



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Auditoria del tratamiento de agua a caldera 200 Bhp en planta JJK S.A.C.
para desmineralizar el agua y reducir costos de generación de vapor

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Orellano Inca, Miguel Angel (ORCID: 0000-0001-9660-2556)

ASESOR:

Mg. Paredes Rosario, Raúl Rosalí (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

Ante todo, dedico esta tesis de investigación a Dios, por darme la vida y permitir que llegue hasta esos momentos tan importantes de toda mi formación profesional y personal, por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles y mi regocijo en los felices.

A mi madre Elvia Cristina, por su apoyo en todos estos años y por los consejos, estando conmigo en los momentos más difíciles hasta alcanzar mis objetivos.

A mis padres, hermanos y mis abuelos que están en el cielo, que han sabido formarme con valores, hábitos y buenos sentimientos, ya que ha sido la base fundamental en la formación de mi personalidad y, sobre todo por guiarme en mi vida y así poder cumplir mis metas planteadas.

Miguel Angel Orellano Inca

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios por darme la vida y salud, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A la profesora María Armas Alvarado, por su tiempo, dedicación y paciencia en la guía y desarrollo del curso.

A Viviana Jhaneth Alva Mostacero, quien ha sido mi soporte y compañera, en toda mi formación profesional, por haberme acompañado paso a paso a desarrollarme íntegramente, por jamás dejarme decaer y motivarme a ser mejor cada día.

Al Ing. Raúl Rosalí Paredes Rosario, por haber sido mi asesor de tesis y porque siempre comparte sus conocimientos y experiencias académicas.

Así mismo, a la empresa, la cual me apoyó brindándome los datos necesarios para la intervención y proceso de investigación.

Finalmente agradezco a mi promoción de Ingeniería Mecánica Eléctrica (2015-II – “2019-I), sobre todo a mi grupo de amigos, de experiencias académicas y personales, por compartir buenos y gratos momentos, sin dejar de lado la motivación que significaron.

Miguel Angel Orellano Inca

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad	v
Índice.....	vi
Índice de gráficos.....	ix
Índice de tablas	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática.....	2
1.2 Trabajos previos.....	10
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	13
1.4 Formulación del Problema	39
1.5 Justificación del presente estudio.....	39
1.6 Hipótesis	40
1.7 Objetivos.....	40
II. MÉTODO	41
2.1 Tipo y Diseño de Investigación.....	42
2.2 Operacionalización de Variables	43
2.3 Población y muestra.....	45
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	45
2.5 Procedimiento	46
2.6 Métodos de análisis de datos	47
2.7 Aspectos éticos.....	47
III. RESULTADOS	48
3.1 Evaluación de masa y energía en caldera JJK.....	49
3.2 Balance de sólidos disueltos en agua de caldera.....	57
3.3 Dimensionar y seleccionar el desmineralizador del agua a caldera.....	61

3.4	Determinación de nuevos parámetros de operación de la caldera.....	78
3.5	Realizar un estudio económico: presupuesto, beneficios, costos de operación.....	80
3.6	Análisis de impacto medio ambiental	83
IV.	DISCUSIÓN.....	84
V.	CONCLUSIONES	87
VI.	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS.....	93
	ANEXOS.....	96
	Anexo 1: Concentracion límite del agua dentro de calderas para distintas presiones.....	97
	Anexo 2: Rechazo de inorgánicos por Membranas en Osmosis Inversa	97
	Anexo 3: Rechazo de orgánicos por Membranas en Osmosis Inversa.....	98
	Anexo 4: Impurezas inorgánicas comunes, vía de entradas al proceso y sus efectos	98
	Anexo 5: Impurezas orgánicas más comunes, sus vías de entrada al circuito y su efecto:	99
	Anexo 6: Programa de control químico del agua a caldera	100
	Anexo 7: Frecuencia de análisis del agua de alimentación a caldera.....	101
	Anexo 8: sistema de osmosis inversa industrial	102
	Anexo 9: características de sistemas de osmosis inversa industriales	103
	Anexo 10: Arbol de problemas, con causas y consecuencias del problema del estudio	104
	Anexo 11: Matriz de consistencia del estudio de investigación	112
	Anexo 12: Acta de aprobación de originalidad de tesis	113
	Anexo 13: Reporte Turnitin.....	114
	Anexo 14: Autorización de Publicación de Tesis En Repositorio Institucion UCV	115

