987	40.88	198.26	4	2120
49.96	80%	0.001446	2.853	71046.2	0.0193	5.650	40.09	173.48	4	2120

#### 3.2.2 Costo de tanque hidroneumático del filtro MM

Tabla 16

*Datos de partida*

Pmax(psi)	50
Pmin(psi)	25
factor	0.44
Tiempo de ejecución min de la bomba	1.75

Tabla 17  
Costo de tanque hidroneumático del filtro MM

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (LPM)	FLUJO DE OPERACIÓN (GPM)	VOLUMEN DE TANQUE (g)	VOLUMEN DE TANQUE V(l)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	16.52	7.64	17.36	65.71	320.00
8.33	80%	14.46	6.68	15.19	57.50	320.00
16.65	70%	33.04	15.28	34.72	131.42	560.00
16.65	80%	28.91	13.37	30.38	115.00	560.00
24.98	70%	49.57	22.91	52.08	197.14	800.00
24.98	80%	49.57	22.91	52.08	197.14	800.00
33.31	70%	57.83	26.73	60.76	229.99	1040.00
33.31	80%	66.09	30.55	69.44	262.85	1040.00
42.01	70%	72.94	33.72	76.64	290.10	1150.00
42.01	80%	83.36	38.54	87.59	331.55	1150.00
49.96	70%	99.13	45.83	104.16	394.27	1200.00
49.96	80%	86.74	40.10	91.14	344.99	1200.00

### 3.2.3 Costo de equipo Filtro MM

Tabla 18  
Datos de partida

<b>Pmax(psi)</b>	<b>50</b>
<b>Pmin(psi)</b>	<b>25</b>
<b>Velocidad de filtración(gpm/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>12</b>
<b>Velocidad de retrolavado(gpm/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>15</b>
<b>factor</b>	<b>0.44</b>

Tabla 19  
Costo de equipo filtro MM

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m3/hr)	FLUJO DE OPERACIÓN (GPM)	AREA DE MEDIA FILTRANTE (ft2)	FLUJO DE SERVICIO REAL (GPM)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.99	4.36	0.36	6	1800.00
8.33	80%	0.87	3.82	0.32	6	1800.00
16.65	70%	1.98	8.73	0.73	10	2250.00
16.65	80%	1.73	7.64	0.64	8	2020.00
24.98	70%	2.97	13.09	1.09	16	2500.00
24.98	80%	2.60	11.46	0.95	16	2500.00
33.31	70%	3.97	17.46	1.45	21	2800.00
33.31	80%	3.47	15.28	1.27	16	2680.00
42.01	70%	5.00	22.02	1.84	27	3100.00
42.01	80%	4.38	19.27	1.61	21	2800.00
49.96	70%	5.95	26.19	2.18	27	3100.00
49.96	80%	5.20	22.91	1.91	27	3100.00

### 3.2.4 Costo de bomba del ablandador

Tabla 20  
Datos de partida

<b>Ds(m)</b>	<b>0.0254</b>	<b>Ls(m)</b>	<b>3.5</b>
<b>v(m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>0.00000102</b>	<b>Pmax(psi)</b>	<b>60</b>
<b>ε(pvc)</b>	<b>0.0000003</b>	<b>Pmin(psi)</b>	<b>30</b>

Tabla 21  
Costo de bomba del ablandador

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD DE OPERACIÓN v (m/s)	NUMERO DE REYNOLD NR	FACTOR DE FRICCION fsuc	NPSH DISPONIBLE NPSH	CARGA TOTAL ha(m)	CAUDAL DE OPERACION l/min	POTENCIA REAL HP	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.000275	0.5434	13532.62	0.0286	7.978	37.36	33.04	2	1480
8.33	80%	0.000241	0.476	11841.05	0.0296	8.006	37.33	28.91	2	1480
16.65	70%	0.000551	1.087	27065.25	0.0240	7.666	37.72	66.09	2	1480
16.65	80%	0.000482	0.951	23682.09	0.0248	7.759	37.61	57.83	2	1480
24.98	70%	0.000826	1.630	40597.87	0.0218	7.201	38.26	99.13	3	1690
24.98	80%	0.000723	1.427	35523.14	0.0225	7.393	38.03	86.74	3	1690
33.31	70%	0.001101	2.174	54130.49	0.0204	6.595	38.97	132.17	3	1690
33.31	80%	0.000964	1.902	47364.18	0.0211	6.915	38.59	115.65	3	1690
42.01	70%	0.001389	2.742	68278.24	0.0194	5.819	39.89	166.72	4	2120
42.01	80%	0.001216	2.399	59743.46	0.0200	6.304	39.31	145.88	4	2120
49.96	70%	0.001652	3.261	81195.74	0.0187	4.987	40.88	198.26	4	2120
49.96	80%	0.001446	2.853	71046.27	0.0193	5.650	40.09	173.48	4	2120

### 3.2.5 Costo de tanque hidroneumático del Ablandador

Tabla 22

Datos de partida

<b>Pmax(psi)</b>	<b>50</b>
<b>Pmin(psi)</b>	<b>25</b>
<b>factor</b>	<b>0.44</b>
<b>Tiempo de ejecución min de la bomba</b>	<b>1.75</b>

Tabla 23

Costo de tanque hidroneumático del Ablandador

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (LPM)	FLUJO DE OPERACIÓN (GPM)	VOLUMEN DE TANQUE (g)	VOLUMEN DE TANQUE V(l)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	16.52	7.64	17.36	65.71	320.00
8.33	80%	14.46	6.68	15.19	57.50	320.00
16.65	70%	33.04	15.28	34.72	131.42	560.00
16.65	80%	28.91	13.37	30.38	115.00	560.00
24.98	70%	49.57	22.91	52.08	197.14	800.00
24.98	80%	49.57	22.91	52.08	197.14	800.00
33.31	70%	57.83	26.73	60.76	229.99	1040.00
33.31	80%	66.09	30.55	69.44	262.85	1040.00
42.01	70%	72.94	33.72	76.64	290.10	1150.00
42.01	80%	83.36	38.54	87.59	331.55	1150.00
49.96	70%	99.13	45.83	104.16	394.27	1200.00
49.96	80%	86.74	40.10	91.14	344.99	1200.00

### 3.2.6 Costo de equipo Ablandador

Tabla 24

Datos de partida

<b>Pmax(psi)</b>	<b>50</b>
<b>Pmin(psi)</b>	<b>25</b>
<b>Flujo de servicio (GPM/ft<sup>3</sup>)</b>	<b>12</b>
<b>flujo de retro lavado (GPM/ft<sup>3</sup>)</b>	<b>5</b>
<b>factor</b>	<b>0.44</b>

Tabla 25  
Costo de equipo Ablandador

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (m <sup>3</sup> /DIA)	FLUJO DE AGUA BLANDA (GPM)	FLUJO DE OPERACIÓN (ablandador simple) (GPM)	VOLUMEN DE RESINA (ft <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE RESINA REAL (ft <sup>3</sup> )	CAPACIDAD MINIMA Qo(GPM)	CAPACIDAD MAXIMA Qo(GPM)	AGUA PERDIDA POR REGENERACION (m <sup>3</sup> )	COSTO (\$/.)
8.33	70%	11.90	2.18	4.36	0.3637	1	2	5	0.254853	3250
8.33	80%	10.41	1.91	3.82	0.3183	1	2	5	0.254853	3250
16.65	70%	23.79	4.36	8.73	0.7274	2	4	10	0.509706	6500
16.65	80%	20.82	3.82	7.64	0.6365	2	4	10	0.509706	6500
24.98	70%	35.69	6.55	13.09	1.0912	3	6	15	0.764559	9750
24.98	80%	31.23	5.73	11.46	0.9548	3	6	15	0.764559	9750
33.31	70%	47.58	8.73	17.46	1.4549	4	8	20	1.019412	13000
33.31	80%	41.64	7.64	15.28	1.2730	4	8	20	1.019412	13000
42.01	70%	60.02	11.01	22.02	1.8351	5	10	25	1.274265	16250
42.01	80%	52.52	9.63	19.27	1.6057	5	10	25	1.274265	16250
49.96	70%	71.37	13.09	26.19	2.1823	6	12	30	1.529118	19500
49.96	80%	62.45	11.46	22.91	1.9095	6	12	30	1.529118	19500

### 3.2.7 Costo de tanque de almacenamiento de agua blanda

- Volumen calculado para almacenar agua suficiente para abastecer durante la regeneración del ablandador

