



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

“Análisis técnico económico y financiero de implementación de sistema osmosis inversa para el tratamiento del agua de alimentación de la caldera piro-tubular de 400 BHP marca Apin para aumentar la producción de vapor en la empresa Alicorp S.A.A - Trujillo”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR

Willian Rafael Cotrina Castañeda

ASESOR

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Generación, Transmisión y Distribución de energía

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA OSMOSIS INVERSA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR DE 400 BHP MARCA APIN PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE VAPOR EN LA EMPRESA ALICORP S.A.A - TRUJILLO”

Willian Rafael Cotrina Castañeda

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Jorge Adrián Salas Ruiz

Presidente

Ing. Felipe Eduardo De La Rosa Bocanegra

Secretario

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

Vocal

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A todos mis amigos que acompañaron en transcurso de estudios y me apoyaron de diferentes formas a lograr mis metas.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Universidad César Vallejo por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi profesor de tesis, Ing. Felipe Eduardo De La Rosa Bocanegra por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

De igual manera agradecer a mi profesor de Investigación y de Tesis de Grado, Ing. Martín Tzéfilo Sifuentes Inostroza por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su retitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarse como persona e investigador.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo: Willian Rafael Cotrina Castañeda, con DNI N° 45061525, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, marzo del 2018.

Willian Rafael Cotrina Castañeda

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “*Análisis técnico económico y financiero de implementación de sistema osmosis inversa para el tratamiento del agua de alimentación de la caldera pirotubular de 400 BHP marca Apin para aumentar la producción de vapor en la empresa Alicorp S.A.A - Trujillo*”, con la finalidad de reducir los costos en consumo de agua de alimentación, costos en consumo de combustible e incrementar la eficiencia energética del caldero pirotubular, aumentando la capacidad de producción de vapor saturado. En cumpliendo con el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, con el propósito de cumplir con los requisitos para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico.

Por tanto, considero que el esfuerzo en el desarrollo del presente trabajo cumpla y satisfaga sus expectativas. Pongo a su consideración, este documento para su respectiva evaluación y de esta manera poder obtener su aprobación.

El Autor.

ÍNDICE

Página del jurado	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaración de Autenticidad	iv
Presentación	v
Resumen.....	viii
Abstrac	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática.....	2
1.2. Trabajos Previos	6
1.3. Teorías relacionadas al tema	8
1.3.1. Balance de masa y energía.....	8
1.3.2. Eficiencia energética de una caldera	8
1.3.3. Poder calorífico inferior de combustible	15
1.3.4. Balances de combustión	15
1.3.5. Periodo de retorno de la inversión	17
1.3.6. Valor actual neto.....	17
1.3.7. Tasa interna de retorno	18
1.4. Formulación del problema	19
1.5. Justificación del estudio	19
1.6. Hipótesis	19
1.7. Objetivos	20
1.7.1. Objetivo General	20
1.7.2. Objetivos específicos	20
II. MÉTODO	21
2.1. Diseño de investigación	22
2.2. Variables, operacionalización	23
2.3. Población y muestra	25
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
2.5. Métodos de análisis de datos	25

III. RESULTADOS	26
3.1. Análisis actual al caldero pirotubular de 400 BHP.....	27
3.1.1. Evaluación de los parámetros del caldero	27
3.1.2. Calor de combustión en caldero	31
3.1.3. Pérdidas energéticas iniciales en el caldero	33
3.2. Análisis de mejora al caldero pirotubular de 400 BHP	39
3.2.1. Flujo másico de purgas	40
3.2.2. Flujo másico de vapor saturado	40
3.2.3. El ahorro de combustible petróleo residual N°6	40
3.2.4. Rendimiento energético del caldero	41
3.3. Dimensionamiento y selección de bomba hidráulica.....	42
3.3.1. Parámetros de operación de la bomba hidráulica	42
3.4. Evaluación económico	43
3.4.1. Beneficio útil	43
3.4.2. Inversión en activos fijos del proyecto	44
3.4.3. Periodo del retorno de la inversión	45
3.5. Análisis financiero del proyecto	46
IV. DISCUSIÓN	47
V. CONCLUSIÓN	50
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS	54
ANEXOS	56
A.1. Ficha técnica de ensayo - petróleo industrial N°6 – Petroperú	57
A.2. Análisis de gases del caldero de 400 BHP - Equipo Testo 300L	58
A.3. Propiedades termofísicas del aire	59
A.4. Calor específico a presión constante del petróleo industrial	60
A.5. Tabla de propiedades termofísicas de los gases residuales	61
A.6. Propiedades termofísicas del agua	62
A.7. Propiedades termofísicas del vapor	63
A.8. Ficha técnica del equipo de osmosis inversa	64
A.9. Cotización de equipo de osmosis inversa y accesorios	67
A.10. Fotografías de la caldera de 400BHP marca Apin	78

RESUMEN

El presente estudio de investigación, pretende determinar la factibilidad técnica económica de implementación de sistema de osmosis inversa en reemplazo de ablandadores de resina sintética para el tratamiento de la dureza del agua de alimentación del caldero pirotubular de 400 BHP de la empresa Alicorp S.A.A y lograr aumentar la generación de vapor saturado. El análisis actual al caldero, determino que el flujo másico de purgas con el sistema de tratamiento de agua con ablandadores es 1692 Kg/h con agua de alimentación de una dureza de 1020ppm. Para la evaluación del rendimiento energético se evaluó de manera indirecta, obteniendo un rendimiento energético de 74.92%. Con la implementación de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento del agua de alimentación del caldero pirotubular de 400 BHP, se redujo el flujo másico de purgas a 54.18 Kg/h con agua de alimentación con una dureza de 48.75ppm, permitiendo que el flujo másico de vapor incremente a 4917.82 Kg/h, con un ahorro en petróleo residual N°6 de 5 gal/h, incrementando el rendimiento energético a 81.55%. Para el transporte del agua de alimentación desde el equipo de osmosis inversa hacia el caldero se seleccionó una bomba hidráulica modelo 32 -160 Hidrostral con una potencia de 0.3 HP. El análisis económico, con la implementación del sistema de osmosis inversa, permitió un ahorro en consumo de sal de 45625.00 S./año, en agua de alimentación 33854.44 S./año y en combustible 26327.62 S./año, obteniendo un beneficio de 105807.56 S./año, con una inversión inicial de 124040.00 S./ y un periodo de retorno de la inversión de 1.17 años. El análisis financiero, arrojó un valor actual neto de 85431 \$, con una tasa interna de rentabilidad de 81%, estableciendo que el proyecto es factible

Palabras claves: Sistema de osmosis inversa, producción de vapor, caldero pirotubular.

ABSTRACT

The present research study aims to determine the economic technical feasibility of implementing a reverse osmosis system in replacement of synthetic resin softeners for the treatment of the hardness of the feed water of the 400 BHP pirotubular cauldron from the company Alicorp SAA and to increase the generation of saturated steam. The current analysis to the cauldron, determined that the mass flow of purges with the water treatment system with softeners is 1692 Kg / h with feed water of a hardness of 1020ppm. For the evaluation of energy efficiency, it was evaluated indirectly, obtaining an energy yield of 74.92%. With the implementation of a reverse osmosis system for the treatment of feed water of the 400 BHP pirotubular cauldron, the mass flow of purges was reduced to 54.18 Kg / h with feed water with a hardness of 48.75ppm, allowing the flow steam mass increase to 4917.82 Kg / h, with a saving in residual oil N ° 6 of 5 gal/ h, increasing the energy efficiency to 81.55%. A hydraulic pump model 32 - 160 Hidrostal with a power of 0.3 HP was selected to transport the feed water from the reverse osmosis equipment to the cauldron. The economic analysis, with the implementation of the reverse osmosis system, allowed a saving in salt consumption of 45625.00 S./year, in feed water 33854.44 S./year and in fuel 26327.62 S./year, obtaining a profit of 105807.56 S./year, with an initial investment of 124040.00 S. / and a return period of 1.17 years. The financial analysis showed a net present value of \$ 85431, with an internal rate of return of 81%, establishing that the project is feasible.

Key Word: *Reverse osmosis system, steam production, pirotubular cauldron.*

I.INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática:

A nivel mundial los diversos sistemas de tratamientos de agua de alimentación a calderas pirotubulares en plantas térmicas a través de osmosis inversa o ablandadores por resina, para reducir la dureza contenida en los diversos solidos disueltos del agua (cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos), permite mejor la operacionalización del caldero en cuanto al aumento de la generación de vapor saturado seco, permitiendo que el caldero consuma menos combustible y aumente su vida útil, generando grandes ahorros económicos a la organización u/o empresa, (MITINCI, 2012).

Alicorp S.A.A, es una corporación con ubicaciones en Perú, Ecuador, Chile, Argentina, Colombia y Brasil. En Perú es la primera productora de insumos de consumo masivo como harinas, pastas y galletas, además de producir también productos de limpieza. Para lograr una producción eficiente en sus diversos procesos térmicos de transformación, necesita de la generación de vapor saturado seco a través de un caldero pirotubular de 400BHP marca Apin, (Departamento de Mantenimiento Empresa Alicorp S.A.A, 2014).

La planta fuerza de la empresa Alicorp S.A.A, dedicada a la generación de vapor saturado para los distintos procesos de transformación, tiene problemas con la producción de vapor del caldero de 400BHP a 120Psig, el cual está diseñado para producir 6264 Kg/h, pero solo produce 3280 Kg/h, es decir trabaja al 52.40% de la carga máxima, existiendo deficiencia de producción de vapor debido al mal tratamiento del agua de alimentación que actualmente se hace a través de ablandadores de resina sintética zeolita, (Departamento de Mantenimiento Empresa Alicorp S.A.A, 2014).

En actual sistema de tratamiento de agua de alimentación del caldero, a través de 2 ablandadores, los cuales tratan el agua de pozo con una dureza en solidos disueltos totales de 1350ppm, reduciéndola solo a 1020ppm, conduciendo que el caldero tenga un exceso de flujo másico en purgas continuas (figura 01). Según lo establecido en la norma UNE 9075 y en las NTP 350.301, la dureza del agua de alimentación permisible en caldera debe ser 300ppm con ablandadores y 16 ppm con sistemas de osmosis inversa, (Ministerio Energía y Minas, 2010).

El deficientemente tratamiento del agua de alimentación, trae dificultades en la operación del caldero de 400 BHP, como la elevación de la temperatura de los gases de chimenea de 265°C, sobrepasando los valores permisibles de 150°C a 200°C, originando el incremento del flujo másico de petróleo industrial N°6 y la caída de la eficiencia energética, (Ministerio Energía y Minas, 2010).

A consecuencia de lo expuesto, se plantea el diseño de un sistema de tratamiento de agua por osmosis inversa capaz de retener el 95% de la dureza contenida en los sólidos disueltos del agua de pozo, para obtener un mínimo de 48.75 ppm en el agua de alimentación (figura 02), logrando de esta manera aumentar la producción de vapor satura, incrementar la eficiencia y reducir los costos en consumo de combustible.

En la figura 01, se muestra el actual sistema de tratamiento de agua por ablandadores, donde el caldero pirotubular de 400 BHP produce 3280 Kg/h de vapor saturado, con agua de alimentación a 70°C. La dureza del agua de pozo promedio es 1350 ppm la cual se reduce a 978 ppm, el condensado tiene una contaminación de 42 ppm, obteniendo una dureza de en el agua de alimentación de 1020 ppm.

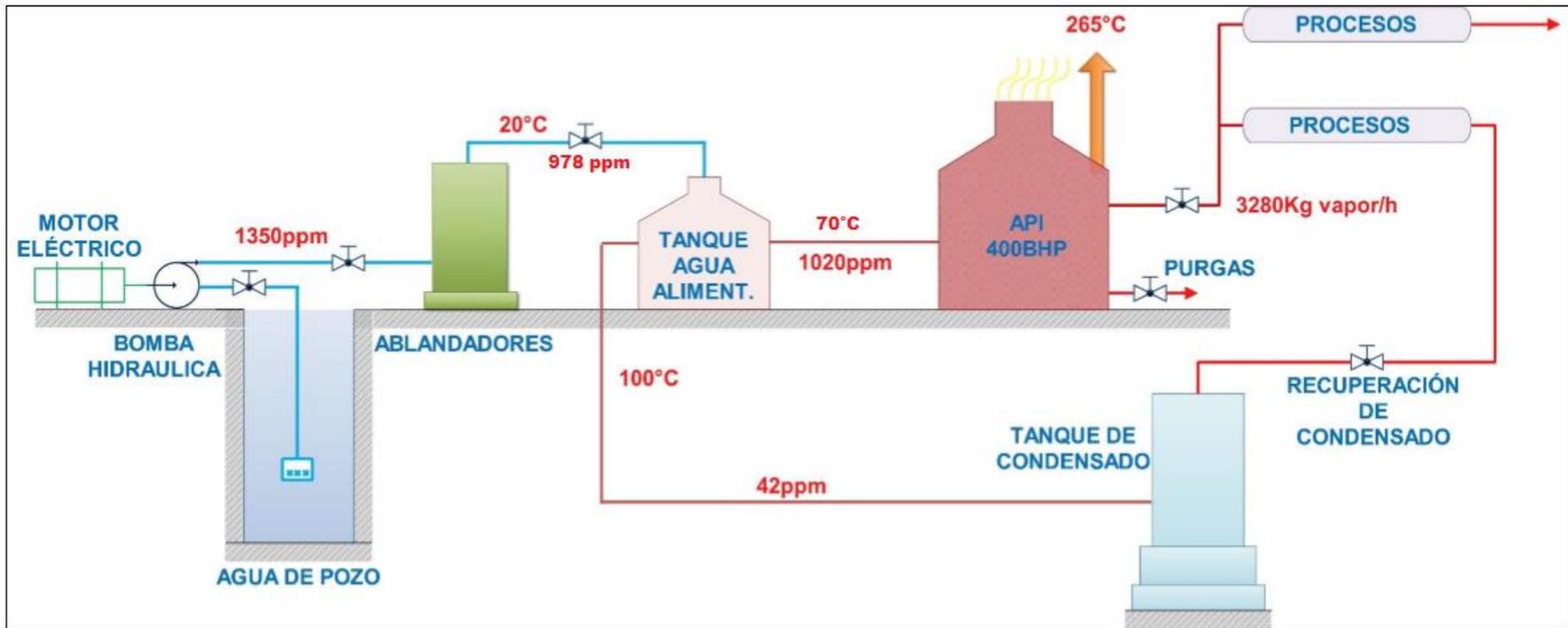


Figura 01: Sistema actual de tratamiento de agua de alimentación por ablandadores para caldero pirotubular de 400BHP, empresa Alicorp S.A.A, 2014.

En la figura 02, se detalla la implementación del sistema de osmosis inversa con agua de pozo a 1350ppm que al pasar por las membranas con un rendimiento promedio de 99.5% para retener los SDT, se reduce a 6.75ppm, más los 42ppm del condensado, tendríamos un total en SDT de 48.75ppm en agua de alimentación a la caldera. También se detalla que en un sistema de osmosis inversa del 100% de flujo de agua, el 40% se rechaza por arrastre conteniendo sales que han sido separadas por las membranas, obteniendo 60% de permeado siendo este el porcentaje de flujo de agua útil.