Índice de figuras

Figura 1 Sistema actual de tratamiento de agua sin osmosis inversa - en Planta JJK SAC. Elaboración propia.....	8
Figura 2 Proyección del sistema de tratamiento de agua a calderas en Planta JJK SAC, con osmosis inversa. Elaboración propia	9
Figura 3. Ósmosis inversa y su sistema de filtración	15
Figura 4 Ósmosis inversa de uso industrial y sus componentes.....	38
Figura 5 Variables del estudio de investigación. Elaboración propia	43
Figura 6. Flujograma del diseño de ejecución del estudio de investigación. Elaboración propia.....	46
Figura 7. Potencias térmicas que entran y salen de caldera. Elaboración propia	51
Figura 8. Flujos másicos en el hogar de la caldera. Elaboración propia	54
Figura 9. Flujos térmicos que ingresan a caldera	55
Figura 10. Diagrama de Sankey con flujos térmicos en caldera. Elaboración propia.....	57
Figura 11. Balance de flujos másicos en caldera 200 BHP JJK – SAC	58
Figura 12.. Balance de sólidos disueltos en caldera 200 BHP. Elaboración propia.....	61
Figura 13.. Sistema proyectado de tratamiento de agua a calderas, con desmineralización con ósmosis inversa.elaboración propia	76

Índice de gráficos

Gráfico nr.1: Sólidos disueltos inorgánicos, en ppm del agua alimentación a caldera 200 BHP JJK SAC. Elaboración propia	6
Gráfico nr.2: Sólidos disueltos inorgánicos, en ppm en agua de caldera 200 BHP JJK SAC. Elaboración propia.....	7

Índice de tablas

Tabla 1 Seguimiento de resultados numéricos reales	11
Tabla 2 Parámetros de trabajo (extraída de BS 2486)	16
Tabla 3. Impurezas, vías de ingreso al circuito y sus efectos.	18
Tabla 4. Variable, definiciones conceptuales y operacionales, indicadores y escalas de medición	44
Tabla 5. Técnicas, instrumentos, objetos y objetivos.....	45
Tabla 6. Parámetros a considerar para selección de desmineralizador.....	61
Tabla 7. Límites de Saturación con Anti-Incrustante	62
Tabla 8. Especificaciones Técnicas Sistema Bombeo Booster	65
Tabla 9. Especificaciones Técnicas Sistema de Filtración	66
Tabla 10. Especificaciones Técnicas Sistemas Retrolavado	66
Tabla 11. Especificaciones Técnicas Sistemas Retrolavado	67
Tabla 12. Especificaciones Técnicas Estación de Limpieza	68
Tabla 13. Especificaciones Técnicas Estación Aire Comprimido.....	68
Tabla 14. Especificaciones Técnicas de Válvulas	71
Tabla 15. Tipos de medias filtrantes, carga y porosidad	73
Tabla 16. Especificaciones de membranas para agua de pozo de 8”x40	74
Tabla 17. Carga Eléctrica Máxima de la Planta	75
Tabla 18. Datos de desmineralizador O.I	89

RESUMEN

Se presenta el trabajo de investigación sobre el dimensionamiento y selección de un sistema de desmineralización en base a una auditoría sobre el proceso de tratar el agua que ingresa a caldera de la empresa JJK SAC, para reducir el costo de generación de vapor.

En el capítulo inicial se plantea la realidad problemática, en donde encontramos que el tratamiento del agua era incompleto, ya que el agua que ingresa a caldera ingresa con una cantidad significativa de sólidos disueltos, los que salen en buena parte en el vapor generado, reduciendo su calidad y entalpía, ocasionando mayor demanda de vapor en los procesos, además, se realizó la auditoría a todo el sistema de generación de vapor, para la línea de agua se obtuvieron los siguientes resultados: Purga de caldera, real: $[165 / (3500-165)] * 2812 = 133.136$ kg/h, el agua entra a 45°C, y la caldera quema en promedio 47.15 galones de petróleo/h, para un rendimiento de la caldera de 78.27%; evacuando un flujo de gas carbónico de 483.88 kh/h

Además, se realizó el balance de sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera, en ppm, que permite dimensionar y seleccionar el desmineralizador de agua.