Tabla 26  
Costo de tanque de almacenamiento de agua blanda

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /Día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION QA (L/HR)	VOLUMEN DEL TANQUE (m <sup>3</sup> )	COSTO (\$/.)
8.33	70%	0.99	1.49	800.00
8.33	80%	0.87	1.30	719.00
16.65	70%	1.98	2.97	1600.00
16.65	80%	1.73	2.60	1600.00
24.98	70%	2.97	4.46	2200.00
24.98	80%	2.60	3.90	2200.00
33.31	70%	3.97	5.95	2800.00
33.31	80%	3.47	5.20	2800.00
42.01	70%	5.00	7.50	3163.00
42.01	80%	4.38	6.56	3163.00
49.96	70%	5.95	8.92	3500.00
49.96	80%	5.20	7.81	3500.00

### 3.3 Costos de pos tratamiento

#### 3.3.1 Costo de tanque dosificadora de inhibidor de corrosión

Tabla 27  
Datos de partida

Dosis(ppm)	2
Densidad(gr/cc)	1.14
Volumen calculado para un mes(30días)	



Tabla 28

Costo de tanque dosificadora de inhibidor de corrosión

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (l/día)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN DEL PRODUCTO (L)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO (L)	VOLUMEN REAL DE TANQUE (L)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	11895.71	0.714	0.63	6.26	9.09	30
8.33	80%	10408.75	0.625	0.55	5.48	9.09	30
16.65	70%	23791.43	1.427	1.25	12.52	13.63	35
16.65	80%	20817.50	1.249	1.10	10.96	13.63	35
24.98	70%	35687.14	2.141	1.88	18.78	22.73	45
24.98	80%	31226.25	1.874	1.64	16.43	18.18	40
33.31	70%	47582.86	2.855	2.50	25.04	27.27	50
33.31	80%	41635.00	2.498	2.19	21.91	22.73	45
42.01	70%	60019.29	3.601	3.16	31.59	31.82	55
42.01	80%	52516.88	3.151	2.76	27.64	31.82	55
49.96	70%	71374.29	4.282	3.76	37.57	40.91	65
49.96	80%	62452.50	3.747	3.29	32.87	36.36	60

### 3.3.2 Costo de bomba dosificadora de inhibidor de corrosión

Tabla 29

Costo de bomba dosificadora de inhibidor de corrosión

<b>Dosis(ppm)</b>	<b>2</b>
<b>Densidad(gr/cc)</b>	<b>1.14</b>
<b>Caudal calculado para un mes(30dias)</b>	

Tabla 30

Datos de partida

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO	CAUDAL DE DOSIFICACION (L)	COSTO (\$/.)
8.33	70%	6.26	8.70	1650
8.33	80%	5.48	7.61	1650
16.65	70%	12.52	17.39	1650
16.65	80%	10.96	15.22	1650
24.98	70%	18.78	26.09	1650
24.98	80%	16.43	22.83	1650
33.31	70%	25.04	34.78	1650
33.31	80%	21.91	30.43	1650
42.01	70%	31.59	43.87	1650
42.01	80%	27.64	38.39	1650
49.96	70%	37.57	52.17	1650
49.96	80%	32.87	45.65	1650

### 3.3.3 Costo de tanque dosificadora de inhibidor de incrustación

Tabla 31

Datos de partida

<b>Dosis(ppm)</b>	<b>2</b>
<b>Densidad(gr/cc)</b>	<b>1.16</b>
<b>Volumen calculado para un mes(30dias)</b>	

Tabla 32

*Costo de tanque dosificadora de inhibidor de incrustación*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	ALIMENTACION Qa (l/día)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN DEL PRODUCTO (L)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO (L)	VOLUMEN REAL DE TANQUE (L)	COSTO (S/.)
8.33	70%	11895.71	0.714	0.62	6.15	9.09	30
8.33	80%	10408.75	0.625	0.54	5.38	9.09	30
16.65	70%	23791.43	1.427	1.23	12.31	13.63	35
16.65	80%	20817.50	1.249	1.08	10.77	13.63	35
24.98	70%	35687.14	2.141	1.85	18.46	22.73	45
24.98	80%	31226.25	1.874	1.62	16.15	18.18	40
33.31	70%	47582.86	2.855	2.46	24.61	27.27	50
33.31	80%	41635.00	2.498	2.15	21.54	22.73	45
42.01	70%	60019.29	3.601	3.10	31.04	31.82	55
42.01	80%	52516.88	3.151	2.72	27.16	31.82	55
49.96	70%	71374.29	4.282	3.69	36.92	40.91	65
49.96	80%	62452.50	3.747	3.23	32.30	36.36	60

**3.3.4 Costo de bomba dosificadora de inhibidor de incrustación**

Tabla 33

*Datos de partida*

<b>Dosis(ppm)</b>	<b>2</b>
<b>Densidad(gr/cc)</b>	<b>1.16</b>
<b>Caudal calculado para un mes(30días)</b>	

Tabla 34

*Costo de bomba dosificadora de inhibidor de incrustación*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	VOLUMEN DE PRODUCTO DILUIDO	CAUDAL DE DOSIFICACION (L)	COSTO (S/.)
8.33	70%	6.15	8.55	1650
8.33	80%	5.38	7.48	1650
16.65	70%	12.31	17.09	1650
16.65	80%	10.77	14.96	1650
24.98	70%	18.46	25.64	1650
24.98	80%	16.15	22.43	1650
33.31	70%	24.61	34.18	1650
33.31	80%	21.54	29.91	1650
42.01	70%	31.04	43.12	1650
42.01	80%	27.16	37.73	1650
49.96	70%	36.92	51.27	1650
49.96	80%	32.30	44.87	1650

**3.4 Costo de instrumentación y control**

- Costo de instrumentación y control (6% del costo de los equipos que requieren ser control e instrumentación)

Tabla 35  
Costo de instrumentación y control

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	COSTO DE EQUIPOS QUE REQUIEREN CONTROL E INSTRUMENTACION (S/.)	COSTE DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL (S/.)
8.33	70%	20680.49	1240.83
8.33	80%	20680.49	1240.83
16.65	70%	36200.97	2172.06
16.65	80%	36200.97	2172.06
24.98	70%	52351.46	3141.09
24.98	80%	52351.46	3141.09
33.31	70%	68251.95	4095.12
33.31	80%	68251.95	4095.12
42.01	70%	85937.91	5156.27
42.01	80%	84477.91	5068.67
49.96	70%	100752.92	6045.18
49.96	80%	100772.92	6046.38

### 3.5 Costo de instalación de los equipos

- Costo de instalación de los equipos (10% costo de equipos y dispositivos auxiliares).

Tabla 36  
Costo de instalación de los equipos

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	COSTE DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS AUXILIARES (S/.)	VOLUMEN DEL TANQUE (S/.)
8.33	70%	33270.93	3327.09
8.33	80%	33189.93	3318.99
16.65	70%	53906.41	5390.64
16.65	80%	53676.41	5367.64
24.98	70%	75136.90	7513.69
24.98	80%	73496.90	7349.69
33.31	70%	95802.39	9580.24
33.31	80%	95667.39	9566.74
42.01	70%	117756.35	11775.64
42.01	80%	112896.35	11289.64
49.96	70%	136558.36	13655.84
49.96	80%	133313.36	13331.34

## 4 Cálculos justificativos de los costos de operación y mantenimiento

### 4.1 Costos de mantenimiento

- Mantenimiento de equipos (10% de equipos y dispositivos auxiliares)

Tabla 37  
Costos de mantenimiento

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	COSTE DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS AUXILIARES (S/.)	COSTO TOTAL ANUAL (S/.)	COSTO POR m <sup>3</sup> DE PRODUCTO S./m <sup>3</sup>
8.33	70%	33270.93	3327.09	1.0947
8.33	80%	33189.93	3318.99	1.0920
16.65	70%	53906.41	5390.64	0.8868
16.65	80%	53676.41	5367.64	0.8830
24.98	70%	75136.90	7513.69	0.8240
24.98	80%	73496.90	7349.69	0.8239
33.31	70%	95802.39	9580.24	0.7880
33.31	80%	95667.39	9566.74	0.7869
42.01	70%	117756.35	11775.64	0.7679
42.01	80%	112896.35	11289.64	0.7669
49.96	70%	136558.36	13655.84	0.7488
49.96	80%	133313.36	13331.34	0.7489

#### 4.2 Costo de asistencia técnica

- Asesoría y monitoreo de empresa de servicios de tratamiento de agua dos visitas por mes, cobrando S/.162.5 por visita

Tabla 38  
Costo de asistencia técnica

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	COSTO TOTAL ANUAL (S/.)	COSTO POR m <sup>3</sup> DE PRODUCTO S./m <sup>3</sup>
8.33	70%	3900.00	1.283
8.33	80%	3900.00	1.283
16.65	70%	3900.00	0.642
16.65	80%	3900.00	0.642
24.98	70%	3900.00	0.428
24.98	80%	3900.00	0.428
33.31	70%	3900.00	0.321
33.31	80%	3900.00	0.321
42.01	70%	3900.00	0.254
42.01	80%	3900.00	0.254
49.96	70%	3900.00	0.214
49.96	80%	3900.00	0.214