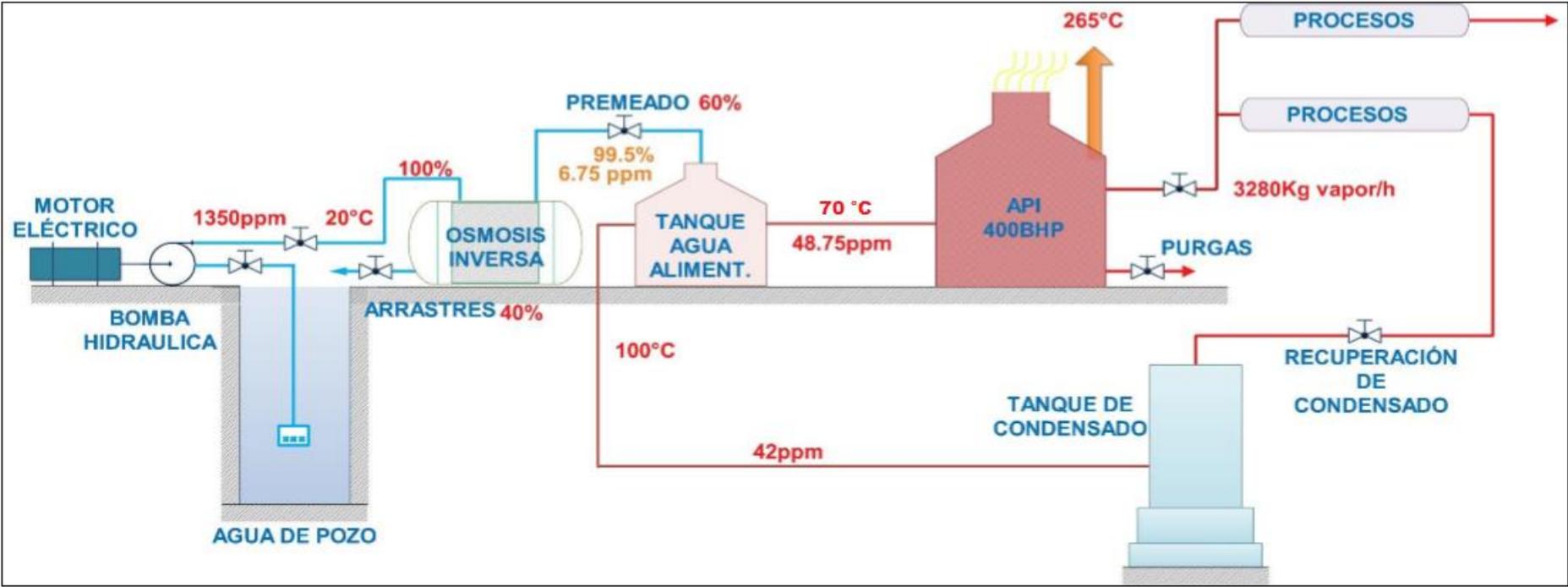


Figura 02: Sistema propuesto de tratamiento de agua de alimentación por osmosis inversa para caldero pirotubular de 400BHP, empresa Alicorp S.A.A, 2014.

1.2. Trabajos Previos

Andrade (2005), en su trabajo de tesis titulado “Mantenimiento preventivo para calderas y circuitos de refrigeración en función del tratamiento del agua de alimentación” realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM) para optar el grado de Ingeniero Mecánico. Detalla el estudio de una caldera pirotubular de 800BHP, el cual en condiciones iniciales con ablandadores produce 7516.8 Kg/h, trabajando a un 60% de su carga máxima, con una presión de 130Psig, con agua de alimentación de 850ppm proveniente de agua de río, con una dureza en purgas de 3500ppm, con un consumo de combustible de 120 gal/h, con un rendimiento energético de 72%. Pero con la implementación de un sistema de osmosis inversa la dureza del agua de alimentación se redujo 60ppm, la capacidad del caldero incremento a 81%, incrementando el rendimiento del caldero a 83%, con un beneficio económico de 55000.00 \$/año, con una inversión de 58000.00 \$/año y un periodo de retorno de la inversión de 1.05 años.

Pírela (2008), en su investigación titulada “Evaluación del sistema de generación de agua desmineralizada de la planta de tratamiento de aguas blancas para la alimentación de las calderas de una cervecería” realizada en la Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica (EIME) para optar el grado de Ingeniero Mecánico Electricista. Expone el estudio de 4 calderas pirotubulares con una potencia de instalación total de 3000BHP, las cuales cuentan con un sistema de tratamiento de agua por 3 ablandadores, los cuales tratan el agua de pozo de 800ppm a 500ppm, con una capacidad de carga de los calderos de producción de vapor de 72%, con un rendimiento energético de 70%, implementando un sistema de osmosis inversa reduciendo la dureza del agua de alimentación hasta el valor medio de 25ppm, aumentando el rendimiento del caldero a 85% y la producción de vapor saturado a 86%, con un beneficio en ahorro en sal de 220000.00 S./año.

Piña (2010), en su estudio de investigación titulado “Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa” realizada en la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM) para optar el grado de Ingeniero Mecánico. Describe el análisis general comparativo de análisis de sistemas de tratamiento de agua de alimentación por ablandadores y osmosis inversa en calderas pirotubulares con petróleo residual N°6, detallando que con la implementación de osmosis inversa el aumento de producción de vapor es en promedio del 10 a 15%, el rendimiento energético de 5 a 8% y el ahorro de combustible de 3 a 7 gal/h.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Balance de masa y energía

1.3.1.1. Balance de materia o masa: Es la ley más básica de la física, que detalla que la masa no puede crearse ni destruirse solo se transforma. Por lo tanto, la masa que ingresa a un determinado sistema debe ser la misma al ser evacuada de dicho sistema, (Kenneh y Donald, 2010).

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

- \dot{m}_e : Flujo másico de entrada al sistema $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$
- \dot{m}_s : Flujo másico de Salida del sistema $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$

1.3.1.2. Balance de energía: Es la ley fundamental de la física, que explica que el calor intercambiado y acumulado en un sistema, debe ser igual al evacuado después del determinado proceso, (Cengel, 2007).

$$\sum \dot{m}_e * h_e = \sum \dot{m}_s * h_s \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

- \dot{m}_e : Flujo másico de entrada al sistema $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$
- h_e : Entalpia específica del fluido de entrada $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right]$
- \dot{m}_s : Flujo másico de Salida del sistema $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$
- h_s : Entalpia específica del fluido de salida $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right]$

1.3.2. Eficiencia energética de una caldera:

Para evaluar la eficiencia energética de una caldera, se procede al método indirecto, que se fundamenta en determinar las 6 pérdida principales ocurridas en un caldero, tales como: pérdida por gases residuales, pérdida por convección pared – medio ambiente, pérdida por acumulación de hollín en tubos de fuegos, pérdida por combustión incompleta, pérdida por radiación y pérdida por purgas, (Broatch, 2010).

$$\eta_{\text{energ}} = 100\% - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6) \% \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

- L_1 : Pérdida de calor por gases residuales [%]
- L_2 : Pérdida de calor por combustión incompleta [%]
- L_3 : Pérdida de calor por calor hollín [%]
- L_4 : Pérdida de calor por purgas [%]
- L_5 : Pérdida de calor por convección [%]
- L_6 : Pérdida de calor por radiación [%]

1.3.2.1. Pérdida de calor por gases residuales: Es la pérdida más relevante y de mayor porcentaje en una caldera, depende principalmente de la temperatura de gases residuales, es decir a mayor temperatura de los gases, mayor es la pérdida porcentual. También depende del porcentaje de dióxido de carbono, exceso de aire y del tipo de combustible, (Beltrán, 2008).

$$L_1 = \frac{H_1}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

- H_1 : Es la potencia pérdida por gases residuales [KW]
- H_T : Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

Y la potencia pérdida de los gases residuales, (Beltrán, 2008):

$$H_1 = \dot{m}_{\text{wg}} * \bar{C}_{P_{\text{wg}}} * (T_{\text{wg}} - T_e) \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

- \dot{m}_{wg} : Flujo másico de gases residuales [Kg/s]
- $\bar{C}_{P_{\text{wg}}}$: Calor específico promedio de la mezcla gas y aire [KJ/Kg°C]
- T_{wg} : Temperatura de gases residuales [°C]
- T_e : Temperatura del medio ambiente [°C]

1.3.2.2. Pérdida de calor por combustión incompleta: Esta pérdida involucra los gases presentes en los gases combustión, tales como: monóxido de carbono, hidrogeno y metano (CO, H₂ y CH₄). Se debe a las partículas de carbono que no se queman durante la combustión y que, combinado al oxígeno, forman el monóxido de carbono evacuado en los gases residuales, (Beltrán, 2008).

$$L_2 = \frac{H_2}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

- H₂: Es la potencia pérdida por combustión incompleta [KW]
- H_T: Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

Y la potencia pérdida por combustión incompleta, (Beltrán, 2008):

$$H_2 = \dot{V}_{wg} * r_{co} * PCI_{co} \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

- \dot{V}_{wg} : Flujo volumétrico de los gases residuales $\left[\frac{m^3}{s}\right]$
- r_{co}: Participación volumétrica del monóxido de carbono.
- PCI_{co}: Poder calorífico inferior volumétrico del monóxido de carbono [KJ/Kg],
teniendo un valor promedio de $12720 \frac{KJ}{m^3}$

El flujo volumétrico de los gases residuales, (Beltrán, 2008):

$$\dot{V}_{wg} = \frac{\dot{m}_{wg}}{\bar{\rho}_{wg}} \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

- \dot{m}_{wg} : Flujo másico de gases residuales [Kg/s]
- $\bar{\rho}_{wg}$: Densidad promedio de los gases residuales $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

1.3.2.3. Pérdida de calor por Hollín: Esta pérdida se debe a la acumulación de hollín en las paredes de los tubos de fuego, debido a la mala calidad del combustible o tipo de combustible que no se llega a quemar por completo en la combustión aire y combustible, (Beltrán, 2008).

$$L_3 = \frac{H_3}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

H_3 : Es la potencia pérdida por Hollín [KW]

H_T : Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

Y la potencia pérdida por hollín, (Beltrán, 2008):

$$H_3 = \dot{m}_{wg} * g_c * PCI_C \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

▪ \dot{m}_{wg} : Flujo másico de gases residuales [Kg/s]

▪ g_c : Participación másica del carbono.

▪ PCI_C : Poder calorífico inferior del carbono $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$, tiene el valor de $32714.7 \frac{KJ}{Kg}$

1.3.2.4. Pérdida de calor por purgas: esta pérdida se debe a la acumulación de una capa de caliche en la superficie lateral exterior de los tubos de fuego, que impide la completa transferencia de calor de los gases de combustión hacia el agua. El factor más relevante son los sólidos disueltos totales contenidos en el agua, (Beltrán, 2008).

$$L_4 = \frac{H_4}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

H_4 : Es la potencia pérdida por purgas [KW]

H_T : Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

Y la potencia pérdida por purgas, (Beltrán, 2008):

$$H_4 = \dot{m}_{\text{purgas}} * (h_f - h_{\text{agua}}) \quad \text{Ec. (12)}$$

Dónde:

- \dot{m}_{purgas} : Flujo másico de purgas [Kg/s].
- h_f : Entalpia especifica del líquido saturado de purgas [KJ/Kg].
- h_{agua} : Entalpia del agua de alimentación [KJ/Kg].

El flujo másico de purgas, se determina en base a los sólidos disueltos totales del agua de alimentación y purga, (Beltrán, 2008):

$$\dot{m}_{\text{purgas}} = \dot{m}_s * \left(\frac{\text{SDT}_w}{\text{SDT}_b - \text{SDT}_w} \right) \quad \text{Ec. (13)}$$

Dónde:

- \dot{m}_s : Flujo másico de vapor saturado [Kg/s].
- SDT_w : Solidos disueltos totales del agua de alimentación [ppm].
- SDT_b : Solidos totales disueltos permisibles en la caldera [ppm].

1.3.2.5. Pérdida de calor por convección: Esta pérdida es provocada por la elevada temperatura de las paredes exteriores de los calderos y a la exposición de ráfagas de vientos. Por lo cual una buena selección del tipo de aislante y espesor del mismo, contribuyen a minimizar esta pérdida, (Beltrán, 2008).

$$L_5 = \frac{H_5}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (14)}$$

Dónde:

H_5 : Es la potencia pérdida por convección [KW]

H_T : Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

Y la pérdida de calor por convección, (Beltrán, 2008):

$$H_5 = \frac{S_b * h_{wb \rightarrow e} * (T_{wb} - T_e)}{1000} \quad \text{Ec. (15)}$$

Dónde:

- S_b : Superficie lateral exterior de la caldera [m²].
- $h_{wb \rightarrow e}$: Coeficiente de transferencia de calor [W/m²°C].
- T_{wb} : Temperatura de la pared exterior lateral del caldero [°C].
- T_e : Temperatura del medio ambiente [°C].

La superficie exterior del caldero:

$$S_b = \pi * D_{ext} * L_b \quad \text{Ec. (16)}$$

Dónde:

- $S_{caldera}$: Superficie lateral exterior de la caldera [m²]
- D_{ext} : Diámetro exterior del caldero [m]
- L_b : Longitud del caldero [m]

El coeficiente de convección desde la pared lateral exterior del caldero hasta medio atmosférico, (Beltrán, 2008):

$$h_{p \rightarrow \infty} = 11.6 + 6.96 * U_v^{0.5} \quad \text{Ec. (17)}$$

Dónde:

- $h_{wb \rightarrow e}$: Coeficiente de transferencia de calor [W/m²°C]
- U_v : Velocidad promedio del viento $\left[\frac{m}{seg} \right]$

1.3.2.6. Pérdida de calor por radiación: Se origina debido a la deficiencia de la llama de combustión, la cual pierde temperatura en la cámara de combustión debido a la superficie lateral del hogar, (Beltrán, 2008):

$$L_6 = \frac{H_6}{H_T} * 100\% \quad \text{Ec. (18)}$$

Dónde:

H_6 : Es la potencia pérdida por radiación [KW]

H_T : Es la potencia total de la combustión aire y combustible [KW]

$$H_6 = \frac{\epsilon_h * \sigma * S_h * (T_{hg}^4 - T_{p_{cc}}^4)}{1000} \quad \text{Ec. (19)}$$

Dónde:

- ϵ_h : Emisividad del hogar
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
- S_h : Superficie lateral del hogar [m^2].
- T_{hg} : Temperatura de gases calientes [$^{\circ}K$].
- $T_{p_{cc}}$: Temperatura de la pared del hogar [$^{\circ}K$].

Asimismo, la potencia total de combustión, (Beltrán, 2008):

$$H_T = H_a + H_f \quad \text{Ec. (20)}$$

Es decir:

$$H_T = (\dot{m}_a * C_{p_a} * T_a) + \dot{m}_f * (PCI + C_{p_f} * T_f) \quad \text{Ec. (21)}$$

Dónde:

- H_T : Potencia calorífica total [KW]
- H_a : Potencia calorífica del aire [KW]
- H_f : Potencia calorífica del combustible [KW]
- PCI: Poder calorífico inferior $\left[\frac{KJ}{Kg} \right]$
- \dot{m}_a : Flujo másico de aire $\left[\frac{Kg}{seg} \right]$
- $\dot{m}_f = \dot{m}_c$: Flujo másico de combustible $\left[\frac{Kg}{seg} \right]$
- C_{p_f} : Calor específico a presión constante del aire $\left[\frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \right]$
- C_{p_f} : Calor específico a presión constante del combustible. $\left[\frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \right]$
- T_a : Temperatura del aire en quemador [$^{\circ}C$]
- T_f : Temperatura del combustible [$^{\circ}C$]

1.3.3. Poder calorífico inferior de combustible:

El poder calorífico se define como la cantidad de calor que entrega una unidad de masa de combustible al oxidarse en su totalidad. Se divide en dos partes: poder calorífico superior donde todos los reactantes y productos son tomados a una temperatura de 273.15°K después de la combustión, donde el agua se encuentra en la fase de vapor saturado, mientras el poder calorífico inferior por el contrario indica que el agua contenida en los gases de combustión no se ha condensado en su totalidad, (Amau, 2010).

El poder calorífico inferior para un combustible líquido, (Amau, 2010):

$$PCI = PCS - 1030 \quad \text{Ec. (22)}$$

Dónde:

▪ PCS: Poder calorífico inferior $\left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}\right]$

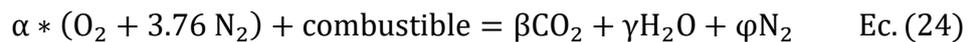
$$PCS = 18320 + 40 * (^{\circ}\text{API} - 10) \quad \text{Ec. (23)}$$

▪ °API: Instituto Americano del Petróleo.