Los resultados indican que el agua a caldera ingresa con 165 ppm de TDS, siendo el flujo de agua a caldera 3.15 m³/h, el flujo de sólidos a caldera es 8300 g/día. Se calculó el flujo de purga, 0.175 m³/h, es decir se purgan 6860 g/día, quedando 1440 gr/d de sólidos en la caldera, cantidad importante, que reduce la calidad del vapor generado. Se analiza la posibilidad de incrementar purgas o instalar un desmineralizador del agua (ósmosis inversa), eligiendo este último sistema, por ser eficaz y de tecnología madura, el cual deberán tener una capacidad de 14112 kg/h, con un 60% de recuperación del agua (permeado).

Siendo que con los nuevos parámetros de operación determinados en esta tesis sugieren implementar un sistema de ósmosis inversa, la cual nos da como resultados, en la reducción de purgas y el agua que ingresa a caldera es potable, reduciendo el costo de generación de vapor. Se concluye que la inversión en un sistema de ósmosis inversa, para desmineralizar el agua a caldera, es viable, desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental, pues trae beneficios en todos los casos: mejora calidad de vapor y reduce el mantenimiento de caldera y purgas, se obtiene un aumento del rendimiento de la caldera y reducción del costo de generación del vapor, y se reduce el flujo de gas carbónico al medio ambiente.

Palabras clave: Desmineralización, ósmosis inversa, entalpía, purga de caldera.

ABSTRACT

The research work on the sizing and selection of a demineralization system based on an audit of the boiler water treatment process of the JJK SAC Company is presented, to reduce the cost of steam generation. In the initial chapter the problematic reality arises, in that due to an incomplete treatment of the water to the hip, it enters with a significant amount of dissolved solids, which come out in good part in the steam generated, reducing its quality and enthalpy, causing greater steam demand in the processes.

In the development chapter, nro. 3, the steam generation system was audited, for the water line the following results were obtained: Boiler purge, real: $[165 / (3500-165)] * 2812 = 133.136$ kg / h, the water enters at 45 ° C, and the boiler burns on average 47.15 gallons of oil / h, for a boiler yield of 78.27%; evacuating a carbon gas flow of 483.88 kh / h. In addition, the balance of dissolved mineral solids in the water entering the boiler was made, in ppm, which allows to size and select the water demineralizer. The results indicate that boiler water enters with 165 ppm of TDS, with the water flux to boiler 3.15 m³ / h, the flow of solid boiler s is 8300 g / day. The purge flow was calculated, 0.175 m³ / h, ie 6860 g / day is purged, leaving 1440 g / d of solids in the boiler, an important quantity, which reduces the quality of the steam generated. It is analyzed the possibility of increasing purges or installing a water demineralizer (reverse osmosis), choosing this last system, because it is efficient and mature technology, which should have a capacity of 14112 kg / h, with a 60% recovery of the water (permeate).

Being that with the new parameters of operation determined in this thesis, we suggest to implement a reverse osmosis system, which gives us as results, in the reduction of purges and the water entering the boiler is potable, reducing the cost of steam generation.

It is concluded that the investment in a reverse osmosis system, to demineralize boiler water, is feasible, from the technical, economic and environmental point of view, since it brings benefits in all cases: it improves steam quality and reduces the maintenance of boiler and purges, you get an increase in the performance of the boiler and reduction of the cost of steam generation, and reduces the flow of carbon dioxide into the environment.

Keywords: Desmineralization, reverse osmosis, enthalpy, boiler purge.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática.

Inicialmente el uso de las Unidades de Osmosis Inversa (OI) era utilizado para aguas salobres. Al integrar una unidad de ósmosis inversa para el tratamiento de agua para calderas, con suavizador y dosificación de productos químicos, se remueve del noventa y cinco al noventa y nueve por ciento de los STD, mientras más alto sea la pureza del agua que ingresa a caldera, más alto será la pureza de vapor y menor el costo del proceso y como beneficios tenemos que el vapor de alta purificación, reduciendo los contaminantes del vapor el cual se proporciona al reducir los sólidos totales disueltos del agua a tratar con la aplicación de ósmosis inversa. Sólidos totales disueltos que se arrastran por el mismo vapor se depositan en las turbinas y válvulas, trayendo como consecuencia pérdida de su eficiencia su cabida. (Rodríguez, Laura)

Cuando la aglomeración es la mínima que se depositan y corroen los depósitos con impurezas y restos de minerales dentro de la caldera traducido en reducir los costes de mantenimiento, el consumo de su energía mínimo y su vida útil alto de caldera. La asociación de agua limpia, dado por sus siglas en inglés (WQA) en equipos calientes, se demostraron que los minerales que se encuentran incrustados y activos presentaban un 22 por ciento de consumo mayor de energía en caldera a gas y un 17 por ciento en calderas eléctricas. Las incrustaciones sobrecalientan los metales de las tuberías de caldera de condición baja y fuera de trabajo de forma insegura al trabajar. El control de la corrosión es más óptimo en su condensado, la ósmosis inversa quita la alcalinidad reduciendo el dióxido de carbono en vapor, el cual es la causa fundamental de corrosión.