#### 4.3 Costo de energía

- Precio unitario(S./KWh)= 0.345

Tabla 39  
Datos de partida

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSION F.C. (%)	Bomba de equipo Filtro MM	Equipo Filtro MM	Bomba del ablandador	Equipo ablandador	Equipo de Desinfección UV	Bombas dosificadoras	Bomba de alimentación	Bomba de alta presión	COSTO POR m3 DE PRODUCTO S./m3
8.33	70%	4507.31	12.09	4507.31	12.09	302.22	201.28	1915.61	5634.14	5.624
8.33	80%	4507.31	12.09	4507.31	12.09	302.22	201.28	1915.61	5634.14	5.624
16.65	70%	4507.31	12.09	4507.31	12.09	302.22	201.28	1915.61	9836.31	2.997
16.65	80%	4507.31	12.09	4507.31	12.09	302.22	201.28	1915.61	8606.77	2.997
24.98	70%	6760.96	12.09	6760.96	12.09	302.22	201.28	2253.65	14754.46	2.777
24.98	80%	6760.96	12.09	6760.96	12.09	302.22	201.28	2253.65	12910.16	2.777
33.31	70%	6760.96	12.09	6760.96	12.09	302.22	201.28	3380.48	19672.62	2.361
33.31	80%	6760.96	12.09	6760.96	12.09	302.22	201.28	3380.48	17213.54	2.361
42.01	70%	9014.62	12.09	9014.62	12.09	302.22	201.28	6760.96	24814.32	2.533
42.01	80%	6760.96	12.09	6760.96	12.09	302.22	201.28	3380.48	21712.53	2.533
49.96	70%	9014.62	12.09	9014.62	12.09	302.22	201.28	6760.96	29508.93	2.253
49.96	80%	9014.62	12.09	9014.62	12.09	302.22	201.28	6760.96	25820.31	2.253

#### 4.4 Costo de reposición de membranas

- Reposición de membranas (20% anual)

Tabla 40

##### Costo de reposición de membranas

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	CANTIDAD (#membranas)	COSTO UNITARIO (S/.)	REPOSICIONES ANUAL (20%/AÑO)	COSTO TOTAL ANUAL (S/.)	COSTO POR m <sup>3</sup> DE PRODUCTO S//m <sup>3</sup>
8.33	70%	1.00	1586.00	0.20	317.20	0.1044
8.33	80%	1.00	1586.00	0.20	317.20	0.1044
16.65	70%	2.00	1586.00	0.40	634.40	0.1044
16.65	80%	2.00	1586.00	0.40	634.40	0.1044
24.98	70%	3.00	1586.00	0.60	951.60	0.1044
24.98	80%	3.00	1586.00	0.60	951.60	0.1044
33.31	70%	4.00	1586.00	0.80	1268.80	0.1044
33.31	80%	4.00	1586.00	0.80	1268.80	0.1044
42.01	70%	5.00	1586.00	1.00	1586.00	0.1034
42.01	80%	5.00	1586.00	1.00	1586.00	0.1034
49.96	70%	6.00	1586.00	1.20	1903.20	0.1044
49.96	80%	6.00	1586.00	1.20	1903.20	0.1044

#### 4.5 Costo de materia prima directa

- La tarifa del agua subterránea según SEDAPAL en categoría industrial en los acuíferos Chillón- Rimac- Lurín, según los rangos de consumo por mes hasta 400 m<sup>3</sup> es 2.368 S//m<sup>3</sup> y a más de 400 m<sup>3</sup> es 2.765 S//m<sup>3</sup>
- También se consideró la perdida en el proceso de regeneración del ablandador y retro lavado del filtro multimedia, aparte de la perdida por rendimiento del equipo de RO.

Tabla 41

##### Costo de materia prima directa

CAPACIDAD Q(M <sup>3</sup> /DÍA)	CONVERSION F.C. (%)	COSTO TOTAL ANUAL (S//año)	COSTO POR m <sup>3</sup> DE PRODUCTO S//m <sup>3</sup>
8.33	70%	1523.65	0.50
8.33	80%	1333.19	0.44
16.65	70%	3047.30	0.50
16.65	80%	2666.39	0.44
24.98	70%	4570.95	0.50
24.98	80%	3881.97	0.43
33.31	70%	6094.60	0.50
33.31	80%	5332.78	0.44
42.01	70%	7675.29	0.50
42.01	80%	6480.65	0.42
49.96	70%	9141.91	0.50
49.96	80%	7763.94	0.43

#### 4.6 Costo de productos químicos

- Costo de anti incrustante de OR (S//Kg)= 100.
- Costo de sal industrial (S//Kg)= 0.3
- Costo de Inhibidor de corrosión (S//Kg)= 80
- Costo de Inhibidor de incrustación S//Kg)= 60
- Costo de químico alcalino S//Kg)= 110 (3 veces al año)
- Costo de químico ácido S//Kg)= 110 (3 veces al año)

Tabla 42

*Costo de productos químicos*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSIÓN F.C. (%)	COSTO DE ANTI INCRUSTANTE DE OR (S/./año)	COSTO DE SAL INDUSTRIAL (S/./año)	COSTO DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN (S/./año)	COSTO DE INHIBIDOR DE INCRUSTACIÓN (S/./año)	COSTO DE LIMPIEZA QUÍMICA (QUÍMICO ACIDO) (s/./año)	COSTO DE LIMPIEZA QUÍMICA (QUÍMICO ALCALINO) (s/./año)	COSTO POR m3 DE PRODUCTO S/./m3
8.33	70%	868.39	5215.11	694.71	521.03	32.77	38.80	2.4251
8.33	80%	759.84	5215.11	607.87	455.90	28.67	33.95	2.3159
16.65	70%	1736.77	10430.23	1389.42	1042.06	65.54	77.60	2.4016
16.65	80%	1519.68	10430.23	1215.74	911.81	57.35	67.90	2.3159
24.98	70%	2605.16	15645.34	2084.13	1563.10	98.31	116.40	2.4016
24.98	80%	2279.52	15645.34	1823.61	1367.71	86.02	101.85	2.3159
33.31	70%	3473.55	20860.45	2778.84	2084.13	131.08	155.20	2.4016
33.31	80%	3039.36	20860.45	2431.48	1823.61	114.70	135.80	2.3159
42.01	70%	4381.41	26075.56	3505.13	2628.84	165.34	195.76	2.3861
42.01	80%	3833.73	26075.56	3066.99	2300.24	144.67	171.29	2.3004
49.96	70%	5210.32	31290.68	4168.26	3126.19	196.62	232.80	2.4016
49.96	80%	4559.03	31290.68	3647.23	2735.42	172.04	203.70	2.3159

**4.7 Costo de recambio de filtros**

- Reposición de filtros cartuchos de 5u

Tabla 43

*Costo de recambio de filtros*

CAPACIDAD Q(m <sup>3</sup> /día)	CONVERSIÓN F.C. (%)	CANTIDAD (#filtro)	COSTO UNITARIO (S/.)	REPOSICIONES ANUAL	COSTO TOTAL ANUAL (S/./año)	COSTO POR m3 DE PRODUCTO S/./m3
8.33	70%	1	90	2	180	0.059
8.33	80%	1	90	2	180	0.060
16.65	70%	1	90	2	180	0.030
16.65	80%	1	90	2	180	0.030
24.98	70%	1	90	2	180	0.020
24.98	80%	1	90	2	180	0.020
33.31	70%	1	90	3	270	0.023
33.31	80%	1	90	3	270	0.023
42.01	70%	1	90	3	270	0.018
42.01	80%	1	90	3	270	0.018
49.96	70%	1	90	3	270	0.015
49.96	80%	1	90	3	270	0.015