1.3.4. Balances de combustión:

El balance en un sistema de combustión se basa en relacionar o equilibrar la masa de los reactantes y los productos durante el periodo de la reacción química, (Martínez, 2010).

1.3.4.1. Balance en combustión completa: refiere a que existe la cantidad completa de comburente para oxidar todas las partículas del combustible como el carbono, hidrogeno y nitrógeno, (Capcha, 2007):



Donde:

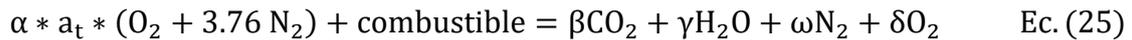
▪ α : Número de moles del oxígeno $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}\right]$

▪ β : Número de moles del dióxido de carbono $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}\right]$

▪ γ : Número de moles del agua $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}\right]$

- φ : Número de moles del nitrógeno $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$

1.3.4.2. Balance en combustión real o incompleta: refiere a un exceso de comburente para lograr oxidar todas las partículas del combustible, es decir en los productos aparece un sobrante de oxígeno, (Capcha, 2007):



Dónde:

- α : Número de moles del oxígeno $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$
- a_t : Porcentaje de aire teórico
- β : Número de moles del dióxido de carbono $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$
- γ : Número de moles del agua $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$
- ω : Número de moles del nitrógeno $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$
- δ : Número de moles del oxígeno libre $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$

1.3.4.3. Ratio de combustión: es la relación de la masa de aire en combustión incompleta y la masa del combustible. Refleja el consumo másico de aire en referencia a un 1 Kg de combustible, (Incropera, 2009):

$$r_{(a/c)} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{\theta * a_t * (O_2 + 3.76 N_2)}{m_c} \quad \text{Ec. (26)}$$

Dónde:

- $r_{(a/c)}$: Relación aire combustible $\left[\frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg cble}} \right]$

Por lo consiguiente, el flujo másico de gases y aire:

$$\dot{m}_a = r_{(a/c)} * \dot{m}_c \quad \text{Ec. (27)}$$

$$\dot{m}_{GR} = (r_{(a/c)} + 1) * \dot{m}_c \quad \text{Ec. (28)}$$

1.3.4.4. Temperatura de gases calientes y temperatura de hogar: La de gases calientes es la máxima temperatura en caldero, pero la temperatura del hogar inferior en aproximadamente 5°C debido a la superficie del hogar, (Capcha, 2007):

La temperatura de gases calientes:

$$T_{GC} = \frac{H_T}{\dot{m}_{GR} * C_{p_{GC}}} \quad \text{Ec. (29)}$$

Y la temperatura del hogar:

$$T_h = T_{GC} - 5^\circ\text{C} \quad \text{Ec. (30)}$$

3.3.5. Periodo de retorno de la inversión:

Es una medida de cuantificación que determina el periodo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su inversión inicial, (Sowell, 2013).

$$\text{PRI} = \frac{I}{B} \quad \text{Ec. (31)}$$

Dónde:

ROI: Retorno operacional de la inversión [años]

I: Inversión para la ejecución del proyecto [\\$]

B: Beneficio logrado por el proyecto [\$/año]

3.3.6. Valor actual neto:

Es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión, (Sowell, 2013).

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad \text{Ec. (32)}$$

Dónde:

- VAN : Valor actual neto [\\$]

- V_t : Flujos de caja en cada tiempo [\\$]
- r : Interés [%]
- t : Número de períodos considerados [años]
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [\\$]

3.3.7. Tasa interna de retorno:

Es la tasa efectiva anual o tasa de descuento que hace que los valores actuales netos de todos los flujos de efectivo de una determinada inversión sean igual a cero, (Sowell, 2013).

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + \text{TIR})^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ec. (33)}$$

Dónde:

- TIR: Tasa interna de retorno [%]
- VAN: Valor actual neto [\\$]
- V_t : Flujos de caja en cada tiempo [\\$]
- t : Número de períodos considerados [años]
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [\\$]

1.4 Formulación del problema

¿La implementación de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento del agua de alimentación, aumentará la producción de vapor saturado de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP de la empresa Alicorp SAA, Trujillo?

1.5 Justificación del estudio

Relevancia económica: La propuesta de implementación de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua de alimentación a la caldera de 400BHP, reducirá los costos en consumo de combustible y costos de consumo de sal y los costos en consumo de agua, originando beneficios económicos significantes para la empresa Alicorp S.A.A.

Relevancia tecnológica: La estrategia de implementación de sistema de osmosis inversa en reemplazo de sistemas de ablandadores de osmosis, permiten implementar tecnología de uso actual en plantas térmicas eficientes, logrando mejor la operación de los calderos.

Relevancia institucional: El estudio de propuestas de sistemas de tratamiento de agua por osmosis inversa, permite contribuir a mejorar la operacionalización o funcionamiento de una caldera pirotubular, donde su fuente principal es la producción de vapor saturado.

Relevancia socio-ambiental: Este tipo de investigaciones contribuye a reducir la cantidad de masa residual y el consumo de agua en calderos pirotubulares, debido a la reducción de la contaminación de la dureza en las purgas.

1.6 Hipótesis

Si es viable aumentar la producción de vapor saturado, mediante la implementación de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua de alimentación de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP en la empresa Alicorp S.A.A, Trujillo.

1.7 Objetivos

1.7.1. Objetivo General:

Implementar un sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua de alimentación de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP en la empresa Alicorp S.A.A, Trujillo.

1.7.2. Objetivos específicos:

- Realizar un análisis actual al caldero pirotubular de 400 BHP con sistema de tratamiento de agua por ablandadores, determinando el flujo másico de purgas y rendimiento energético por el método indirecto.
- Realizar un análisis de mejora al caldero pirotubular de 400 BHP con sistema de tratamiento de agua por osmosis inversa, determinando flujo másico de purgas, incremento de flujo másico de vapor, ahorro de flujo másico de combustible y rendimiento energético.
- Dimensionar y seleccionar la bomba hidráulica, de transporte de agua de alimentación entre el equipo de osmosis de inversa y el caldero pirotubular de 400BHP.
- Realizar un análisis económico, para determinar el beneficio útil, mediante el ahorro en sal, agua y combustible. Asimismo, el cálculo de la inversión en activos fijos y periodo de retorno de la inversión.
- Realizar un análisis financiero de factibilidad del proyecto, mediante el valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación: Pre-experimental

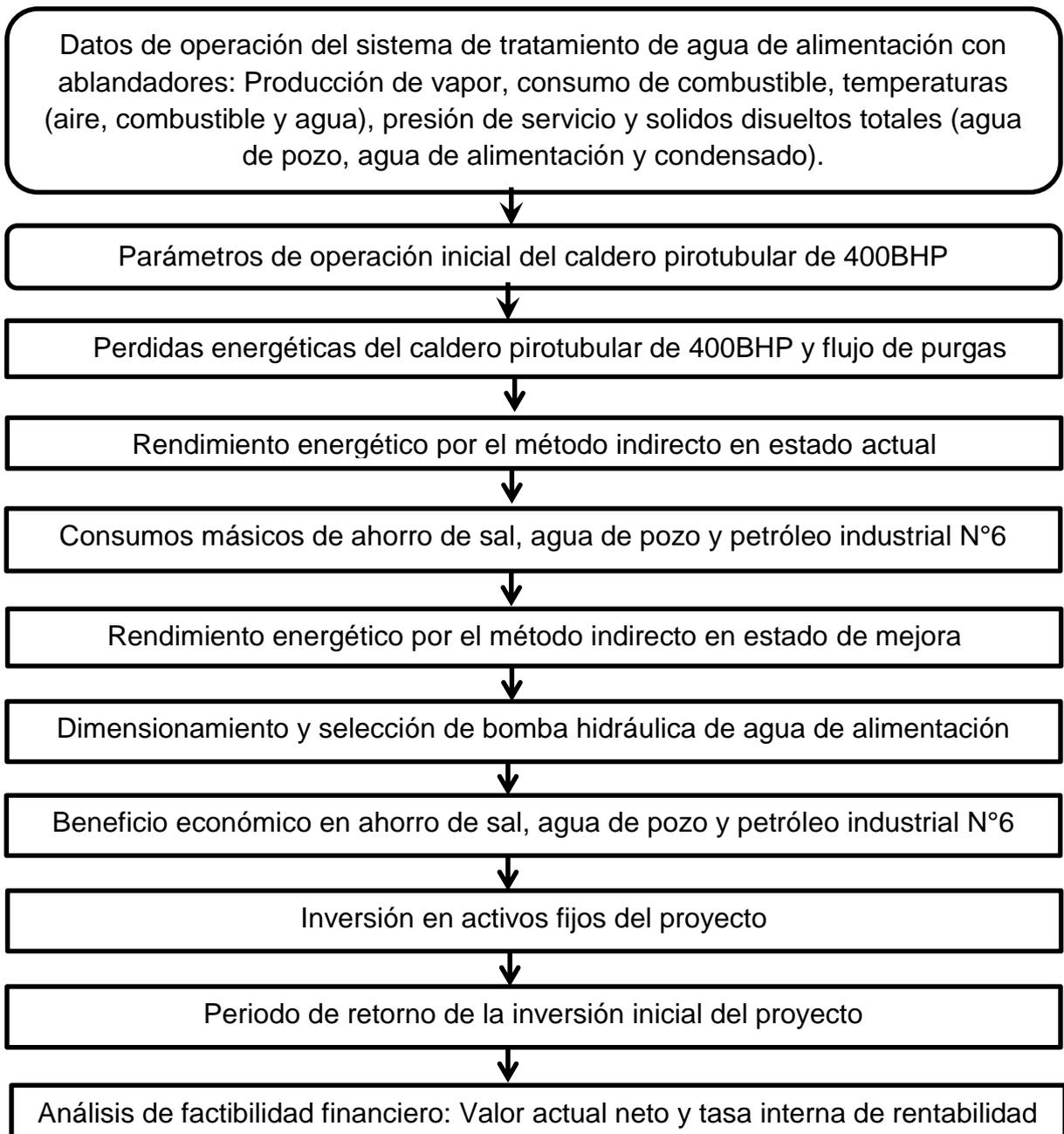


Figura 03: Diseño pre-experimental del proyecto.

2.2. Variables, operacionalización:

2.2.1. Variables independientes:

- Sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua de alimentación del caldero pirotubular de 400 BHP.
 - SDT del agua de alimentación del caldero [ppm].
 - Presión de vapor saturado entregado por el caldero [Psig].
 - Flujo másico de vapor actual producido por el caldero $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$.
 - Flujo másico de combustible consumido por el caldero $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$.
 - Temperatura del agua de alimentación [$^{\circ}\text{C}$].

2.2.2. Variables dependientes:

- Producción de vapor saturado seco.
 - Flujo másico de vapor en mejora producido por el caldero $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$.
 - Ahorro de flujo másico de combustible $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$.
 - Ahorro en masa de sal $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right]$.
 - Periodo de retorno de la inversión [Años].
 - Valor actual neto [\$].
 - Tasa interna de retorno [%].

2.2.3. Operacionalización

Tabla 01: Operacionalización de variables independientes y dependientes de la investigación.

Variables	Indicadores	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Variable Independiente				
Sistema de osmosis inversa para el tratamiento de agua de alimentación del caldero pirotubular de 400 BHP.	Solidos disueltos totales del agua	Es la dureza contenida en el agua de alimentación, condensado de recuperación de procesos y del agua de pozo.	Las diferentes del agua en la planta térmica, se registran a través del análisis documental.	Cuantitativa (ppm)
	Presión del vapor saturado	Es la presión de servicio máxima, a la cual se genera en la caldera pirotubular vapor saturado seco, para los diversos procesos de la planta térmica.	La presión de generación de vapor saturado, se registra a través del análisis documental.	Cuantitativa (Psig)
	Flujo másico de vapor saturado	Es el flujo másico de vapor saturado con el sistema de tratamiento de agua de alimentación con ablandadores y osmosis inversa.	Se registra diariamente mediante el análisis documental	Cuantitativa (Kg/s)
	Flujo másico de combustible	Es el consumo horario de petróleo industrial N°6, con el sistema de tratamiento de agua de alimentación con ablandadores y osmosis inversa.	El consumo horario de combustible, se registra diariamente mediante el análisis documental	Cuantitativa (Kg/s)
	Consumo de sal industrial	Es el consumo de sal industrial del sistema de tratamiento d agua con ablandadores.	El consumo de masa de sal, se registra diariamente mediante el análisis documental	Cuantitativa (Kg/s)
	Temperatura del agua de alimentación	Es la temperatura del agua de ingreso al caldero pirotubular, a través de la mezcla del condensado y del agua de reposición.	La temperatura de agua de alimentación, se registra diariamente mediante el análisis documental.	Cuantitativa (°C)
Variable Dependiente				
Producción de vapor saturado seco	Retorno operacional de la inversión inicial	Es el tiempo inicial recuperación de la inversión del proyecto, con respecto a los activos fijos (equipos, accesorios y mano de obra)	Se evalúa a través de un análisis de sensibilidad económico.	Cuantitativa (Años)
	Valor actual neto del proyecto	Se basa en restablecer los cobranzas y desembolsos de una determinada inversión, para establecer cuánto se va a ganar o perder.	Se evalúa a través de un análisis de sensibilidad financiero.	Cuantitativa (\$)
	Tasa interna de rentabilidad	Establece la viabilidad financiera de un proyecto, es decir es el porcentaje de beneficio o perdida que tendrá el proyecto.	Se evalúa a través de un análisis de sensibilidad económico.	Cuantitativa (%)

2.3. Población y muestra

Población: Calderas pirotubulares de empresas Industriales

Muestra: Caldera pirotubular Apin 400 BHP de empresa pesquera Alicorp S.A.A.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 02: técnicas e instrumentos de la investigación

Técnica	Instrumento
Análisis Documental	Fichas de registros

El análisis documental a la caldera pirotubular de 400 BHP, a través de fichas de registro nos permitirá obtener los principales datos de operación, como la dureza del agua en la planta térmica, temperaturas (agua, aire, combustible y gases), flujo másico de vapor de operación real, presión máxima de servicio, masa de sal en ablandadores, flujo másico de condensado y costo unitario de combustible. Permitiendo evaluar las pérdidas energéticas con el sistema de tratamiento de agua con ablandadores y rendimiento energético, para posteriormente mediante la implementación de un sistema de osmosis inversa, reducir la masa de sal industrial, agua de tratamiento y petróleo industrial, aumentando el rendimiento energético y el flujo másico de vapor saturado.

2.5 Métodos de análisis de dato

Los resultados se expresarán en diagramas de estado actual y mejora del tratamiento de agua del caldero pirotubular de 400BHP con ablandadores y osmosis inversa, también se utilizarán tablas de contingencia y para el análisis financiero su resultado se representará mediante una tabla de hoja de cálculo excel.

III. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS ACTUAL AL CALDERO PIROTUBULAR DE 400 BHP:

3.1.1. Evaluación de los parámetros de operación del caldero pirotubular de 400BHP:

3.1.1.1. Poder calorífico superior e inferior de combustión: El tipo de combustible consumido por la caldera pirotubular de 400 BHP es petróleo industrial N°6, el cual tiene una gravedad API de 11.5°API (Anexo A.1), por lo consiguiente, el poder calorífico superior:

$$PCS = 18320 + 40 * (°API - 10)$$

Reemplazando:

$$PCS = 18320 + 40 * (11.5 - 10) = 18380 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

Y el poder calorífico inferior, sería:

$$PCI = 18320 - 1030 = 17350 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

Asimismo:

$$PCI = 17350 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} * \frac{1.055\text{kJ}}{1\text{BTU}} * \frac{1\text{lb}}{0.4536\text{Kg}}$$

$$PCI = 40353.28 \text{ KJ/Kg}$$

3.1.1.2. Ratio de combustión: Mediante el analizador TESTO, obtenemos los parámetros de medición de gases evacuados por el caldero pirotubular:



Figura 04: análisis de gases de chimenea al caldero pirotubular de 400 BHP.
Fuente: Testo, Empresa Alicorp SAA, 2013.