## Anexo 3. Información técnica de equipos y dispositivos

### INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS Y DISPOSITIVOS

#### 1. Equipo RO



#### ESPECIFICACIONES RO- HR

Modelo	RO - 2200	RO - 4400	RO - 6600	RO - 8800	RO - 11100	RO - 13200
Especificaciones del flujo						
Rango de Recuperación	50 - 75 %	50 - 75 %	50 - 75 %	50 - 75 %	50 - 75 %	50 - 75 %
Producción de Permeado (gpm) a 25 ºC	1.5	3	4.5	6	7.5	9
Concentrado (gpm)	0.5 - 1.5	1.0 - 3.0	1.5 - 4.5	2.0 - 6.0	1.5 - 4.5	3.0 - 9.0
Membranas General Electric						
Cantidad	1	2	3	4	5	6
Arreglo	1	1-1	1-1-1	1-1-1-1	2-1-1-1	2-2-1-1
Conexiones						
Ingreso (pulgadas)	0.75	0.75	0.75	0.75	1.0	1.0
Permeado (pulgadas)	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75
Concentrado (pulgadas)	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75
Dimensiones y Peso						
Dimensiones L x W x H (mt)	0.85 x 0.75 x 1.7	0.85 x 0.75 x 1.7	0.85 x 0.75 x 1.7	0.85 x 0.75 x 1.7	1.05 x 0.75 x 1.7	1.05 x 0.75 x 1.7
Pesos (kg)	90	95	100	105	110	115

#### Características del agua fuente

- SDI < 5
- Cloro : 0
- NTU < 1
- Máx. Temperatura : 29 °C
- Hierro < 0.1ppm
- pH de operación : 4 - 9
- LSI Negativo
- Dureza < 5ppm



## 2. Equipo ablandador

### Ablandadores

Los Ablandadores de agua por intercambio iónico son el método mas eficiente y económico para eliminar la dureza del agua, causante del sarro, tanto en el hogar como en la industria. Nuestro ablandador por intercambio iónico de resinas reemplaza los iones de calcio y magnesio presentes en el agua dura por iones mucho mas benignos, como el sodio. Este proceso previene la formación y el deposito de sarro en grifería, cañerías, termo tanques, calderas, electrodomésticos y maquinarias que este en contacto con el agua, protegiendolos y prolongando su vida útil. Además evita que se forme el residuo duro y grisáceo típico que se ve cuando el agua dura entra en contacto con el jabón.

En su hogar, notara que su ropa queda mas limpia, suave y brillante después del lavado, necesitara menos jabón para obtener mejores resultados. Por otro lado, su piel y cabello van a adquirir una suavidad y tersura imposible de obtener con agua dura.

Después de haber ablandado varios miles de litros de agua de minerales perjudiciales, la resina comienza a saturarse. En ese momento, el ablandador necesita entrar en un ciclo de regeneración de la resina para seguir funcionando correctamente, nuestros ablandadores inician este proceso automáticamente por tiempo o por la cantidad de agua consumida usando las válvulas automáticas de Pentair.

### DATOS DE DISEÑO

Flujo de Servicio :	2-5 gpm/ft3 resina (basado en datos del fabricante de resina)
Flujo de Retrolavado:	5 gpm/ft2 (basado en datos del fabricante de resina)
Consumo de sal por Regeneración:	15 lb/ft3 resina (calculado para nivel Alto de sal)
Temperatura Ambiente	4 – 48.9 °C
Temperatura de Operación	4 – 38 °C
Presión de Operación	25-50 psi

### REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN

Conexión de la Válvula:	1.0" MPT (entrada y salida)
Diámetro de Apertura del Tanque:	2.5" FPT
Conexión del Drenaje:	¾" MPT
Conexión de Línea de Salmuera :	¾" MPT
Diámetro del Tubo Distribuidor:	1.050" (para embonar)

### CARACTERÍSTICAS

- Sistema Simplex (un solo tanque), Duplex (2 tanques)
- Control de Retrolavado totalmente automático con válvula GE y con controlador digital LOGIX.
- Controlador de programación sencilla: tan fácil como fijar la hora en su reloj. Con pantalla LCD de fácil lectura, indica la hora y el estado de operación.
- Tenemos por tiempo, volumen y por una señal externa ( por ejemplo switch auxiliar de 5 amp)
- Tanque de Polietileno reforzado con Fibra de Vidrio, de gran resistencia mecánica y a la corrosión. Con certificación NSF 44.
- Capacidades desde 0.5 pie3 hasta 20 pie3 de resina catiónica (con válvulas automáticas).
- Puede tratar agua a caudales de hasta 19.5 Galones por Minuto (4'428.9 litros/hora).

### ESPECIFICACIONES

- Granulación (mm) 0,4-1,7
- Densidad aparente (kg / m<sup>3</sup>) 480 ± 30
- Contenido de humedad (% en peso) <5 (como para llevar)
- Contenido de ceniza (% en peso) <15
- Adsorción de yodo (mg / g) 1000 ± 50



## Ablandador Performa

Especificaciones Técnicas								
Modelo	Codigo	Tipo de Regeneración	Valvula Ge	ft3 Resina	Dimensión Tanque	Flujo ( GPM )		
						Servicio MIN	Servicio MAX	BKW
<b>Simplex</b>								
WS- 0.5 pie3 Performa	0111330119	Tiempo	Performa Logix 268/740	0,5	7'x 35"	1,0	2,5	1,1
WS- 1.0 pie3 Performa	0111330101	Tiempo	Performa Logix 268/740	1,0	9'x 48"	2,0	5,0	2,2
	0111330185	Volumen	Performa Logix 268/740	1,0	9'x 48"	2,0	5,0	2,2
WS- 1.5 pie3 Performa	0111330138	Tiempo	Performa Logix 268/740	1,5	10'x 54"	3,0	7,5	2,7
	0111330169	Volumen	Performa Logix 268/760	1,5	10'x 54"	3,0	7,5	2,7
WS- 2.0 pie3 Performa	0111330102	Tiempo	Performa Logix 268/740	2,0	12'x 48"	4,0	10,0	3,9
	0111330120	Volumen	Performa Logix 268/760	2,0	12'x 48"	4,0	10,0	3,9
WS- 2.5 pie3 Performa	0111330153	Tiempo	Performa Logix 268/740	2,5	13'x 54"	5,0	12,5	4,6
	0111330182	Volumen	Performa Logix 268/760	2,5	13'x 54"	5,0	12,5	4,6
WS- 3.0 pie3 Performa	0111330103	Tiempo	Performa Logix 268/740	3,0	14'x 65"	6,0	15,0	5,3
	0111330121	Volumen	Performa Logix 268/760	3,0	14'x 65"	6,0	15,0	5,3

## Ablandador Performa CV

Especificaciones Técnicas								
Modelo	Codigo	Tipo de Regeneración	Valvula Ge	ft3 Resina	Dimensión Tanque	Flujo ( GPM )		
						Servicio MIN	Servicio MAX	BKW
<b>Simplex</b>								
WS- 4.0 pie3 Performa CV	0111330113	Tiempo	Performa CV 278/742	4,0	16'x 65"	8,0	20,0	7,0
	0111330112	Volumen	Performa CV 278/762	4,0	16'x 65"	8,0	20,0	7,0
WS-5.0 - Performa CV	0111330145	Tiempo	Performa CV 278/742	5,0	18'x 65"	10,0	25,0	8,8
	0111330165	Volumen	Performa CV 278/762	5,0	18'x 65"	10,0	25,0	8,8
WS- 6.0 pie3 Performa CV	0111330123	Tiempo	Performa CV 278/742	6,0	18'x 65"	12,0	30,0	8,8
	0111330129	Volumen	Performa CV 278/762	6,0	18'x 65"	12,0	30,0	8,8
WS- 7.0 pie3 Performa - CV	0111330114	Tiempo	Performa CV 278/742	7,0	21'x 62"	14,0	35,0	12,0
	0111330125	Volumen	Performa CV 278/762	7,0	21'x 62"	14,0	35,0	12,0

### 3. Equipo filtro multimedia

#### Filtro Multimedia

Los Filtros multimedia están diseñados para poder filtrar sólidos suspendidos en el agua por medio de varias capas de medios filtrantes de mas grueso a mas fino. Este diseño hace que las partículas mas grandes queden atrapadas en las capas superiores y las mas pequeñas en las inferiores. Tal diseño maximiza la capacidad de atrapar partículas que pueden ser arenilla, óxidos, orgánicos y sedimentos en general desde 10-15 micrones a mas.

Los medios filtrantes son seleccionados por densidad y tamaño para que después las partículas acumuladas se puedan retro lavar y auto limpiar de forma automática usando válvulas de ultima generación. En este proceso el flujo del filtro se invierte y el agua sucia se va por el drenaje para posteriormente pasar por un enjuague y quedar listo para el servicio.

Las válvulas Pentair tienen un controlador digital logix que permite programar el inicio del retro lavado y variar los tiempos. Las válvulas tienen la opción de retro lavar por tiempo o por volumen.

#### Aplicaciones o Usos:

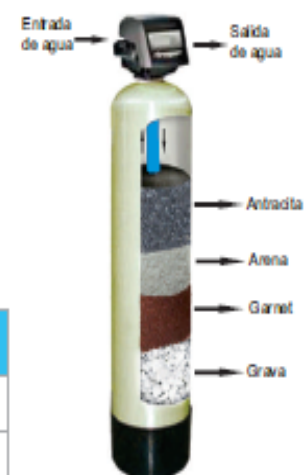
- Pre - tratamiento de equipos osmosis inversa.
- Filtración para la industria en general como agua para calderas y torres de enfriamiento.
- Filtración de agua para la agro industria, lavados.
- Potabilización de agua de pozo, lagunas y ríos.
- Filtración de agua para procesos industriales.
- Filtración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

#### Características del filtro:

- Medios filtrantes ( antracita, garnet, grava y arena ).
- Válvula de control automático, para retrolavar por tiempo o volumen.
- Tanque de polietileno reforzado con fibra de vidrio, de gran resistencia a la corrosión.
- Presión de operación 30 psi.

#### Datos de Diseño

Datos de Diseño		
Velocidad de filtración	5 - 17 gpm/ft <sup>2</sup> sección	(Basado en datos del fabricante de medios filtrantes)
Velocidad de retrolavado	15 - 20 gpm/ft <sup>2</sup> sección	(Basado en datos del fabricante de medios filtrantes)



## Tabla de especificaciones

MODELO	CAPACIDAD (PIES)	DIMENSIONES TANQUE	VÁLVULA	PESO	CONEXIÓN Ingreso / Salida	FLUJO DE OPERACIÓN (GPM)	
						FLUJO DE SERVICIO 5gpm/ft <sup>2</sup>	FLUJO DE SERVICIO 15gpm/ft <sup>2</sup>
MM1.0	1	9 X 48	PERFORMA LOGIX	110	1	2	6
MM-1.5	1.5	10 X 54	PERFORMA LOGIX	226	1	25	8
MM-2.0	2.0	12 X 48	PERFORMA LOGIX	387	1	40	11
MM-2.5	2.5	13 X 54	PERFORMA LOGIX	595	1	4	10
MM-3.0	3.0	14 X 64	PERFORMA LOGIX	853	1	5	16
MM-4.0	4.0	16 X 65	PERFORMA CV	1111	1	7	21
MM-5.0	5.0	18 X 65	PERFORMA CV	2402	1	9	27
MM-6.0	6.0	18 X 65	PERFORMA CV		1	9	27
MM-7.0	7.0	21 X 62	PERFORMA CV	4595	1	12	36
MM-8.0	8.0	21 X 62	MAGNUM IT	5958	2	12	36
MM-10.0	10.0	24 X 72	MAGNUM IT	9253	2	16	47
MM-15.0	15.0	30 X 72	MAGNUM IT	20686	2	24	74

**Nota :**

1. Los flujos de operación depende del tipo de agua y del proceso.
2. Flujo de servicio  
Para osmosis y alto sedimento ( 5 a 7 gpm/ft<sup>2</sup> ).  
Para otros usos ( 14 a 17 gpm/ft<sup>2</sup> ).

## 4. Tanque hidroneumático

Well tanks made easy.

### Tanques de aireación UT/HP

#### Cómo airear gases indeseados.

¿Los gases de perforación indeseados son un problema? Estos tanques han sido diseñados para introducir aire para oxidar y airear, minimizando o incluso eliminando el gas metano y el sulfuro de hidrógeno, detectables por su olor a huevo podrido. Estos tanques son muy resistentes y ofrecen:

- t Ratio de extracción elevado: para aumentar la eficiencia.
- t Control del volumen de aire autorregulable: para aumentar la flexibilidad del sistema y facilitar su instalación.
- t Construcción de material composite: para prolongar la vida útil del tanque.

WELLMATE no garantiza el cumplimiento de sus requisitos de tamaño ni la eliminación eficaz de olores y gases. Es responsabilidad del contratista o el especialista en tratamiento de agua evaluar todas las variables y seleccionar el depósito correcto.

#### Specifications

Datos técnicos de tanques de aireación UT/HP

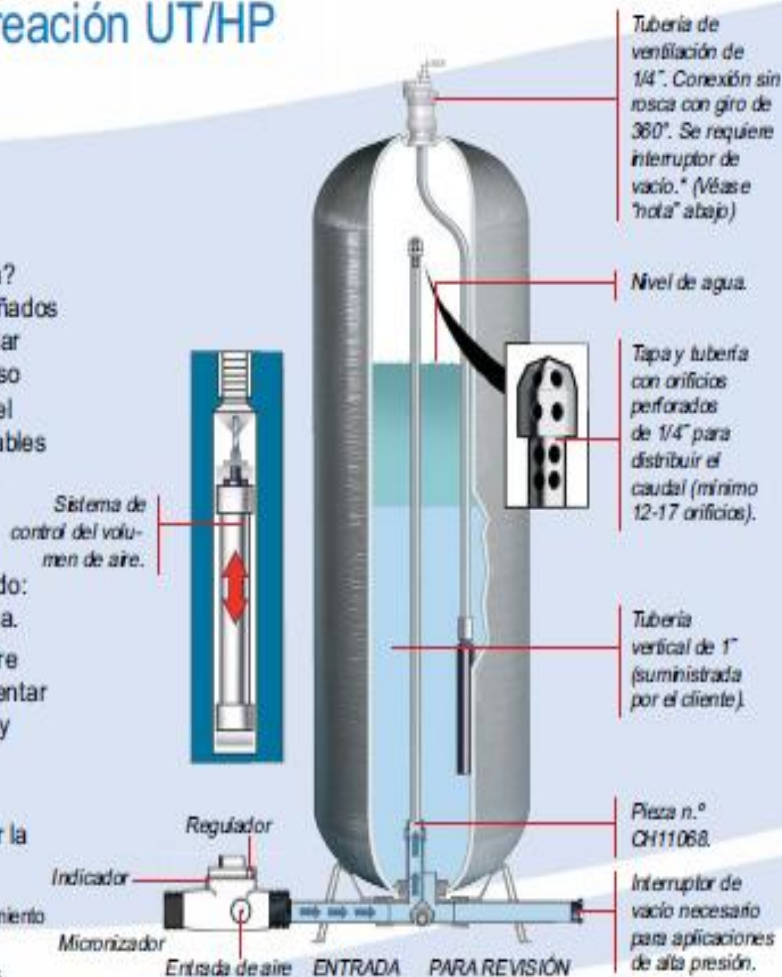
Número de modelo de conexión rápida	Capacidad en litros	Longitud de la tubería vertical de 1" en cm	AVC 1/2 (solo tubería) (cm)	Longitud total AVC en m
UT-30 / HP-7	114	60,96	59,06	88,60
UT40SQ / HP-8SQ	151	40,64	36,83	66,42
UT-40 / HP-9	151	92,25	90,17	119,99
UT-80 / HP-18	303	108,59	101,60	131,12
UT-120 / HP-26	464	134,62	118,11	147,63

NOTA: temperatura de trabajo exterior máxima 49°C. Temperatura de trabajo interior máxima 38°C. Temperatura de trabajo mínima 4°C.

El diámetro, la altura y el peso pueden variar sin previo aviso.

De conformidad con las normas actuales del sector, los factores de extracción se basan en la ley de Boyle. La extracción real variará dependiendo de las variables del sistema. Inclúyase la predicción y el funcionamiento del personal y el calibre y la temperatura de trabajo del sistema.

NOTA: las conexiones flexibles deben instalarse entre las tuberías rígidas y las aberturas del tanque. Deben instalarse a presión positiva (una presión interna negativa de hasta 5" Hg (17 Pa)). Si en algún momento la presión negativa pudiera superar las 5" Hg (17 Pa), debe instalarse un interruptor de vacío adecuado. Si la conexión flexible no se instala correctamente, o no se instala el interruptor de vacío cuando es necesario, la



ADVERTENCIA: para evitar peligros para la salud y el medio ambiente provocados por la acumulación de gases, conecte el accesorio superior para ventilar el gas a una zona segura.

#### Accessories

Pieza n.º CH3029-5	Micronizador
Pieza n.º CH19408	Interruptor de vacío con rosca NPT de 1/4"
Pieza n.º CH11068	Adaptador



Micronizador



Interruptor de vacío





## Dos de las aplicaciones hidroneumáticas más habituales

### Información sobre dimensiones del tanque

Ala hora de seleccionar el tamaño del tanque de WELLMATE para su sistema de agua, debe considerarse tres factores:

- 1 El ritmo de alimentación de la bomba en litros por minuto (LPM).
- 1 El tiempo de ejecución mínimo recomendado de la bomba.
- 1 Los parámetros mínimo (corte) y máximo (desconexión) de presión del sistema.