En analizador de gases texto, entrego los siguientes resultados (Anexo A.2):

Tabla 03: Parámetros de medición en gases residuales

Parámetro de medición	Valor medio
Temperatura de gases residuales	265°C
Concentración de dióxido de carbono máximo	16.70%
Concentración de oxígeno	8.85%
Exceso de aire en combustión	71.58%
Concentración de dióxido de carbono media.	9.73%

Fuente: Testo, Empresa Alicorp SAA, 2013.

- Concentración de monóxido de carbono:

$$CO = CO_{2\text{màx}} * \left(\frac{21\% - \%O_2}{21\%} \right)$$

$$CO = 16.7\% * \left(\frac{21\% - 8.85\%}{21\%} \right)$$

$$CO = 9.66\%$$

- Concentración de nitrógeno:

$$N_2 = 100\% - (\%CO + \%CO_2 + \%O_2)$$

$$N_2 = 100\% - (9.66\% + 9.73\% + 8.85\%)$$

$$N_2 = 71.76\%$$

- Valores de máxicos de concentración de los componentes del petróleo residual N°6:

Tabla 04: Composición máxico del petróleo residual N°6

Componente	Símbolo	Valor promedio
Carbono	C	86.60%
Azufre	S	1.43%
Hidrogeno	H2	9.27%
Agua	H2O	0.24%
Cenizas	Z	0.06%
		100%

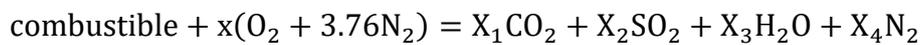
Fuente: Petroperú, 2010.

- Análisis de combustión del petróleo residual N°6 en caldera piro tubular de 400 BHP:

Tabla 05. Participaciones másicas del petróleo residual N°6

Componente	Masa (Kg)	Peso atómico (Kg/Kmol)	Número de moles (n=m/M)	$\%n = \frac{n}{\sum n} * 100\%$
C	86.6	12	7.216	59.95
S	1.43	32	0.045	0.374
H ₂	9.27	2	4.635	38.508
H ₂ O	2.4	18	0.133	1.105
O ₂	0.24	32	0.0075	0.062
Z	0.06		12.0365	100

Fuente: Petroperú, 2010.



$$0.5995\text{C} + 0.00374\text{S} + 0.38508\text{H}_2 + 0.01105\text{H}_2\text{O} + 0.00062\text{O}_2 + x(\text{O}_2 + 3.76\text{N}_2) = \text{X}_1\text{CO}_2 + \text{X}_2\text{SO}_2 + \text{X}_3\text{H}_2\text{O} + \text{X}_4\text{N}_2$$

Balance de carbonos:

$$\text{X}_1 = 0.5995\text{Kmol}$$

Balance de Hidrógenos:

$$2 * 0.38508 + 2 * 0.01105 = 2\text{X}_3$$

$$\text{X}_3 = 0.3961\text{Kmol}$$

Balance de Azufres:

$$\text{X}_2 = 0.00374\text{Kmol}$$

Balance de Oxígenos:

$$0.01105 + 2 * 0.00062 + 2\text{X} = 2(0.5995) + 2(0.00374) + 0.3961$$

$$\text{X} = 0.795 \text{Kmol}$$

Balance de Nitrógenos:

$$\text{X}_4 = 3.76 * \text{X}$$

$$\text{X}_4 = 3.76 * 0.795$$

$$X_4 = 2.9892 \text{ Kmol}$$

El ratio de combustión:

$$R_{\text{aire comb.}} = \frac{X * \lambda * (O_2 + 3.76N_2)}{0.5995C + 0.00374S + 0.38508H_2 + 0.01105H_2O + 0.00062O_2}$$

Reemplazando los pesos moleculares de los compuestos:

- Peso molecular del nitrógeno: $M_{N_2} = 28 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$
- Peso molecular del carbono: $M_C = 12 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$
- Peso molecular del azufre: $M_S = 32 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$
- Peso molecular del hidrogeno: $2 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$
- Peso molecular del agua: $M_{H_2O} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$
- Peso molecular del oxígeno: $M_{O_2} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$

Reemplazando:

$$R_{\text{aire comb.}} = \frac{0.795 * 1.7158 * (32 + 3.76 * 28)}{0.5995 * 12 + 0.00374 * 32 + 0.3850 * 2 + 0.01105 * 18 + 0.00062 * 32}$$

$$R_{\text{aire comb.}} = 22.6 \text{ Kg aire/Kg comb.}$$

Asimismo, la relación gases calientes/combustible, es:

$$R_{\text{GC comb.}} = 1 + R_{\text{aire comb.}}$$

$$R_{\text{GC comb.}} = 1 + 22.6$$

$$R_{\text{GC comb.}} = 23.6 \text{ Kg G. C/ Kg comb.}$$

3.1.2. Calor de combustión en caldero pirotubular de 400 BHP:

3.1.2.1. Calor total en el hogar del caldero:

Del balance energético en el hogar, tenemos:

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{aire}} + \dot{Q}_{\text{cble}} \begin{cases} \dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{m}_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * T_{\text{aire}} \\ \dot{Q}_{\text{cble}} = \dot{m}_{\text{cble}} * (\text{PCI} + C_{p\text{cble}} * T_{\text{cble}}) \end{cases}$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = (\dot{m}_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * T_{\text{aire}}) + (\dot{m}_{\text{cble}} * (\text{PCI} + C_{p\text{cble}} * T_{\text{cble}}))$$

Dónde:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = R_{\text{aire}} * \dot{m}_{\text{cble}}$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = R_{\text{aire}} * \dot{m}_{\text{cble}} * C_{p\text{aire}} * T_{\text{aire}} + \dot{m}_{\text{cble}} * (\text{PCI} + C_{p\text{cble}} * T_{\text{cble}})$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{m}_{\text{cble}} * (R_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * T_{\text{aire}} + (\text{PCI} + C_{p\text{cble}} * T_{\text{cble}}))$$

Datos de operación del caldero:

- $\dot{m}_{\text{cble}} = 66.2 \frac{\text{Gal}}{\text{h}} = 239.644 \frac{\text{Kg cble}}{\text{h}} = 0.06657 \frac{\text{Kg cble}}{\text{seg}}$ (Valor extraído de los reportes diarios de consumo de combustible del caldero)
- $T_{\text{aire}} = 20^{\circ}\text{C} \rightarrow C_{p\text{aire}} = 1.005 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$ (Anexo A. 3)
- $T_{\text{cble}} = 100^{\circ}\text{C} \rightarrow C_{p\text{cble}} = 2.75 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$ (Anexo A. 4)
- $\text{PCI} = 40353.28 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$
- $R_{\text{aire}} = 22.6 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg cble}}$

Sustituyendo:

$$\dot{Q}_{\text{total}} = 0.06657 * (22.6 * 1.005 * 20 + 40353.28 + 100 * 2.75)$$

$$\dot{Q}_{\text{total}} = 2735 \text{ KW}$$

3.1.2.2. Temperatura de gases calientes en el hogar del caldero:

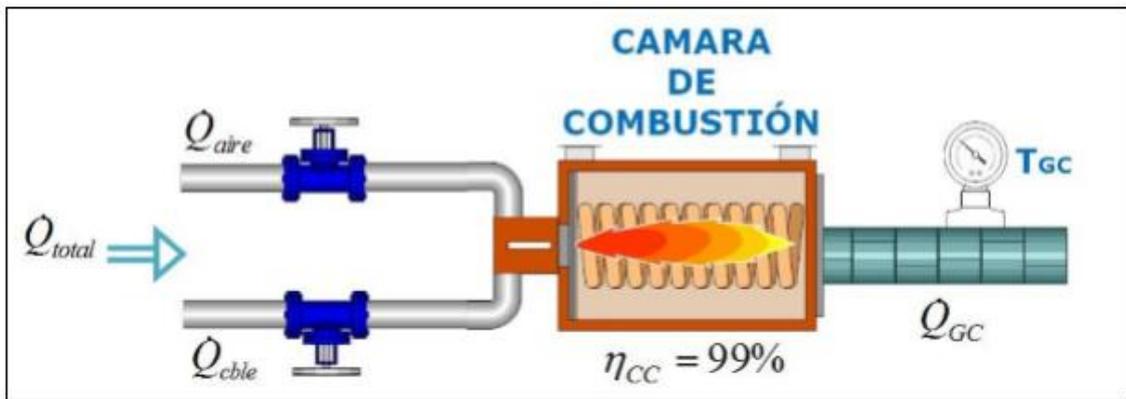


Figura 05: Cámara de combustión del caldero pirotubular de 400 BHP.

Fuente: Hogar de caldero pirotubular de 400BHP, 2013.

- Balance energético en el hogar del caldero:

$$\dot{Q}_{total} * n_{cc} = \dot{Q}_{GC}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{cble} * \left(R_{aire} * C_{p_{aire}} * T_{aire} + (PCI + C_{p_{cble}} * T_{cble}) \right) * n_{cc} &= \dot{Q}_{GC} \\ &= \dot{m}_{GC} * C_{p_{GC}} * T_{GC} \end{aligned}$$

Dónde:

$$\dot{m}_{GC} = R_{Gc} * \dot{m}_{cble}$$

$$\dot{m}_{cble} * \left(R_{aire} * C_{p_{aire}} * T_{aire} + (PCI + C_{p_{cble}} * T_{cble}) \right) * n_{cc} = R_{Gc} * \dot{m}_{cble} * C_{p_{GC}} * T_{GC}$$

Despejando la temperatura de gases residuales:

$$T_{GC} = \frac{\left(R_{aire} * C_{p_{aire}} * T_{aire} + (PCI + C_{p_{cble}} * T_{cble}) \right) * n_{cc}}{R_{Gc} * C_{p_{GC}}}$$

Dato: (Ver Anexo A.5)

$$C_{p_{GC}} = (1.33 - 1.34) = 1.335 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$$

Reemplazando:

$$T_{GC} = \frac{(22.6 * 1.005 * 20 + 40353.28 + 100 * 2.75) * 0.99}{23.6 * 1.335}$$

$$T_{GC} = 1291^{\circ}\text{C}$$

- Flujos máxicos de aire y gases:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = R_{\text{aire}} * \dot{m}_{\text{cble}} = 22.6 * 0.06657 = 1.504 \frac{\text{Kg aire}}{\text{seg}}$$

$$\dot{m}_{GC} = \dot{m}_{GR} = \dot{m}_{\text{cble}} + \dot{m}_{\text{aire}} = 0.06657 + 1.504 \frac{\text{Kg GC}}{\text{seg}} = 1.571 \frac{\text{Kg GC}}{\text{seg}}$$

3.1.3. Pérdidas energéticas iniciales en el caldero pirotubular de 400 BHP:

3.1.3.1. Pérdida por gases residuales:

a) Potencia perdida por gases residuales:

$$(\dot{Q}_P)_{GR} = \dot{m}_{GR} * \bar{C}_p * (T_{GR} - T_{\infty})$$

Datos: (Ver Anexos A.3 y A.5)

- $T_{GR} = 265^{\circ}\text{C} \rightarrow C_{pGR} = 1.1133 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$

- $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C} \rightarrow C_{p\infty} = 1.005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$

- $\bar{C}_p = \frac{1.113+1.005}{2} = 1.06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_P)_{GR} = 1.571 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 1.06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (265 - 20)^{\circ}\text{C}$$

$$(\dot{Q}_P)_{GR} = 408 \text{ KW}$$

b) Porcentaje de pérdida por gases residuales:

$$(q_P)_{GR} = \frac{(\dot{Q}_P)_{GR}}{\dot{Q}_{\text{total}}} * 100\%$$

$$(q_P)_{GR} = \frac{408 \text{ Kw}}{2735 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$(q_P)_{GR} = 14.92\%$$

3.1.3.2. Pérdida por purgas del caldero:

a) Potencia perdida por purgas:

$$(\dot{Q}_P)_P = \dot{m}_{\text{purga}} * (h_f - h_{\text{agua}})$$

Dónde:

$$\dot{m}_{\text{purga}} = \dot{m}_V * \left(\frac{STD_{\text{agua}}}{STD_{\text{Cald}} - STD_{\text{agua}}} \right)$$

Se tiene:

- $\dot{m}_V = 3280 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{h}} = 0.911 \frac{\text{Kg Vapor}}{\text{seg}}$
- $STD_{\text{agua}} = 1020 \text{ ppm (pv} \leq 17.5 \text{ bar)} \mapsto (9 \text{ bar abs.} \leq 17.5 \text{ bar)}$
- $STD_{\text{Cald}} = 3000 \text{ ppm (Dato extraído de los reportes de dureza al agua de purgas del caldero)}$

$$\dot{m}_{\text{purga}} = 0.911 * \left(\frac{1020}{3000 - 1020} \right) = 0.47 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} = 1692 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

- $h_{\text{agua}} = 292.98 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ a $T_{\text{agua}} = 70^\circ\text{C}$ (Ver Anexo A.5)
- $h_f = 742.83 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ (Ver Anexo A.6) a $P_V = 120 \text{ Psi}(8 \text{ bar man})(9 \text{ bar abs})$

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_P)_P = 0.47 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} * (742.83 - 292.98) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(\dot{Q}_P)_P = 211.43 \text{ Kw}$$

b) Porcentaje de pérdida por purgas:

$$(q_P)_P = \frac{(\dot{Q}_P)_P}{\dot{Q}_{\text{total}}} * 100\%$$

$$(q_P)_P = \frac{211.43 \text{ Kw}}{2735 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$(q_P)_P = 7.73\%$$

3.1.3.3. Pérdida por Hollín o inquemados:

a) Potencia perdida por hollín:

$$(\dot{Q}_P)_H = \dot{m}_{GR} * g_c * PCI_{\text{carbono}}$$

Datos:

- $\dot{m}_{GR} = 1.571 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$
- $g_c = 0.04\%$ (Participación masica del carbono) (Dato de reportes de gases residuales – con Opacímetro)
- $PCI_{\text{carbono}} = 33900 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_P)_H = 1.571 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * \frac{0.04}{100} * 33900 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(\dot{Q}_P)_H = 21.30 \text{ Kw}$$

b) Porcentaje de pérdida por hollín:

$$(q_P)_H = \frac{(\dot{Q}_P)_H}{\dot{Q}_{\text{total}}} * 100\%$$

$$(q_P)_H = \frac{21.30 \text{ Kw}}{2735 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$(q_P)_H = 0.78\%$$

3.1.3.4. Pérdida por combustión incompleta:

a) Pérdida de calor por combustión incompleta

$$(\dot{Q}_P)_{c.i} = \dot{V}_{GR} * r_{CO} * P_{CI\ co}$$

Datos:

- $P_{CI\ co} = 12720 \text{ KJ/m}^3$
- $\dot{V}_{GR} = \frac{\dot{m}_{GR}}{\rho_{GR}}; \rho_{GR} = 0.6628 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ a $T_{GR} = 265^\circ\text{C}$ (Ver Anexo A.5)

$$\dot{V}_{GR} = \frac{1.571 \text{ Kg/seg}}{0.6628 \text{ Kg/m}^3} = 2.37 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- $r_{CO} = 0.1\%$ (Participación volumétrica del monóxido de carbono) (Dato de reportes de gases residuales – con Opacómetro)

$$(\dot{Q}_P)_{c.i} = 2.37 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * \frac{0.1}{100} * 12720 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3}$$

$$(\dot{Q}_P)_{c.i} = 30.15 \text{ Kw}$$

b) Porcentaje de pérdida por combustión incompleta:

$$(q_P)_{c.i} = \frac{(\dot{Q}_P)_{c.i}}{\dot{Q}_{total}} * 100\%$$

$$(q_P)_{c.i} = \frac{30.15 \text{ Kw}}{2735 \text{ Kw}} * 100\%$$

$$(q_P)_{c.i} = 1.10\%$$

3.1.3.5. Pérdida por convección:

a) Pérdida de calor por convección:

$$(\dot{Q}_P)_c = S_{\text{caldera lateral}} * h_{p \rightarrow \infty} * (T_{p \text{ ext. cald}} - T_{\infty})$$