Una vez que se conocen estos factores, los siguientes cálculos determinarán, en la mayoría de los casos, el modelo correcto para cumplir sus especificaciones.\*

#### CÁLCULO DE LA ASPIRACIÓN

- 1) Ritmo de alimentación de la bomba ..... LPM
- 2) Tiempo de ejecución mínimo de la bomba deseado en minutos ..... Minutos  
(1 minuto, 45 segundos = 1,75 minutos).
- 3) Multiplicar la línea 1 por la línea 2. .... Litros  
Esta es la aspiración mínima o el volumen de agua mínimo disponible necesario.\*

#### CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL TANQUE

- 4) Presión mínima del sistema (corte) ..... kPa/bar
- 5) Presión máxima del sistema (desconexión) ..... kPa/bar
- 6) Utilizando la tabla 2, localice el factor de extracción aplicables a las líneas 4 y 5. .... Factor
- 7) Divida la línea 3 por la línea 6 para determinar el volumen WellMate total requerido. .... Litros
- 8) Consulte los datos de diseño y seleccione el modelo cuyo capacidad total mínima sea superior o igual que la línea 7. .... Modelo

**EJEMPLO:** un sistema que utiliza una bomba de 30,3 LPM con un tiempo de ejecución mínimo de 1 minuto y un rango de presión del sistema de 207-345 kPa:

$$\frac{8 \text{ GPM} \times \text{minuto}}{.30 \text{ (factor)}} = 101 \text{ litros de capacidad mínima del tanque}$$

\*Si el volumen de agua necesario es superior a la cantidad calculada en la línea 3, introduzca dicha cantidad en la línea 3 en lugar del volumen calculado.

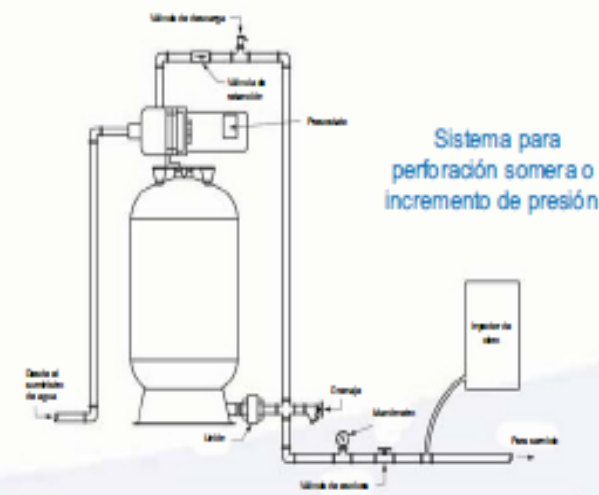


Tabla 2 – Factores de extracción

PRESIÓN MÁXIMA DEL SISTEMA (DESCONEX.) (KPA)/BARES	PRESIÓN MÍNIMA DEL SISTEMA (CORTE) – (kPa)/bares																			
	(138)	(173)	(207)	(242)	(276)	(311)	(345)	(380)	(414)	(449)	(483)	(518)	(552)	(587)	(621)	(656)	(690)	(725)	(759)	
(207)/2.06	.21																			
(242)/2.41	.28	.19																		
(276)/2.76	.34	.26	.17																	
(311)/3.10	.39	.32	.24	.16																
(345)/3.45	.44	.37	.30	.22	.15															
(380)/3.80	.47	.41	.34	.28	.21	.14														
(414)/4.16	.50	.44	.38	.32	.26	.19	.13													
(449)/4.48	.53	.48	.42	.36	.30	.24	.18	.12												
(483)/4.83	.56	.50	.45	.40	.34	.29	.23	.17	.11											
(518)/5.17		.53	.48	.43	.38	.32	.27	.22	.16	.11										
(552)/5.51			.50	.46	.41	.36	.31	.26	.21	.15	.10									
(587)/5.86				.48	.43	.39	.34	.29	.24	.20	.15	.10								
(621)/6.20					.46	.42	.37	.32	.28	.23	.19	.14	.09							
(656)/6.55						.44	.40	.35	.31	.27	.22	.18	.13	.09						
(690)/6.89							.42	.38	.34	.30	.26	.21	.17	.13	.09					
(725)/7.24								.41	.37	.33	.29	.25	.20	.16	.13	.08				
(759)/7.58									.39	.35	.31	.27	.24	.20	.16	.12	.08			
(794)/7.92										.38	.34	.30	.26	.23	.19	.15	.11	.08		
(828)/8.27											.36	.33	.29	.25	.22	.18	.15	.11	.08	
(863)/8.62												.35	.32	.28	.25	.21	.18	.14	.11	.07

De conformidad con las normas actuales del sector, los factores de extracción se basan en la ley de Boyle. La extracción real variará dependiendo de las variables del sistema, incluidas la presión y el fundoneamiento del presurizador y el cable, la presión de presurización y la temperatura de trabajo del sistema.

## 5. Electrobombas

# CP

### Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Utilizo civil
-  Utilizo agrícola
-  Utilizo industrial



#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta 900 l/min (54 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta 110 m

#### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta 7 m
- Temperatura del líquido de -10 °C hasta +90 °C
- Temperatura ambiente de -10 °C hasta +40 °C
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba 11 bar
- Funcionamiento continuo S1

#### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD  
ISO 14001: AMBIENTE

#### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio uso en el sector civil, agrícola e industrial, para el suministro de agua, para instalaciones de acondicionamiento o de enfriamiento, para la irrigación, etc.

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

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado n° 002098434 para CP 160, CP210
- Modelo Italiano registrado n° 72753 para CP 680, CP 700, 750

#### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Sello mecánico especial
- Eje motor en acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4401 (AISI 316) para CP 680, CP 700, 750
- Otros voltajes
- Protección IP XS para CP 160

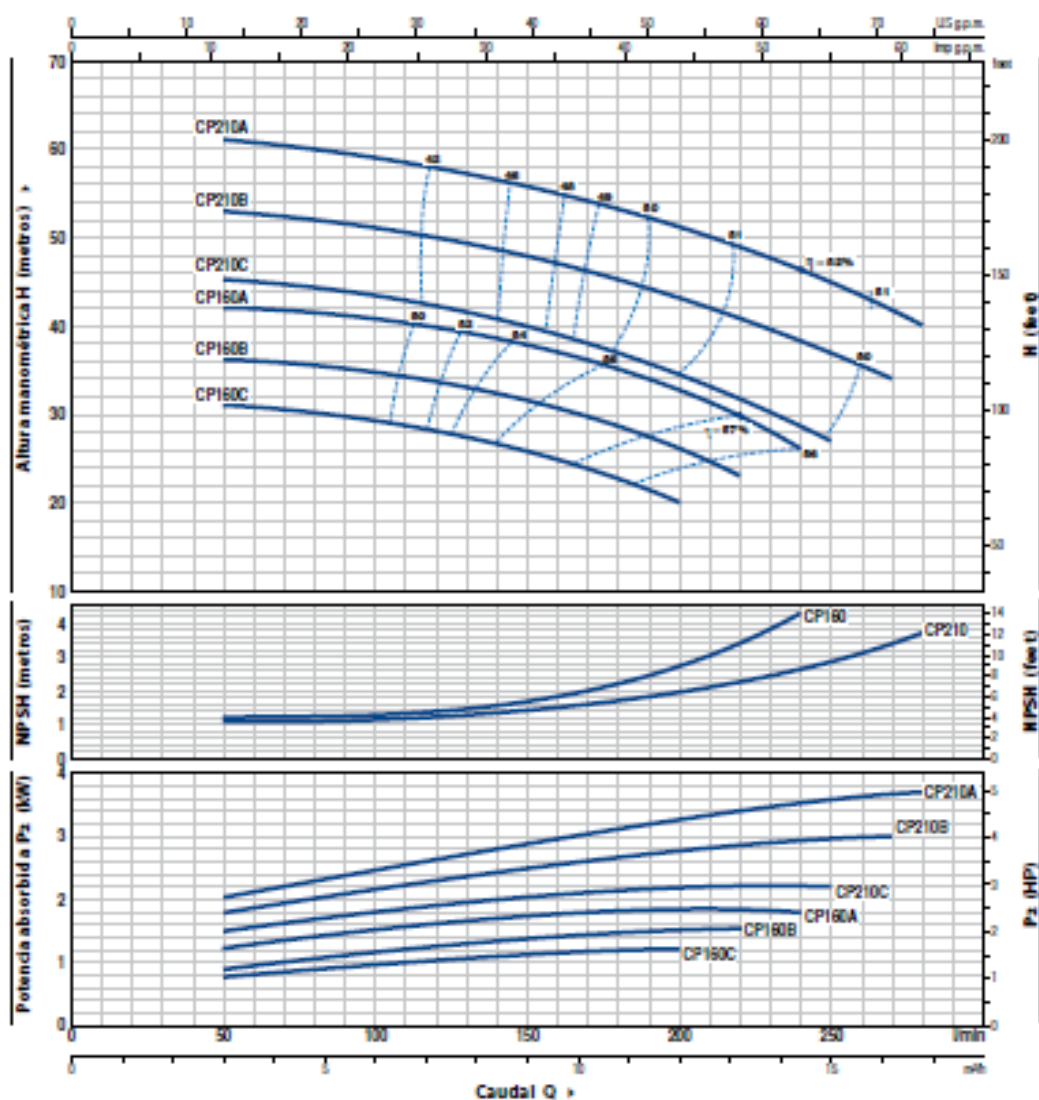
#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

# CP 160-210

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P2)		Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP		▲	0	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.2	14.4	15	16.2	16.8		
					0	50	75	100	125	150	175	200	220	240	250	270	280			
CPm 160C	CP 160C	1.1	1.5	IE2	32	31	30.5	29.5	28	26	23	20								
CPm 160B	CP 160B	1.5	2	IE3	37	36	35.5	34.5	33.5	31.5	29	26.5	23							
-	CP 160A	2.2	3		43	42	41.5	40.5	39.5	38	35.5	33	30	26						
CPm 210C	CP 210C	2.2	3		46	45.5	44.5	43.5	42	40	37.5	34.5	32	28.5	27					
-	CP 210B	3	4	54	53	52	51	49.5	48	45.5	43	40	38.5	37	34					
-	CP 210A	4	5.5	61	61	60	59	57.5	56	53.5	51	49	46.5	45	42	40				

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)

## Electrobombas centrífugas

-  Agua limpia
-  Utilizo doméstico
-  Utilizo civil



### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **160 l/min** (9,6 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **57 m**

### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para CP 600-610-620
  - **10 bar** para CP 650-660-670
- Funcionamiento continuo **S1**

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD  
ISO 14001: AMBIENTE

### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines.

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

### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado nº 002098434

### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Electrobomba con rodete en tecnopolimero (CP600X, CP610X, CP620X)
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP XS para CP 170, CP 170M

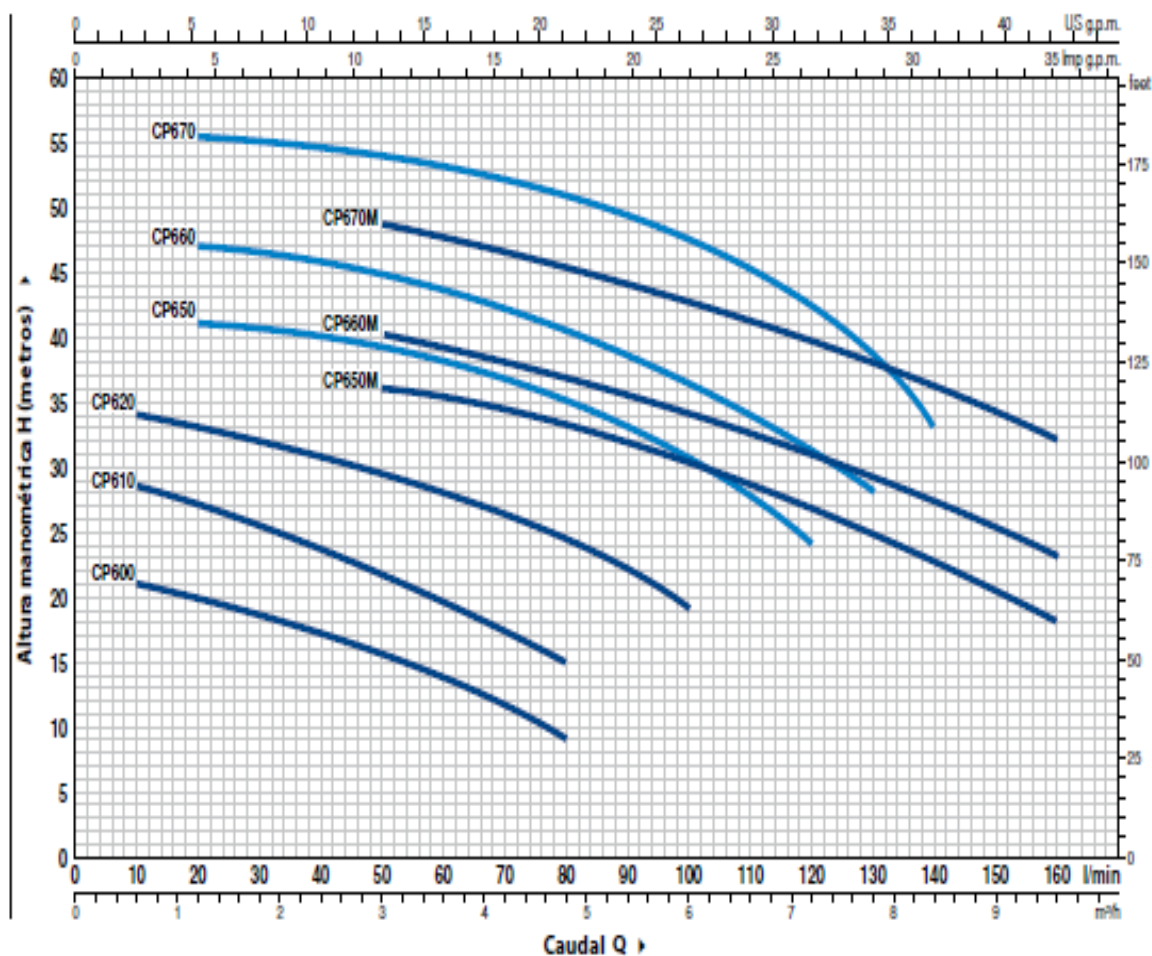
### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta



**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

**60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m**



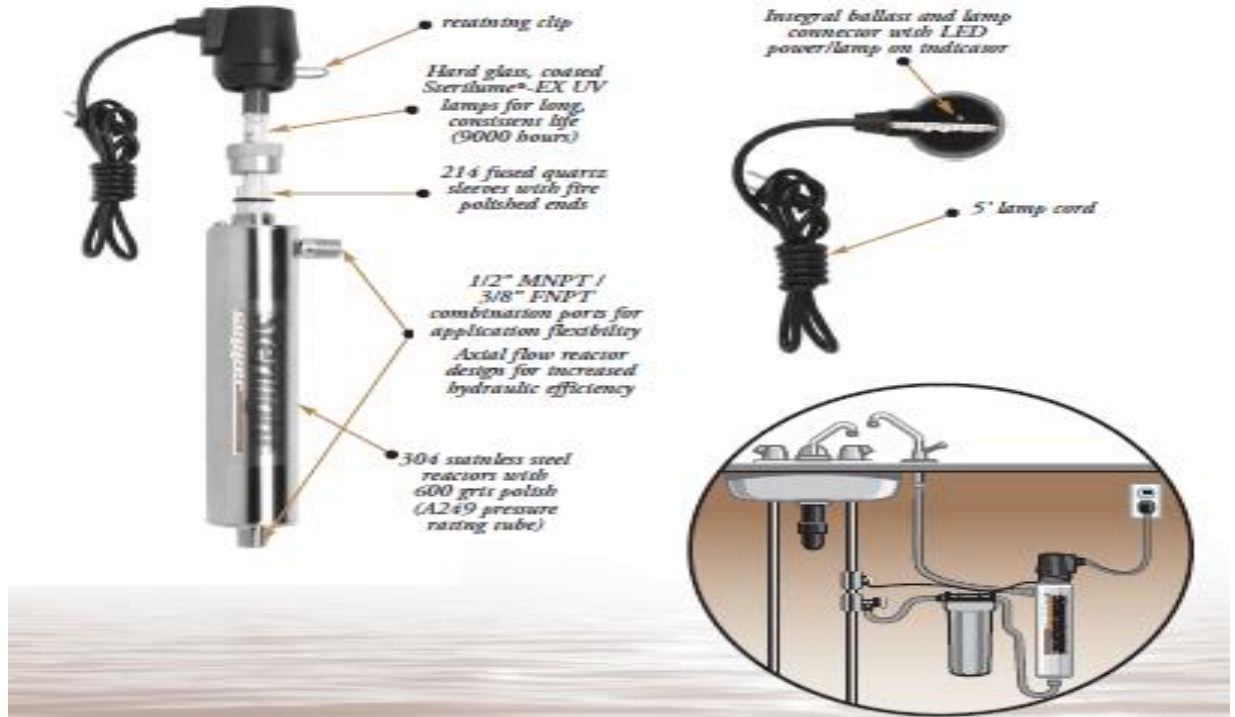
MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6		
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 660	CP 660	1.5	2		IE3	48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
CPm 670	CP 670	2.2	3			57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33			
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		IE2	39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		IE3	43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23	
CPm 670M	CP 670M	2.2	3			51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

## 6. Equipo de radiación UV

*Sterilight Copper* ultraviolet disinfection systems are specifically designed for point-of-use applications where microbiological control is required. Copper UV units control bacteria, virus and protozoan cyst (specifically *Giardia lamblia* and *cryptosporidium*) all in one complete design.