Dato:

- $T_{p \text{ ext. cald}} = 45^\circ\text{C}$

Tenemos:

$$S_{\text{caldera lateral}} = \pi * d_{\text{ext cald}} * L_{\text{cald}}$$

$$S_{\text{caldera lateral}} = \pi * (2.64 \text{ m}) * (5.77 \text{ m}) = 47.855 \text{ m}^2$$

$$h_{p \rightarrow \infty} = 9.36 + 0.052 * (T_{p \text{ ext. cald}} - T_{\infty})$$

$$h_{p \rightarrow \infty} = 9.36 + 0.052 * (45 - 20) = 10.66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Reemplazando:

$$(\dot{Q}_P)_c = 47.855 \text{ m}^2 * 1066 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} * (45 - 20)^\circ\text{C}$$

$$(\dot{Q}_P)_c = 12753.36 \text{ W} = 12.75 \text{ KW}$$

b) Porcentaje de pérdida por convección:

$$(q_P)_c = \frac{(\dot{Q}_P)_c}{\dot{Q}_{total}} * 100\%$$

$$(q_P)_c = \frac{12.75 \text{KW}}{2735 \text{KW}} * 100\%$$

$$(q_P)_c = 0.47\%$$

3.1.3.6. Pérdida por Radiación:

a) Pérdida de calor por radiación:

$$(\dot{Q}_P)_R = \epsilon_{Hogar} * \sigma * S_{Hogar} * (T_{GC}^4 - T_{p_{cc}}^4)$$

Datos:

- $\epsilon_{Hogar} = 0.65$ (Para el petróleo Bunker)
- $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- $T_{GC} = 1291^\circ C = 1564 \text{ K}$
- $T_{p_{cc}} = T_{GC} - 3^\circ C = 1291 - 3 = 1288^\circ C = 1561 \text{ K}$

Tenemos:

Superficie del hogar:

$$S_{Hogar} = \pi * D_{Hogar} * L_{Hogar}$$

$$S_{Hogar} = \pi * 1.10 \text{ m} * 4.26 \text{ m}$$

$$S_{Hogar} = 14.7215 \text{ m}^2$$

Tenemos:

$$(\dot{Q}_P)_R = 0.65 * 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} * 14.7215 \text{ m}^2 * ((1564)^4 - (1561)^4) K^4$$

$$(\dot{Q}_P)_R = 24836 \text{ W} = 24.836 \text{ KW}$$

b) Porcentaje de pérdida por radiación:

$$(q_P)_R = \frac{(\dot{Q}_P)_c}{\dot{Q}_{total}} * 100\%$$

$$(q_P)_R = \frac{24.836\text{Kw}}{2735\text{Kw}} * 100\%$$

$$(q_P)_R = 0.91\%$$

Finalmente, el rendimiento del caldero en condiciones actuales es:

$$\eta_{\text{cald}} = 100\% - ((q_P)_{GR} + (q_P)_P + (q_P)_H + (q_P)_{c.i} + (q_P)_c + (q_P)_R)$$

$$\eta_{\text{cald}} = 100\% - (14.92 + 7.73 + 0.78 + 1.10 + 0.47 + 0.91)\%$$

$$\eta_{\text{cald}} = 74.09\%$$

3.2. ANÁLISIS DE MEJORA AL CALDERO PIROTUBULAR DE 400 BHP CON SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA.

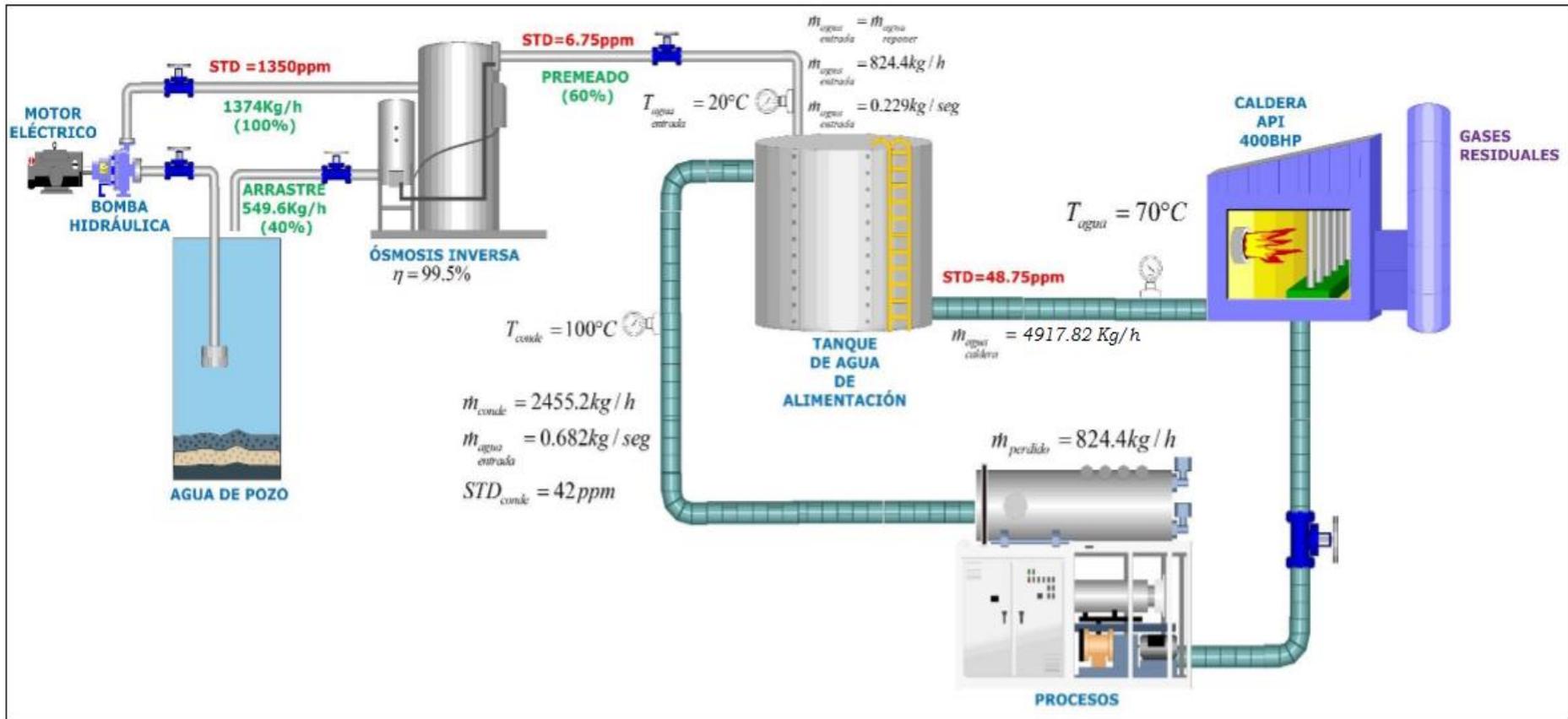


Figura 06: Implementación de sistema de osmosis inversa con caldera pirotubular de 400BHP
Fuente: Caldera pirotubular de 400 BHP con sistema osmosis inversa, Alicorp S.A.A, 2013.

En la figura 06, se detalla que al equipo de osmosis tendrían que ingresar 1374 Kg/h de agua de pozo (100%), con un arrastre de 549.6Kg/h (40%) y permeado de 824.4 Kg/h, para obtener el flujo de agua de reposición de 3280Kg/h (60%), para luego ser mezclada en el tanque de agua de alimentación con una recuperación de condensado de 2455.2Kg/h, sumando un total de 3280 Kg/h

3.2.1. Flujo másico de purgas: Con el sistema de osmosis inversa, el agua de alimentación ingresa a la caldera con una dureza de 48.75ppm y las purgas se evacuarán del caldero cuando el agua tenga una dureza de 3000ppm

$$\dot{m}_{\text{purgas}} = \left(\frac{STD_{\text{agua}}}{SDT_{\text{cald}} - STD_{\text{agua}}} \right) * \dot{m}_V$$

$$\dot{m}_{\text{purgas}} = \left(\frac{48.75\text{ppm}}{3000\text{ppm} - 48.75\text{ppm}} \right) * 3280 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{purgas}} = 54.18 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

3.2.2. Flujo másico de vapor saturado: Para determinar el incremento del flujo másico de producción del vapor, se debe evaluar la reducción del flujo másico de purgas:

$$\Delta \dot{m}_{\text{purgas}} = \dot{m}_{\text{purgas}}^{\text{sin O.I}} - \dot{m}_{\text{purgas}}^{\text{con O.I}}$$

$$\Delta \dot{m}_{\text{purgas}} = 1692 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} - 54.18 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 1637.82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Podemos decir que al instalar un sistema de osmosis inversa podemos recuperar 1637.82Kg/h, obteniendo un nuevo flujo másico de vapor de:

$$\dot{m}_V = 3280 \frac{\text{vapor}}{\text{h}} + 1637.82 \frac{\text{vapor}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_V = 4917.82 \frac{\text{Kg vapor}}{\text{h}}$$

3.2.3. El ahorro de combustible petróleo residual N°6: Depende del flujo másico de purgas recuperado, para el caso 1637.82 Kg/h.

$$\Delta \dot{m}_{\text{comb}} = \frac{1637.82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * (742.83 - 292.98) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{(22.6 * 1.005 * 20 + 40353.28 + 100 * 2.75) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\Delta \dot{m}_{\text{comb}} = 17.93 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 5 \frac{\text{Gal}}{\text{h}}$$

El flujo másico de combustible en condiciones de mejora, sería:
 $221.714 \frac{\text{Kgcbble}}{\text{h}} (239.644 - 17.93).$

3.2.4. Rendimiento energético del caldero pirotubular de 400 BHP en condiciones de mejora:

Empleando el mismo análisis del método indirecto. Podemos decir que la pérdida en mejora de esta tesis, es la reducción de las pérdidas térmicas por purgas.

- Potencia perdida por purgas:

$$(\dot{Q}_P)_P = \dot{m}_{\text{purga}} * (h_f - h_{\text{agua}})$$

$$(\dot{Q}_P)_P = \frac{54.18 \text{ kg}}{3600 \text{ seg}} * (742.83 - 292.98) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(\dot{Q}_P)_P = 6.77 \text{ KW}$$

- Porcentaje de pérdida por purgas:

$$(q_P)_P = \frac{(\dot{Q}_P)_P}{\dot{Q}_{\text{total}}} * 100\%$$

$$(q_P)_P = \frac{6.77 \text{ KW}}{\frac{221.894}{3600} * (22.6 * 1.005 * 20 + 40353.28 + 100 * 2.75)} * 100\%$$

$$(q_P)_P = 0.27\%$$

Finalmente, el rendimiento del caldero en condiciones de mejora es:

$$\eta_{\text{cald}} = 100\% - ((q_P)_{\text{GR}} + (q_P)_P + (q_P)_H + (q_P)_{\text{c.i}} + (q_P)_c + (q_P)_R)$$

$$\eta_{\text{cald}} = 100\% - (14.92 + 0.27 + 0.78 + 1.10 + 0.47 + 0.91)\%$$

$$\eta_{\text{cald}} = 81.55\%$$

3.3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA DE TRANSPORTE DE AGUA DE ALIMENTACIÓN:

3.3.1. Parámetros de operación de la bomba hidráulica:

- Temperatura promedio del agua de pozo: 18°C
- Densidad del agua: $1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- Caudal de la bomba:

$$Q = \frac{1374 \text{ Kg/h}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 1.374 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.4 \frac{\text{Lt}}{\text{s}}$$

La altura de bombeo desde el eje de la bomba hacia el pozo de succión es 8.5m, por lo tanto, del catálogo Hidrostral, seleccionamos el modelo: 32-160, según se muestra en la figura 07.

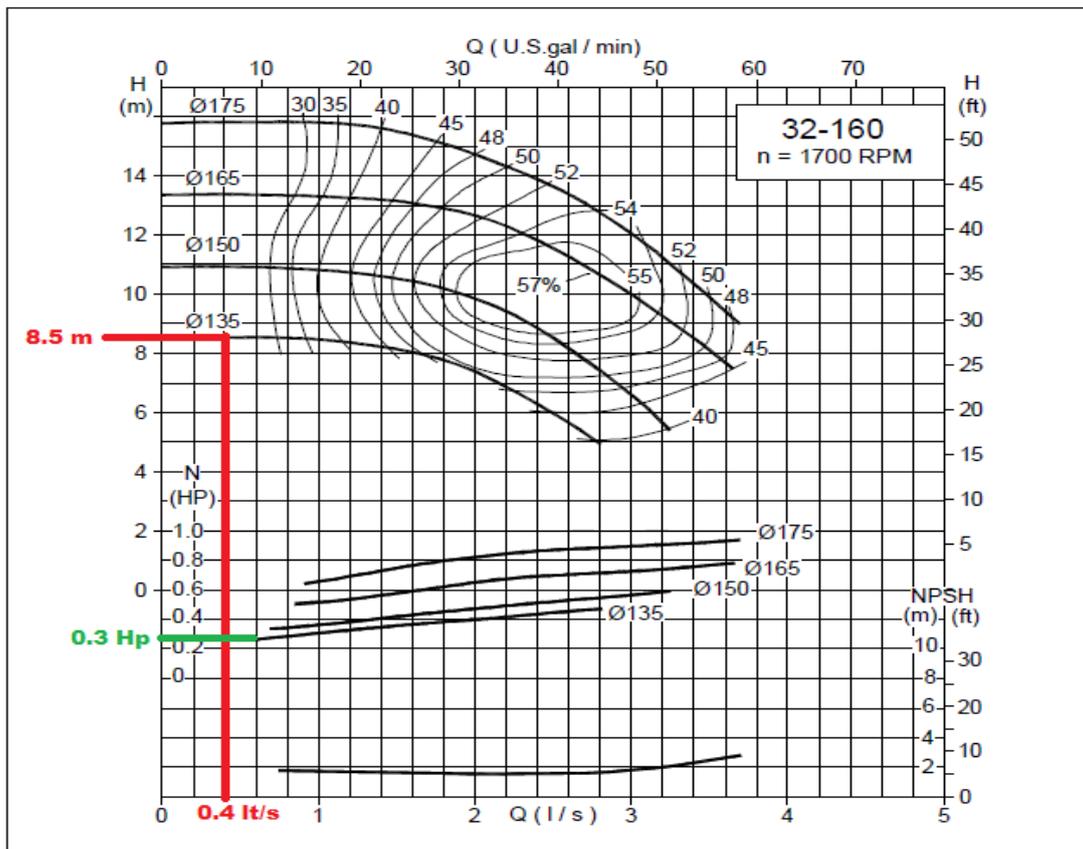


Figura 07: Curva característica de la bomba hidráulica modelo 32-160.
Fuente: Hidrostral, 2014

3.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA: BENEFICIO, INVERSIÓN Y PERIODO DE RETORNO DEL PROYECTO.

3.4.1. Beneficio útil:

3.4.1.1. Beneficio en ahorro de sal:

$$B = C_{\text{sal anual (actual)}} - C_{\text{sal anual (mejora)}}$$

Actualmente los ablandadores consumen 250Kg de sal/día, para lo cual tendríamos un consumo anual de 91250 Kg, con un costo unitario de 500.00 S./TM, con un costo de 45625.00 S./año en consumo de sal.

$$B_{\text{sal}} = 45625.00\text{S./año} - 0 \text{ S./año}$$

$$B_{\text{sal}} = 45625.00 \text{ S./año}$$

3.4.1.2. Beneficio en reducción del costo del agua industrial:

$$B_{\text{agua}} = \frac{\Delta \dot{m}_{\text{purgas}}}{\rho_{\text{agua}}_{80^{\circ}\text{C}}} * C_{\text{unitario}}_{\text{agua}} * T_p$$

En la actualidad la empresa paga por metro cubico de agua de pozo 2.5 S./. El tiempo de operación promedio del caldero es 8030 horas/año. La densidad del agua de agua de alimentación en promedio es 971.18 Kg/m³ (Anexo A.7).

$$B_{\text{agua}} = \frac{1637.82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{971.18 \text{ Kg/m}^3} * 2.5 \frac{\text{S.}}{\text{m}^3} * \frac{8030\text{h}}{1\text{año}}$$

$$B_{\text{agua}} = 33854.94 \text{ S./año}$$

3.4.1.3. Beneficio en ahorro de combustible, por calentamiento del agua de purgas:

En el estado actual las purgas, con una determinada entalpia a la presión del caldero es un calor perdido, que demanda un determinado consumo de combustible. Determinaremos el consumo de combustible ahorrado, por el ahorro de purgas en estado de mejora:

$$B_{\text{comb}} = \frac{\Delta \dot{m}_{\text{purgas}} * (h_v - h_{\text{agua}})}{R_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} * T_{\text{aire}} + (PCI + C_{p_{\text{cble}}} * T_{\text{cble}})} * C_{\text{Unitario}} * t_{\text{purga}}$$

Datos de operación:

El costo unitario del petróleo residual N°6 es 7.28 S./galón = 2.011 N.S/Kg. El tiempo de purga estimado es de 8 purgas diarias de 15 min/día, tendíamos un total de 2 hora de purga por día, es decir 730 h/año

$$B_{\text{comb}} = \frac{1637.82 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * (742.83 - 292.98) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}{(22.6 * 1.005 * 20 + 40353.28 + 100 * 2.75) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} * 2.011 \frac{\text{NS}}{\text{Kg}} * 730 \frac{\text{h}}{\text{año}}$$

$$B_{\text{comb}} = 26327.62 \text{ S./año}$$

Por lo consiguiente, el beneficio útil:

$$B_{\text{total}} = B_{\text{sal}} + B_{\text{agua}} + B_{\text{comb}}$$

$$B_{\text{útil}} = 45625.00 \text{ S./año} + 33854.94 \text{ S./año} + 26327.62 \text{ S./año}$$

$$B_{\text{útil}} = 105807.56 \text{ S./año} = 37788.41 \$/\text{año}$$

3.4.2. Inversión en activos fijos del proyecto:

Tabla 06: Inversión del proyecto

INVERSIONES EN ACTIVOS FIJOS				
Ítem	Denominación	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
1	Bomba Hidráulica ½ hp	1	200.00	200.00
	Equipo de osmosis Inversa de 2.5 m3	1	39600.00	39600.00
	Servicio de instalación de equipo de osmosis	1	4500.00	4500.00
				\$44300.00
				S./ 124040.00

3.4.3. Periodo del retorno de la inversión:

$$\text{PRI} = \frac{\text{INVERSIÓN}}{\text{BENEFICIO}}$$

$$\text{PRI} = \frac{\$44300.00}{37788.41\$/\text{año}}$$

$$\text{PRI} = 1.17 \text{ año} = 14 \text{ meses}$$

3.5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO:

Para el cálculo del valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad, se consultó a la entidad bancaria BCP obteniendo los siguientes datos, para el estudio financiero:

- Tasa de interés: 14%
- Periodo de préstamo: 5 años

Tabla 07: Resultados del análisis financiero

Periodos	Flujo de Fondos	Movimientos en el Periodo
0	-\$44300.00	Costo Inicial del Proyecto
1	\$37788.41	Beneficios Netos anuales
2	\$37788.41	Beneficios Netos anuales
3	\$37788.41	Beneficios Netos anuales
4	\$37788.41	Beneficios Netos anuales
5	\$37788.41	Beneficios Netos anuales
Total Ingresos	\$188942.05	
Tasa de Interés:	14.00%	
TIR	81%	Tasa interna de Retorno
VAN	\$ 85431.00	Valor Actual Neto

IV. DISCUSIÓN

4.1. En el estudio de Andrade (2005), "Mantenimiento preventivo para calderas y circuitos de refrigeración en función del tratamiento del agua de alimentación". Explico el análisis de una caldera pirotubular de 800BHP, el cual en condiciones iniciales con ablandadores produce 7516.8 Kg/h, trabajando a un 60% de su carga máxima, con una presión de 130Psig, con agua de alimentación de 850ppm proveniente de agua de río, con una dureza en purgas de 3500ppm, con un consumo de combustible de 120 gal/h, con un rendimiento energético de 72%. Pero con la implementación de un sistema de osmosis inversa la dureza del agua de alimentación se redujo 60ppm, la capacidad del caldero incremento a 81%, incrementando el rendimiento del caldero a 83%, con un beneficio económico de 55000.00 \$/año, con una inversión de 58000.00 \$ y un periodo de retorno de la inversión de 1.05 años. En similitud con el presente estudio la caldera pirotubular en evaluación es de una potencia de 400 BHP, la cual opera inicialmente a 52.40% de su carga nominal con una presión de 120Psig, con agua de alimentación de 1020ppm proveniente de agua de pozo, consumiendo 66.20 gal/h de petróleo residual N°6 con un rendimiento energético de 74.09%, pero con la implementación de un sistema de osmosis inversa la dureza del agua de alimentación se redujo a 48.75ppm, incrementando la capacidad del caldero a 78.50% con aumento en el rendimiento energético de 81.55%, con un beneficio útil de 37788.41 \$/año, inversión en activos fijos 44300.00 \$ y un periodo de retorno de la inversión de 1.17años.

4.2. En el estudio de Pírela (2008), "Evaluación del sistema de generación de agua desmineralizada de la planta de tratamiento de aguas blancas para la alimentación de las calderas de una cervecería". Expone el estudio de 4 calderas pirotubulares con una potencia de instalación total de 3000BHP, las cuales cuentan con un sistema de tratamiento de agua por 3 ablandadores, los cuales tratan el agua de pozo de 800ppm a 500ppm, con una capacidad de carga de los calderos de producción de vapor de 72%, con un rendimiento energético de 70%, implementando un sistema de osmosis inversa reduciendo la dureza del agua de alimentación hasta el valor medio de 25ppm, aumentando el rendimiento del caldero a 85% y la producción de

vapor saturado a 86%, con un beneficio en ahorro en sal de 220000.00 S./año. En comparación con el análisis a la caldera de 400BHP, el sistema de tratamiento de agua de alimentación inicialmente cuenta con 2 ablandadores de resina sintética, los cuales tratan agua de pozo de 1350ppm a 1020ppm, operando el caldero al 52.40% de la producción máxima de diseño, con un a eficiencia energética de 74.09%, pero con un sistema osmosis inversa la capacidad de producción de vapor aumento a 78.50%, con un rendimiento de 81.55%, reduciendo los SDT del agua de alimentación a 48.75ppm, logrando un beneficio en ahorro de sal de 45625 S./año.

4.3. En el estudio de Piña (2010), “Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa. Describe el análisis general comparativo de análisis de sistemas de tratamiento de agua de alimentación por ablandadores y osmosis inversa en calderas pirotubulares con petróleo residual N°6, detallando que con la implementación de osmosis inversa el aumento de producción de vapor es en promedio del 15 a 30%, el rendimiento energético de 5 a 10% y el ahorro de combustible de 3 a 7 gal/h. En semejanza al presente estudio la caldera pirotubular de 400 BHP, se encontró que, con el cambio de sistema de tratamiento de agua de ablandadores de resina a osmosis inversa, la producción de vapor aumento 26.10%, el rendimiento energético incremento en 7.46% y redujeron 5 gal/h de petróleo industrial.

V. CONCLUSIÓN

- 5.1. El análisis actual al caldero pirotubular de 400 BHP, determino que el flujo másico de purgas con el sistema de tratamiento de agua con ablandadores es 1692 Kg/h con agua de alimentación de una dureza de 1020ppm. Para la evaluación del rendimiento energético se evaluó de manera indirecta, calculando que las pérdidas en gases residuales son 14.92%, seguido de las pérdidas en purgas de 7.73%, perdidas de combustión incompleta 1.10%, pérdidas por radiación 0.91%, pérdidas de hollín 0.78% y pérdidas por convección 0.47%, obteniendo un rendimiento energético de 74.92%.
- 5.2. Con la implementación de un sistema de osmosis inversa para el tratamiento del agua de alimentación del caldero pirotubular de 400 BHP, se redujo el flujo másico de purgas a 54.18 Kg/h con agua de alimentación con una dureza de 48.75ppm, permitiendo que el flujo másico de vapor incremente a 4917.82 Kg/h (78.50% del flujo máximo), con un ahorro en petróleo residual N°6 de 5 gal/h, ocasionando que las pérdidas en las purgas se minimicen a 0.27%, incrementando el rendimiento energético a 81.55%.
- 5.3. Para el transporte del agua de alimentación desde el equipo de osmosis inversa hacia el caldero pirotubular de 400 BHP, con un caudal de 0.4 lt/s, con una altura energética de 8.5 m, se necesita de una bomba hidráulica modelo 32 -160 Hidrostal con una potencia de 0.3 HP con una velocidad de 1700RPM.
- 5.4. El análisis económico, con la implementación del sistema de osmosis inversa, permitió un ahorro en consumo de sal de 45625.00 S./año, en agua de alimentación 33854.44 S./año y en combustible 26327.62 S./año, obteniendo un beneficio de 105807.56 S./año, con una inversión inicial de 124040.00 S./ y un periodo de retorno de la inversión de 1.17 años.
- 5.5. El análisis financiero, arrojó un valor actual neto de 85431 \$, con una tasa interna de rentabilidad de 81%, estableciendo que el proyecto es factible

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Implementar un plan de mantenimiento correctivo y preventivo para el equipo de osmosis inversa, motor – bomba hidráulica, tanques de condensado y red de tuberías de agua de alimentación, para lo cual dicho mantenimiento debe estar en paralelo al mantenimiento realizado a la caldera pirotubular de 400BHP.
- 6.2. Se recomienda seleccionar un equipo de osmosis inversa con una captación no menor del 99.50% de los sólidos disueltos totales, con un permeado de 60% y un arrastre de 40%, para obtener los beneficios y retorno de operación especificados de 14 meses.
- 6.3. Instruir a los técnicos e ingenieros de la planta fuerza con respecto a la operación de la nueva tecnología de implementación del sistema del sistema de osmosis inversa.
- 6.4. Se recomienda elaborar un diagrama de Gantt para exponer las diferentes actividades o tareas para la ejecución del proyecto en un tiempo determinado.

VII. REFERENCIAS

- Amau, José. 2010. *Ejercicios resueltos de máquinas térmicas*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia. 9788483635919
- Beltrán, Rafael. 2008. *Conversión Térmica de Energía*. Bogotá : Uniandes. 9789586953856.
- Broatch Jacobi, Alberto. 2010. *Ejercicios Resueltos de Maquinas Térmicas* : Universidad Politecnica , 978-84-8363-591-9.
- Capcha, Meliton. 2007. *Termodinámica II*. Lima : Ciencias. 15010520022131.
- Cengel, Yunus. 2007. *Transferencia de calor y masa*. México, D.F : McGraw-Hill, 2007. 9789701061732.
- Incropera, Frank y Witt, David. 2009. *Fundamentos de transferencia de calor*. México :Prencite Hall. 0471304603.
- Kenneth, Wark y Donald, E. 2001. *Termodinámica* . Madrid : Concepción Fernández Madrid , 2001. 844812829.
- Martines, Juan. 2010. *Energías eléctricas y renovables*. Madrid : Limusa-Wiley, 2010. 9786070501760.
- MEM. 2010. *Balance Nacional de Energía*, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2010. 752814833.
- MITINCI. 2012. *Análisis comparativo de metodologías de medición de eficiencia energética*. España: Organización Latinoamericana de Energía, 2012. 9485423589127.
- Sowell, Tomas. 2013. *Economía Basica* . España : Deusto SA, 2013. 9788423412648.

ANEXOS

A.1. Ficha técnica de ensayo - petróleo industrial N°6 – Petroperú.

Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	1033
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	487
Cenizas, % en peso	0.06
Azufre, % en peso	1.36
Poder Calórico, BTU/gal	151700
BSW, % en volumen	0.08
Punto de inflamación, °C	112
Vanadio, ppm	160
Grado API @ 60°F	11.5
Punto de Fluidez	+15

A.2. Análisis de gases del caldero pirotubular de 400 BHP - Equipo Testo 300L.

testo 330-1LL	
VI. 58	02043699/USA

NICOVITA TRUJILLO	
APIN	
02/11/2013	15:06:56
Fuel:	Fuel oil #6
O2ref. :	3.0%
CO2max:	16.7%

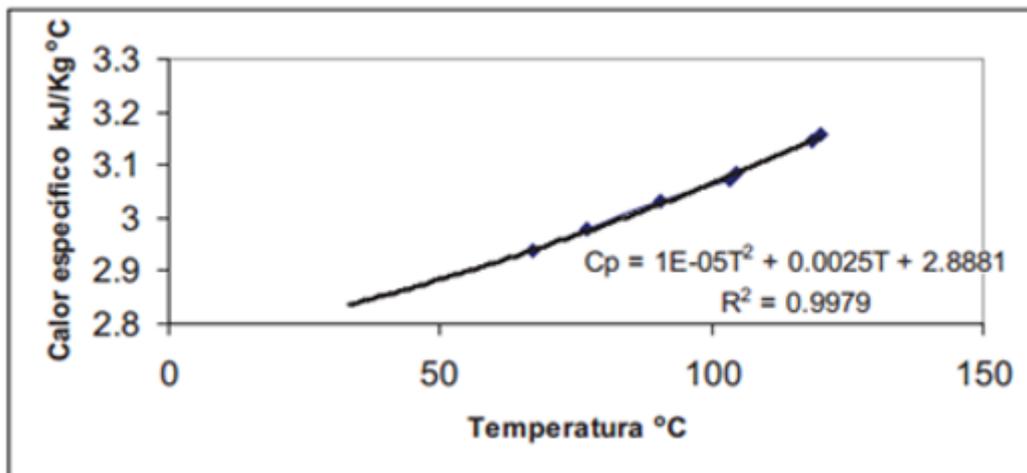
249.4	*C T stack
9.0	% Oxygen
9.53	% CO2
3	ppm CO
181	ppm NOx
172	ppm NO
71.1	% ExAir
83.2	% EFF
32.5	*C Ambient temp
36.5	*C Instr. temp.
38.6	*C Dewpoint
-----	*C Diff. temp.
-----	mbar Diff. Press.
-----	ppm CO2amb
-----	ppm aCo

Smoke number	---
Mean :	---

A.3. Propiedades termofísicas del aire.

Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935

A.4. Calor específico a presión constante del petróleo industrial.