### SPECIFICATIONS

	SC1	SC2.5	SC4	
Flow Rate	16 mJ/cm <sup>2</sup> US Public Health	7.5 lpm (2 gpm) (0.45 m <sup>3</sup> /Hr.)	15.9 lpm (4.2 gpm) (0.95 m <sup>3</sup> /Hr.)	28.4 lpm (7.5 gpm) (1.70 m <sup>3</sup> /Hr.)
	30 mJ/cm <sup>2</sup> R-Can Standard	4 lpm (1 gpm) (0.24 m <sup>3</sup> /Hr.)	9.5 lpm (2.5 gpm) (0.57 m <sup>3</sup> /Hr.)	15 lpm (4 gpm) (0.91 m <sup>3</sup> /Hr.)
	40 mJ/cm <sup>2</sup> NSF/EPA	2 lpm (0.5 gpm) (0.12 m <sup>3</sup> /Hr.)	7.2 lpm (1.9 gpm) (0.43 m <sup>3</sup> /Hr.)	10.6 lpm (2.8 gpm) (0.64 m <sup>3</sup> /Hr.)
Dimensions	Length	34.3 cm (13.5")	41.9 cm (16.5")	46.2 cm (18.2")
	Cell Diameter	6.5 cm (2.5")	6.5 cm (2.5")	6.5 cm (2.5")
Shipping Weight	1.8 kg (4 lbs)	2 kg (4.5 lbs)	2.8 kg (6.5 lbs)	
Electrical	Volts	100-130V / 50-60 Hz <sup>1</sup>	100-130V / 50-60 Hz <sup>1</sup>	100-130V / 50-60 Hz <sup>1</sup>
	Power Consumption	12W	16W	19W
	Lamp Watts	10W	14W	17W
Maximum Operating Pressure	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	
Ambient Water Temperature	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	
Lamps/Quartz Sleeves	YES	YES	YES	
Inlet/Outlet Port Size	1/2" MNPT / 3/8" FNPT	1/2" MNPT / 3/8" FNPT	1/2" MNPT / 3/8" FNPT	
Visual "Power On"	YES	YES	YES	
Reactor Chamber Material	304 SS	304 SS	304 SS	

1. 200-250V/50-60Hz available on request

## 7. Bomba dosificadora automática Smart digital DDA

Datos		7.5-16	12-10	17-7	30-4	
	Relación de reducción (rango ajuste)	(1-X)	3000	1000	1000	1000
		[l/h]	7,5	12,0	17,0	30,0
	Capacidad de dosificación máxima	gph	2,0	3,1	4,5	8,0
		[l/h]	3,75	6,00	8,50	15,00
	Capacidad máx. dosificadora con SlowMode 50 %	gph	1,00	1,55	2,25	4,00
		[l/h]	1,88	3,00	4,25	7,50
	Capacidad máx. dosificadora con SlowMode 25 %	gph	0,50	0,78	1,13	2,00
		[l/h]	0,0025	0,0120	0,0170	0,0300
	Capacidad de dosificación mínima	gph	0,0007	0,0031	0,0045	0,0080
		bar	16	10	7	4
	Presión máx. de funcionamiento	Psi	230	150	100	60
		[Carreras/min]	190	155	205	180
	Frecuencia máx. de carrera <sup>1)</sup>		190	155	205	180
	Volumen de carrera	ml/	0,74	1,45	1,55	3,10
Datos mecánicos	Exactitud de repetibilidad	(%)	± 1			
	Altura máx. aspiración durante funcionamiento <sup>2)</sup>	[m]	6			
	Altura de aspiración máx. cuando se ceba con válvulas mojadas <sup>2)</sup>	[m]	2	3	3	2
	Diferencia mín. de presión entre el lado de aspiración y la descarga.	bar	1 (FC y FCM: 2)			
	Presión máx. entrada, lado aspiración	[bar]	2			
	Viscosidad máx. en SlowMode 25 % con válvulas de resorte <sup>3)</sup>	[mPas] (= cP)	2500	2500	2000	1500
	Viscosidad máx. en SlowMode 50 % con válvulas de resorte <sup>3)</sup>	[mPas] (= cP)	1800	1300	1300	600
	Viscosidad máx. en SlowMode con válvulas de resorte <sup>3)</sup>	[mPas] (= cP)	600	500	500	200
	Viscosidad máx. sin válvulas tipo resorte <sup>3)</sup>	[mPas] (= cP)	50	300	300	150
	Diámetro mín. interno de tubo/tubería en lado descarga/aspiración <sup>4), 2)</sup>	[mm]	4	6	6	9
Diámetro mín. interno de tubo/tubería en lado descarga/aspiración (viscosidad alta) <sup>4)</sup>	[mm]	9				
Temperatura mín./máx. líquido	[°C]	-10/45				
Temperatura ambiente mín./máx.	[°C]	0/45				
Datos eléctricos	Voltaje	[V]	100-240 V, 50/60 Hz			
	Logitud del cable de suministro	[m]	1,5			
	Corriente máx. de entrada para 2 ms a 100 V	[A]	8			
	Corriente máx. de entrada para 2 ms a 230 V	[A]	25			
	Consumo máx. de potencia P <sub>1</sub>	[W]	24 <sup>5)</sup>			
	Clase de protección		IP 65, Nema 4X			
	Clase de seguridad eléctrica		II			
Entrada de señal	Carga máxima de la entrada de nivel bajo/depósito vacío/control por impulsos/parada externa		12 V, 5 mA			
	Longitud mín. de pulso	[ms]	5			
	Frecuencia máx. de pulso	[Hz]	100			
	Impedancia a entrada analógica 0/4-20 mA	[Ω]	15			
	Resistencia máx. en nivel/circuito de pulso	[Ω]	1000			
Salida de señal	Carga resistiva máx. en salida de relé	[A]	0,5			
	Tensión máx. en salida de relé/analógica	[V]	30 VDC/30 VAC			
	Impedancia a salida analógica 0/4-20 mA	[Ω]	500			
Peso/tamaño	Peso (PVC, PP, PVDF)	[kg]	2,4	2,4	2,6	
	Peso (acero inoxidable)	[kg]	3,2	3,2	4,0	
	Diámetro membrana	[mm]	44	50	74	
Nivel de ruido	Nivel máx. de presión sonora	[dB(A)]	60			
Certificados		CE, CB, CSA-US, NSF61, GOST, C-Tick				

1) La máxima frecuencia de la carrera depende de la calibración

2) Datos basados en mediciones con agua

3) Altura de aspiración máxima: 1 m, capacidad dosificadora reducida (aprox. 30 %)

4) Longitud de tubo de aspiración: 1,5 m, longitud de tubo de descarga: 10 m (a viscosidad máx.)

5) Con E-box

### Anexo 3. Consentimiento informado

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

## COMPLEJO INDUSTRIAL SKAVOS S.A.C.

RUC: 20550808103 // Dirección legal: Jr. Marco Polo 118, Of. 301, Callao.  
Infraestructura industrial pesquero: Parcela Rustica N° 1C, Mz. AS-AQ, Callao  
Telefax: 4656884 // Cel.: 998321838 // E-Mail: [pesqueraskavos@yahoo.es](mailto:pesqueraskavos@yahoo.es)

### CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN

Callao 6 de enero del 2018

El Gerente general del Complejo Industrial Skavos SAC, que suscribe:

#### **AUTORIZA**

Que, el Sr.: **WILBER PÉREZ SULLCARAY**, identificado con el DNI:46935328, Bachiller en Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Callo, quien ha laborado en esta empresa desde el 6 de marzo del 2017- hasta el 30 de diciembre del 2017, a quien se le atribuyo el siguiente cargo: **INGENIERO JUNIOR DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO**; queda autorizado para investigar, publicar los resultados y fines que estime conveniente del siguiente proyecto de investigación: **"OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA CALDERA MEDIANTE OSMOSIS INVERSA EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL SKAVOS S.A.C."**

Se expide la presente constancia de autorización a solicitud del interesado para fines que estime conveniente.

Atentamente,

**COMPLEJO INDUSTRIAL SKAVOS S.A.C.**  
  
**SPIRIDON KALINICOS**  
Gerente General