A.5. Tabla de propiedades termofísicas de los gases residuales

T[°C]	ρ [Kg] [m ³]	Cp [KJ] [Kg°K]	K * 10 ² [W] [m°K]	a * 10 ² [m ²] [h]	μ * 10 ⁶ [N.s] [m ²]	v * 10 ⁶ [m ²] [seg]	Pr -
0	1,295	1,045	2,2794	6,08	15,7842	12,2	0,72
100	0,95	1,0676	3,1284	11,10	20,3949	21,54	0,69
200	0,748	1,0969	4,0123	17,60	24,4955	32,80	0,67
300	0,617	1,1221	4,8380	25,16	28,2331	45,81	0,65
400	0,525	1,1514	5,6987	35,04	31,6863	60,38	0,64
500	0,457	1,1849	6,5593	43,61	43,8549	76,30	0,63
600	0,405	1,2142	7,4199	54,32	37,8666	93,61	0,62
700	0,363	1,2393	8,2689	66,17	40,6918	112,10	0,61
800	0,329	1,2644	9,1528	79,09	43,3798	131,80	0,60
900	0,301	1,2895	10,0134	92,87	45,9108	152,50	0,59
1000	0,275	1,3063	10,8973	109,21	48,3633	174,30	0,58
1110	0,257	1,3230	11,7463	124,37	50,7078	197,10	0,57
1200	0,24	1,3398	12,6185	141,27	52,9936	221,0	0,56

Nota: son equivalentes; $\frac{KJ}{Kg^{\circ}K} = \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ y $\frac{W}{m^{\circ}K} = \frac{W}{m^{\circ}C}$

A.6. Propiedades termofísicas del agua

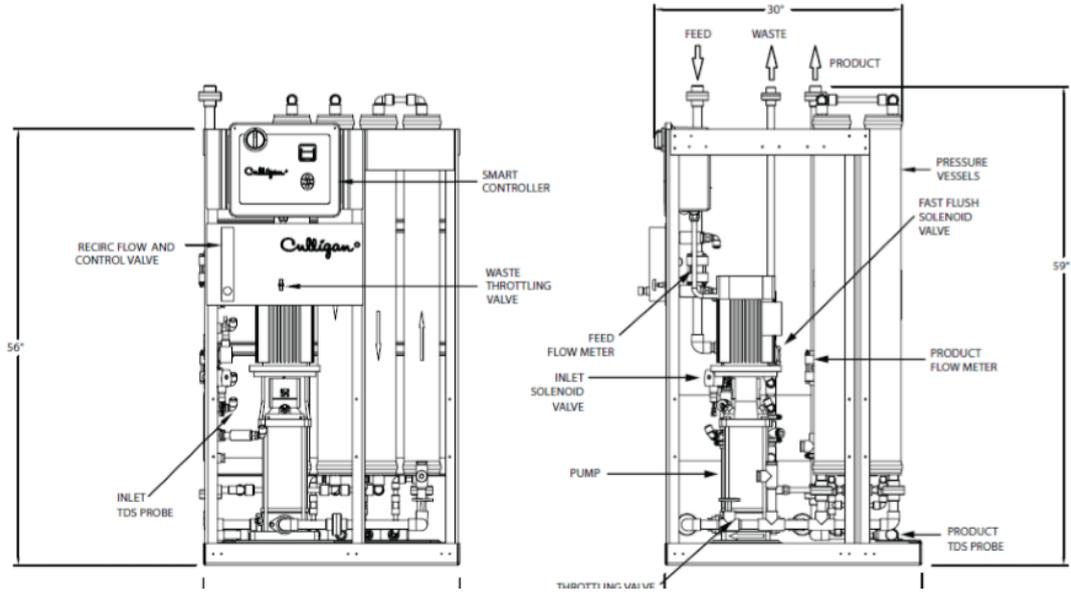
Temp. °C <i>T</i>	Pres sat. kPa <i>P_{sat}</i>	Volumen específico m³/kg		Energía interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropía kJ/(kg · K)		
		Líquido sat. <i>v_f</i>	Vapor sat. <i>v_g</i>	Líquido sat. <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Vapor sat. <i>u_g</i>	Líquido sat. <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Vapor sat. <i>h_g</i>	Líquido sat. <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Vapor sat. <i>s_g</i>
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
Pres sat. MPa												
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698

A.7. Propiedades termofísicas del vapor

Pres. kPa P	Temp. sat. °C T _{sat}	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg			Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/(kg · K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
		v _f	v _g	u _f	u _{fg}	u _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _{fg}	s _g
0.6113	0.01	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
Pres. MPa												
0.100	99.63	0.001043	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
0.125	105.99	0.001048	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
0.150	111.37	0.001053	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
0.175	116.06	0.001057	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
0.200	120.23	0.001061	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
0.225	124.00	0.001064	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
0.250	127.44	0.001067	0.7187	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527
0.275	130.60	0.001070	0.6573	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0209
0.300	133.55	0.001073	0.6058	561.15	1982.4	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
0.325	136.30	0.001076	0.5620	572.90	1973.5	2546.4	573.25	2155.8	2729.0	1.7006	5.2646	6.9652
0.350	138.88	0.001079	0.5243	583.95	1965.0	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.2130	6.9405
0.375	141.32	0.001081	0.4914	594.40	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
0.40	143.63	0.001084	0.4625	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
0.45	147.93	0.001088	0.4140	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
0.50	151.86	0.001093	0.3749	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213
0.55	155.48	0.001097	0.3427	655.32	1909.2	2564.5	665.93	2097.0	2753.0	1.8973	4.8920	6.7893
0.60	158.85	0.001101	0.3157	669.90	1897.5	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	4.8288	6.7600
0.65	162.01	0.001104	0.2927	683.56	1886.5	2570.1	684.28	2076.0	2760.3	1.9627	4.7703	6.7331
0.70	164.97	0.001108	0.2729	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.7080
0.75	167.78	0.001112	0.2556	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057.0	2766.4	2.0200	4.6647	6.6847
0.80	170.43	0.001115	0.2404	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	4.6166	6.6628
0.85	172.96	0.001118	0.2270	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.0710	4.5711	6.6421
0.90	175.38	0.001121	0.2150	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	4.5280	6.6226
0.95	177.69	0.001124	0.2042	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.1172	4.4869	6.6041
1.00	179.91	0.001127	0.1944	761.68	1822.0	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	4.4478	6.5865
1.10	184.09	0.001133	0.1775	780.09	1806.3	2586.4	781.34	2000.4	2781.7	2.1792	4.3744	6.5536
1.20	187.99	0.001139	0.1633	797.29	1791.5	2588.8	798.65	1986.2	2784.8	2.2166	4.3067	6.5233
1.30	191.64	0.001144	0.1512	813.44	1777.5	2591.0	814.93	1972.7	2787.6	2.2515	4.2438	6.4953

A.8. Ficha técnica del equipo de osmosis inversa

Series G2 (Wide) Major Components and Water Connections





The Culligan G2 Series Reverse Osmosis System

Examples of Markets Served

- Agriculture
- Automotive
- Bio-Pharmaceutical
- Botanicals
- Bottled Water Plants
- Chemical Processing
- Commercial Buildings
- Dairies
- Educational Facilities
- Energy/Power/Cogeneration
- Entertainment Complexes
- Electronics
- Food/Beverage
- Government
- Grocery
- Hotels/Lodging
- Hospitals/Healthcare
- Ink/Dye Production
- Laboratories
- Laundry
- Manufacturing
- Marine
- Military
- Multi-Residence Facilities
- Municipalities
- Plating/Coating
- Printing
- Pulp/Paper
- Oil/Petroleum/Gas
- Textile
- Theme Parks
- Universities
- Vehicle Wash



The G Series Reverse Osmosis systems are the direct result of Culligan's long time experience in membrane applications around the world. From process water for any size business to treating water for an entire city, Culligan has the knowledge and the range of products you need to get the job done.

The Culligan G2 is a painted steel skidded system sized to serve many medium sized applications that require high quality reverse osmosis water. It is designed with the flexibility to closely match your treatment requirements from 3 to 18 gallons per minute (4,000 to 25,000 gallons per day). Choose from a high efficiency or high production design with horizontal or vertical mounting of the membrane housings. A rich standard feature set with multiple options are available to satisfy virtually any application. Select the right size and choose any options needed to complete your system.

Key Product Features

- Simple System Integration
- Global Product Platform
- Flexible Configurations
- Choice of High Efficiency or High Production Design
- Quick Delivery / Easy Installation
- Exclusive Culligan Advanced Electronics
 - Historical Operating Data
 - Alarm Recognitions
 - US Standard and Metric Readings
 - Remote Monitoring Options
 - Telemetry Options

Examples of RO Applications

- Ice Production/Drinking Water—Reduces scaling, improves taste and clarity.
- Steam Production—Reduces scaling and maintenance
- Humidification—Reduces scaling and dusting
- Misting—Reduces scaling and extends equipment life
- Pretreatment for High Purity Systems—Reduces regeneration requirements
- Reclaim/Recycling—Water conservation
- Boiler and Cooling Towers—Improves energy, reduces chemical consumption
- Washing and Rinsing—Improves performance, spot-free rinses.
- Brackish water potabilization

Standard Features

- Painted Steel Frame Design
- Energy Efficient Multi-stage Stainless Steel Pump
- FRP Membrane Housings
- Inlet Solenoid Valve
- Pretreatment Sediment Filter
- Concentrate and Recirculation Throttling Valves
- System Operating Pressure Gauge
- Electronic Turbine Style Flow Meters
- Stainless Steel Pump Throttling Valve (Plus Models)
- Product Flush Solenoid Valve (Plus Models)
- Electronic Pressure Transducers (Plus Models)
- Stainless Steel Concentrate and Recirculation Valves (Plus Models)
- Culligan Electronic Control Panel
 - Telematic Capability
 - Comprehensive System Monitoring
 - Lighted Alphanumeric Display
 - TDS Monitoring of Water Quality and Rejection
- Low Pressure Switch and Auto Restart
- Connection for Pretreatment Signal Switch and Level Control
- Elapsed run time monitor
- Visual and/or Audible Alarms
- Remote Alarm Output Connection
- System Flow Rate Monitoring
- User Selectable Flush Options

Optional Features & Accessories

- Multi-Stage Pretreatment Filters
- Stainless Steel Frame Design
- Polypropylene, PVDF or SS Plumbing
- Wireless Remote Digital Display
- Leak Sensor
- RS232, RS485 Output
- PIC Controller
- Storage Tanks
- Level Controls
- Distribution Pump Skids
- Post Treatment Polishing Skids
- Chemical Feed Pumps
- Ultraviolet Sterilizer Lights
- Pressurized Storage System
- Global Power Platforms
- Additional Customization Available on Request

System Specifications

Specification	US	Metric
Inlet Pressure (dynamic)	20-60 psig	1.4 - 3.5 bar
Maximum Operating Pressure	150-200 psig	10.3 - 13.8 bar
Power Voltage	208-230-460	280-415
Frequency	60 Hz	50 Hz
Phase	1 or 3	1 or 3
Feed Water Temperature	33-100° F	1-40° C
Turbidity, maximum	< 1 NTU	< 1 NTU
pH Range	3 - 11	3 - 11
Chlorine, max.: 0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
Total Dissolved Solids, maximum	2500 mg/l	2500 mg/l
Silt Density Index		
Well Water	< 3	< 3
Surface Water	< 5	< 5
Iron, maximum	< 0.1 mg/l	< 0.1 mg/l
Salt Rejection, nominal	> 98 %	> 98 %
Product Water Hardness	< 1% Raw Hardness	< 1% Raw Hardness

*Nominal capacity based on new RO membranes operating on a properly pretreated feed water of 500 ppm TDS as NaCl, 77° F (25° C), Silt Density Index (SDI) below 3, and applying water to atmosphere. Productivity will vary depending on the actual feed water quality and temperature.

Note: Membrane life dependent on site specific conditions.

Culligan.

better water. pure and simple.™

1-800-CULLIGAN
www.culliganindustrial.com

Printed 02/09

©2009 Culligan International Company

All trademarks used herein are registered trademarks of Culligan International Company.

Products manufactured and marketed by Culligan International Company (Culligan) and its affiliates are protected by patents issued or pending in the United States and other countries. Culligan reserves the right to change the specifications referred to in this literature at any time, without prior notice. Culligan, and "better water. pure and simple." are trademarks of Culligan International Company.

Series G2 Reverse Osmosis System - High Efficiency

Model	Nominal Capacity (GPM / IPM)	Nominal Capacity (CPD / m ³ /h)	Module Qty & Size	Approx. System Recovery (%)	Motor (HP/KW)	Electric Power Req'd (MAC)	Dimension L x W x H (Inches/millimeters)
G2-2HE	2.78	4020	(2), 4"x60"	60	2-1.49	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	10.52	0.63			2-1.49	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-3HE	4.03	5820	(3), 4"x60"	60	2-1.49	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	15.28	0.91			2-1.49	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-4HE	5.21	7520	(4), 4"x60"	60	2-1.49	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	19.72	1.18			2-1.49	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-5HE	6.25	9020	(5), 4"x60"	75	2-1.49	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	23.66	1.42			2-1.49	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-6HE	6.94	10000	(6), 4"x60"	75	2-1.49	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	26.29	1.58			2-1.49	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-7HE	9.2	13250	(7), 4"x60"	75	3-2.24	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	34.83	2.09			3-2.24	380-415/3/50	775 x 787 x 1425
G2-8HE	10.42	15000	(8), 4"x60"	75	3-2.24	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	39.43	2.37			3-2.24	380-415/3/50	775 x 787 x 1425
G2-9HE	11.98	17250	(9), 4"x60"	75	3-2.24	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	45.35	2.72			3-2.24	380-415/3/50	775 x 787 x 1425
G2-10HE	13.19	19000	(10), 4"x60"	75	3-2.24	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	49.95	3			3-2.24	380-415/3/50	775 x 787 x 1425

Series G2 Reverse Osmosis System - High Production

Model	Nominal Capacity (GPM / IPM)	Nominal Capacity (CPD / m ³ /h)	Module Qty & Size	Nominal System Recovery (%)	Motor (HP/KW)	Electric Power Req'd (MAC)	Dimension L x W x H (Inches/millimeters)
G2-2HP	4.4	6341	(2), 4"x60"	75	3-2.24	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	16.7	1			3-2.73	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-3HP	6.6	9511	(3), 4"x60"	75	3-2.73	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	25.0	1.5			3-3.73	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-4HP	8.8	12682	(4), 4"x60"	75	7.5-5.6	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	33.3	2			7.5-5.6	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-5HP	11.0	15852	(5), 4"x60"	75	7.5-5.6	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	41.7	2.5			7.5-5.6	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-6HP	13.2	19023	(6), 4"x60"	75	7.5-5.6	208-230/3/60	22 x 31 x 56
	50.0	3			7.5-5.6	380-415/3/50	560 x 787 x 1425
G2-8HP	15.4	22193	(8), 4"x60"	70	7.5-5.6	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	59.3	3.5			7.5-5.6	380-415/3/60	775 x 787 x 1425
G2-10HP	17.61	25363	(10), 4"x60"	70	7.5-5.6	208-230/3/60	30.5 x 31 x 56
	66.67	4			7.5-5.6	380-415/3/50	775 x 787 x 1425

A.9. Cotización de equipo de osmosis inversa y accesorios.



CALLE TALABARTEROS 161 - URB. EL ARTESANO
ATE - LIMA - PERU
TEL: 51-1-436-1400 FAX: 51-1-436-2010
EMAIL: ventas@accuaproduct.com
WWW.ACCUAPRODUCT.COM

PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA
AP-EQ14 - REF

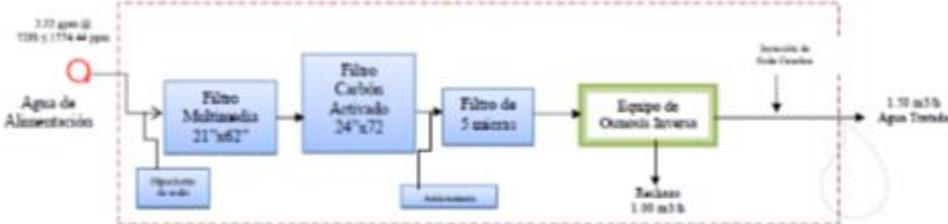
PARA : ALICORP S.A. DE : Ing. Christian Chiroque Ruiz.
ATENCIÓN : Ing. Rafael Cotrina Castañeda FECHA : 11/12/2014
Teléfono : Páginas : 1 a 15
ASUNTO : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA.

Estimados Señores:
La presente tiene por objeto el suministro de un sistema de tratamiento de agua por osmosis inversa, considerando que el flujo de agua producto sería aproximadamente 2.50 m³/h.

1. CALCULO DE FLUJOS DEL SISTEMA.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA

Diagrama de Flujo



2. CALIDAD DEL AGUA CRUDA

El diseño de la Planta de tratamiento se ha realiza considerando la captación del agua de Pozo, cuyas ventajas respecto a otras fuentes son las siguientes:

- > Calidad y presión constante de agua filtrada por filtro multimedia y carbón activado
- > Mínima presencia de algas, bacterias y otros organismos superiores;
- > Mínimo Índice de Atascamiento;
- > Baja saturación de Oxígeno Disuelto;
- > Mínimo nivel de tratamiento;
- > Mayor duración de las membranas de Osmosis Inversa;
- > Menor frecuencia en las limpiezas de membranas;

Equipos, Controles e Insumos - Ingeniería y Servicios...

El diseño de la Planta de tratamiento se ha realiza considerando los análisis físicos químicos preliminares y tomando otros como referencia con fines de diseño:

ANÁLISIS DEL AGUA CRUDA

PARÁMETROS FÍSICOS			
Aspecto	No aceptable	Temperatura	18-28°C
Sabor	-----	pH	7,60
Olor	Ausencia	Turbidez	< 1.0 NTU
PARÁMETROS QUÍMICOS			
CATIONES		ANIONES	
Calcio	218.088 ppm Ca	Bicarbonatos	296.14 ppm CaCO ₃
Magnesio	74.459 ppm Mg	Carbonatos	0.27 ppm CO ₃ ²⁻
Dureza Total	850.40 ppm CaCO ₃	Sulfatos	206.94 ppm SO ₄ ²⁻
Potasio	97.295 ppm K	Cloruros	304.36 ppm Cl ⁻
Sodio	197.188 ppm Na ⁺	Nitratos	< 0.013 ppm NO ₃ ⁻
Hierro Total	0,01 ppm	Cianuro	N.I ppm CN ⁻
Hierro	N.I. ppm Fe ²⁺	Fosforo total	N.I ppm P
Manganeso	N.I ppm Mn ²⁺		
Aluminio	N.I ppm Al ³⁺	OTROS	
Estroncio	N.I ppm Sr ²⁺	Conductividad	uS/cm +/- 5%
Bario	N.I ppm Ba ²⁺	T.D.S.(análisis)	733.30 mg/L
Amonio	N.I ppm NH ₄ ⁺	T.D.S.(análisis)	1774.33 mg/L
Arsénico	N.I ppm As ³⁺	Boro	N.I ppm
Cobre	0.000 ppm Cu	Sílice	20 ppm
Cromo	0.00 ppm Cr	DBO	N.I ppm
		DQO	N.I ppm
OTROS PARAMETROS			
Origen	Agua de Pozo	Aceites y Grasas	0 ppm
S.D.I	N.I	TSS	< ppm
Coliformes Totales	N.I UFC/ 100ml	Coliformes fecales	N.I NMP/100ml

NOTA:

*Tomar en consideración que valores mayores a estos pueden aumentar el TDS del Agua producto o requerir de una mayor presión dentro del equipo de Osmosis Inversa.

*Las concentraciones de Aluminio, Estroncio, Bario, Amonio, Arsénico, Fluoruros, Fosfatos, Boro, Sílice, Nitrato, Sulfato, TSS y Turbidez, representan parámetros críticos y deberán ser analizados y reportados para fines de garantía del sistema.

CALIDAD DEL AGUA TRATADA

Bajo las características supuestas se puede predecir que las características básicas del Agua Tratada durante la Puesta en Marcha del sistema serían:

Parámetros (mg Ion / lts)	Valores Pronosticados
Origen	Agua Osmotizada
Aspecto	Limpia
Sabor	Insipido
Olor	Inodoro
pH	[6.8 – 7.2] ¹
Solidos Totales Disueltos del Agua Osmotizada a 18°C	≤ 70 ppm +/- 15% ^{2,3}

NOTA:

1. En caso se desee obtener un pH mayor a 6 en el agua tratada se debera adicionar un sistema de dosificacion de soda, esto provocaria el incremento de la conductividad. Para predecir este valor deberiamos conocer con exactitud la Alcalinidad y el pH del Agua cruda.
2. **La conductividad del agua tratada puede alterarse en respuesta a las variaciones de la Conductividad del Agua de Ingreso y la temperatura, a mayor temperatura mayor el TDS del agua producto.**
3. Con el trascurso de los años, todas las membranas sufren un ensuciamiento / incrustamiento (a pesar de las limpiezas quimicas y buen trabajo del sistema) que repercute en un decrecimiento de la calidad del agua producto y/o flujo de agua producto. Se puede estimar que este decrecimiento en calidad NO sería mayor al 25-30% anual acumulativo.

Con estas consideraciones le presentamos nuestra oferta por:

PROPUESTA TÉCNICA

ITEM	CANT.	DESCRIPCION
------	-------	-------------

EQUIPAMIENTO

1. PRE - TRATAMIENTO

01 und. SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUA CRUDA

Bomba Dosificadora de Metabisulfito de Sodio

Fabricante : IWAKI
Modelo : EZ
Control : Manual (Ajuste por perilla)
Capacidad : 6 GPD
Max. Presión : 150 PSI
Materiales : Asientos de válvulas FKM.



Incluye:

Tanque de Producto Químico	Marca	: PULSAFEEDER - USA
	Modelo	: Serie 6000
	Capacidad	: 15 galones
	Material	: Polietileno Virgen
Control de Nivel	Marca	: PULSAFEEDER - USA

01 Und. FILTRO MULTIMEDIA AUTOMATICO

Fabricante : CULLIGAN
 Modelo : HDF-20T
 Flujo de Alimentación : 3.33 m³/h
 Flujo de Retrolavado : 30 GPM



Características:

Tanque	Marca	: STRUCTURAL
	Dimensiones	: 21" ø x 62" H
	Presión	: 80 psi
	Material	: Fibra de vidrio.
Controlador	Marca	: FLECK
	Diámetro	: 1.5" in/out

Otros Componentes:

1. Antracita
2. Arena
3. Gamet
4. Grava Soporte

01 Unid. FILTRO DE CARBÓN AUTOMATICO

Fabricante : ACCUAPRODUCT
 Modelo : HRF-247
 Flujo de Alimentación : 3.33 m³/h
 Flujo de Retrolavado : 30 GPM



Características:

Tanque	Marca	: STRUCTURAL
	Dimensiones	: 24" ø x 72" H
	Presión	: 80 psi
	Material	: Fibra de vidrio.
Controlador	Marca	: FLECK
	Diámetro	: 1.5" in/out

Otros Componentes:

1. Carbón Activado
2. Grava Soporte

2. **SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA**

01 Unid. **SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE ANTINCORUSTANTE**



Bomba Dosificadora de Antincrustante
 Fabricante : IWAKI
 Modelo : EZ
 Control : Manual (Ajuste por perilla)
 Capacidad : 6 GPD
 Max. Presión : 150 PSI
 Materiales : Asientos de valvulas FKM.

Incluye :

Tanque de Producto Químico	Marca	: PULSAFEEDER - USA
	Modelo	: Serie 6000
	Capacidad	: 35 galones
Control de Nivel	Material	: Polietileno Virgen
	Marca	: PULSAFEEDER - USA

01 Unid. **SISTEMA DE MICROFILTRACIÓN**

Filtros de Sedimentos Tipo Cartucho

Marca : PENTEK - USA.
 Modelo : WP5BB97P
 Dimensiones : 4.5" a x 10" H
 Material : Polypropileno
 Porosidad : 5 micras
 Cantidad : Una (1) Unidad.

Portafiltros

Marca : PENTEK
 Modelo : BigBlue #20
 Conexiones : 1-1/2" in/out
 Material : Polietileno
 Cantidad : Una (1) Unidad

Incluye:

- Manómetros (02 Unidades).



01 Unid. EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA 2.50 m3/h

Fabricante : ACCUAPRODUCT
Modelo : AP-RDS-TW4040-BW
Capacidad : 2.50 m3/h Nominal @ 1774.44 ppm TDS

COMPONENTES:



Imagen N°1 Vista referencial de un equipo de Osmosis Inversa de 2,5 m3/h

Bomba de Alta Presión	Marca	: Grundfos o similar
	Modelo	: CR o similar
	Tipo	: Centrifuga Vertical
	Cantidad	: Una (01) unidad
	Energía	: 220- 380-480 V / 3 F / 60 Hz / 5.5 kW
Housings (Portamembrana)	Material	: Cuerpo: Acero inoxidable 304 Impulsor: Acero inoxidable 304
	Marca	: CODE LINE – USA
	Modelo	: Serie 80
Membranas	Material de vidrio	: FRP (Poliétileno con fibra)
	Cantidad	: Cinco (05) unidades.
	Marca	: FILMTEC – USA
	Modelo	: Brackish – 4" Diametro x 40" L
	Tipo	: Alto rechazo de sales
	Material	: Poliamida
	Cantidad	: Quince (15) Unidades.

Otros Componentes:

1. Accesorios de Arranque Directo (DOL) para la bomba de alta presión, marca Siemens o similar.
2. Tablero de Control & Instrumentación, conteniendo un *Microprocesador Lógico Programable (PLC) LOGO* capaz de controlar:
 - Alarma / Apagado del Sistema por Baja Presión
 - Pretratamiento Activado
 - Ingreso para Señal de Nivel (Tanque Agua Cruda / Tanque de Agua Producto Lleno)
 - Alarma de Alta Conductividad

3. La instrumentación sería:

- *Trasmisor de pH y Conductividad SIGNET* con sensor instalados en la línea de Agua Producto;
- *Rotámetros* – instalados en la línea de Agua de Rechazo y Agua Producto

4. Estructura Metálica arenada y recubierta con pintura epóxica y anticorrosiva.

5. Alarma sonora y visual montada en la misma estructura.

6. Piping & Accesorios

- Línea de Baja Presión: Switch *DANFOSS* o *similar*, Tubería en PVC Clase 100.
- Línea de Alta Presión: Tubería en Acero Inoxidable.
- Línea del PERMEADO, Tubería en PVC sch 80 o tubing.
- Línea de Autoflush Automático en el concentrado con lo cual se minimiza el riesgo de un ensuciamiento e incrustaciones.
- Manómetros de Acero Inoxidable montados en Línea.

01 Unid. **SISTEMA DE AJUSTE DE pH A PERMEADO**

Bomba Dosificadora de Soda

Fabricante : IWAKI
 Modelo : EW
 Control : Manual (Ajuste por perilla)
 Capacidad : 6 GPD
 Max. Presión : 150 PSI
 Materiales : Asientos de valvulas FKM.



Incluye :

Tanque de Producto Químico	Marca	: PULSAFEEDER – USA
	Modelo	: Serie 6000
	Capacidad	: 35 galones
Control de Nivel	Material	: Polietileno Virgen
	Marca	: PULSAFEEDER – USA



ACCUAPRODUCT S.A.C.

CALLE TALABARTEROS 161 - URB. EL ARTESANO
ATE - LMA - PERU

☎ 51-1-438-1400 ☎ 51-1-438-2010
ventas@accuaproduct.com
www.accuaproduct.com

3. INSTALACION, MONTAJE & PUESTA EN MARCHA.

Incluye:

- Montaje & Instalacion de los materiales y equipos ofertados
- Puesta en marcha.
- Elaboración de Manuales y Planos Hidráulicos & Eléctricos.
- Productos Químicos para la primera semana de funcionamiento del Sistema.
- Entrenamiento del personal teórica en sus instalaciones y prácticas en Planta al personal Técnico que Uds. designen.

Con relación a nuestra instalación de los equipos, ACCUAPRODUCT ofrece libre de todo costo lo siguiente:

- a. Diagramas de instalación de los diferentes equipos;
- b. Recomendaciones hidráulicas y eléctricas para la instalación;

Cabe recalcar que la presente cotización incluye la presencia de dos (02) técnicos de Accuaproduct, por un periodo de seis (06) días en sus instalaciones, tiempo suficiente para concluir con la Instalación, Puesta en Marcha y Capacitación al Personal Técnico.

Si por motivos ajenos a Accuaproduct, no se pudiera llevar a cabo el servicio en el plazo indicado, se realizará un cargo por cada día adicional de cada uno de nuestros técnicos más los gastos correspondientes.



ACCUAPRODUCT S.A.C.
CALLE TALABARTERO 151 - URB. EL ARTESANO
ATE - LIMA - PERU
☎ 51-1-436-1400 ☎ 51-1-438-2010
ventas@accuaproduct.com
www.accuaproduct.com

PROPUESTA ECONÓMICA

La oferta total de nuestros equipos asciende a:

ITEM	DESCRIPCION	CANT	PRECIO TOTAL S/.
1 a 6	EQUIPOS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA	01	US\$ 39,600.00+ IGW
7	SERVICIO DE PUESTA EN MARCHA	01	US\$. 4,500.00 + IGW
	PRECIO TOTAL INCLUYENDO DESCUENTO	GLB.	US\$ 44,100.00+ IGW

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:

- Tanques de agua cruda y tratada con sensores de nivel.
- Alimentación de agua en forma continua al sistema 3,40 m³/hr y para retrolavado de los filtros 7,00 m³/h.
- Energía estabilizada, para sistemas de control capaz de soportar 220 V / 1 F / 60 hz.
- Energía estabilizada, para el sistema de bombeo capaz de soportar: 12 KW, 220 – 80 V / 3 F / 60 Hz
- Canaleta de desagüe capaz de soportar un flujo de 60 GPM.
- Apoyo de transporte grúa o montacarga para movilización de equipos dentro de la planta.

TÉRMINOS DE EXCLUSIONES DE LA OFERTA:

- Cualquier tipo de Obra Civil: como una caseta del sistema completo, bases de soporte de las electrobomba de alimentación, del filtro multimedia, y base donde sera montado el osmosis inversa
- Cualquier Tanque de Almacenamiento: a excepcion del Tanque de Limpieza.
- Movimiento de los equipos en planta: a cargo del cliente.
- Instalación de los sensores de nivel en la cisterna de agua cruda y en la cisterna de agua tratada.
- Cualquier material para la instalación e interconexión del sistema.
- Sensores de nivel en el tanque de agua cruda y agua tratada.
- Supervisión de la instalación de sistemas o equipos no cotizados en la presente propuesta.

TÉRMINOS DE ENVIO:

- Equipo entregado en la puerta de ingreso a sus almacenes, sobre la plataforma del camión.



ACCUAPRODUCT S.A.C.

CALLE TALABARTEROS 181 - URB. EL ARTESANO
ATE - LIMA - PERU

☎ 51-1-436-1400 📠 51-1-436-2010

ventas@accuaproduct.com
www.accuaproduct.com

TÉRMINOS DE VENTA:

- Propuesta Válida por 15 días.
- **Precio en Nuevos Soles. NO INCLUYE IGV**
- ACCUAPRODUCT SAC establece un (1) año de GARANTIA por los equipos contra cualquier defecto de manufactura la cual entre en vigencia a partir de la Puesta en Marcha del Sistema siempre y cuando esta se efectue dentro de los primeros seis (6) meses de entregado los equipos.

ENTREGA DE EQUIPOS:

- Tiempo de Entrega:
De 10 a 12 semanas después de emitida la Orden de Compra y Pago del adelanto correspondiente.
- Forma de Pago:
60 % Adelanto con la Orden de Compra
40 % Contra Entrega de Equipos.
Otras forma de pago pueden ser evaluadas.

MONTAJE & INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA:

ACCUAPRODUCT SAC establece un (1) año de GARANTIA por los equipos contra cualquier defecto de manufactura la cual entre en vigencia a partir de la Puesta en Marcha del Sistema siempre y cuando esta se efectue dentro de los primeros seis (6) meses de entregado los equipos.

- Tiempo de Entrega:
De 1 a 2 semanas después de emitida la Orden de Compra y Pago del adelanto correspondiente.
- Forma de Pago:
50 % Adelanto con la Orden de Compra del Servicio.
50 % Contra Entrega del Acta de Conformidad de la Puesta en Marcha del Equipo.
Otras forma de pago pueden ser evaluadas.

Sin otro particular, quedamos a sus órdenes
Atentamente,

Ing. Juan Antonio Flores Pérez
GERENTE DE VENTAS
& PROYECTOS

Ing. Christian Chiroque Ruiz
ING. DE VENTAS
DIV. LIMA - PERU NORTE

A.10. Fotografías de la caldera de 400BHP marca Apin

Foto 01: muestra la parte frontal de la caldera Apin durante mantenimiento



Foto 02: muestra los tubos de fuego de la caldera Apin



Foto 03: mantenimiento programado – limpieza de tubos de fuego