Incremento de ciclos de densidad, al reducir los sólidos totales disueltos del agua a alimentar, nos ayuda a elevar el tiempo que el agua esté dentro de caldera, ayudando a disminuir las purgas, con importante ahorro de líquido, su producto químico y la energía. El uso de productos químicos más óptimos, menos purgas es similar a menores químicos que se retira de la caldera, esto ayuda a reducir los costes y a la vez, aliviar la manipulación de agua residual.

Las calderas, según la forma de operarlo y la presión, se concentra un máximo permitido dentro de los sólidos totales disueltos y su dureza (debe ser 0 ppm). Si lo

valores son menores en el agua a utilizar al reponerlo, será más alto su eficiencia al operar y mayores los beneficios.

Evidentemente sabemos que en la actualidad el calentamiento en la atmosfera y en los mares está creciendo, alterando la temperatura, motivo por el cual, genera la aceleración intensa y estacionaria, modificando su forma y afecta a la biodiversidad en el territorio y el proceso de desarrollo de la vegetación y del agua sin impurezas, debido al crecimiento de uso industrial y humano, agudizando la fragilidad en cuanto a la salud de las personas y la higiene en las ciudades del país, afectando a la gente de población más vulnerable. La carencia de reservorios de agua sin impurezas, aparece una alternativa de solución, el cual hace años varios países han adoptado en aplicarlo, tales como Chile, Australia, España, Argelia y los Emiratos Árabes Unidos, la creación de una planta desmineralizadora, el cual se encargará de convertir el agua del océano en agua potable, teniendo consigo una variedad de limitación, pero siempre va a cumplir sus objetivos de manera eficaz y dinámica con el propósito de llenar de satisfacción y sus necesidades en países que así lo requieran.

En la actualidad, la nación tiene varias plantas de desmineralización con un mínimo extensión para la consumición del ser humano, los cuales son usados en la agricultura y minería, por ejemplo: En la Minería Milpo, el cual tiene en su proceso una planta de ósmosis inversa que fue creado e implementado en el año 2007, conocido por la tecnología reconocida, proponen hacer este proyecto para la ejecución de una planta de agua sin impurezas con el agua del mar, aplicando ósmosis inversa en Pimentel, teniendo en cuenta que la planta con mayor envergadura de la nación es la mina de fosfatos Bayóvar en la ciudad de Piura, el cual el promedio produce 204.3 m³/h de agua con desmineralización. Así como estos proyectos en ejecución, hay otros que utiliza el agua de mar para su uso, Tía María en la ciudad de Arequipa. En la actualidad hay 17 empresas que están evaluando la creación de este proceso para distintos fines.

Con la construcción e implementación de este proceso se prevé satisfacer el requerimiento de distritos alejados, como, por ejemplo: Santa rosa, Eten, San José, así como también zonas urbanas de la ciudad de Chiclayo.

Se conoce que un factor determinante para lograr la duración de los tubos generadores de vapor en calderas, conservar la capacidad y eficiencia de la misma, y por ende tener

costes desafiantes es poder conseguir y sostener en un nivel alto la calidad del agua generada, teniendo en cuenta las normas técnicas que así se requieran.

La empresa de producción de harina a partir de plumas de aves, JJK SAC de Trujillo, se cuenta con una caldera de 200 BHP; el agua contiene sólidos en suspensión, no teniendo la culpa los iones de calcio, ni el magnesio que cree capas salinas de incrustación, los cuales su conducción térmica sea baja. En el coeficiente global de transmisión de calor se produce una reducción significativa en los tubos de la caldera, además que el vapor arrastra consigo partículas de agua, el vapor saturado se convierte en vapor saturado húmedo, reduciendo su entalpía, luego el proceso de uso del vapor entra en un círculo vicioso, pues para una misma carga térmica del intercambiador de calor, se pide más vapor, pues la entalpía del mismo es menor en comparación con la del vapor saturado seco, trayendo como consecuencia directa el aumento del consumo de combustible y encareciendo el costo de generación del vapor en caldera. Cuando el vapor que se genera en la caldera se encuentra con sólidos en suspensión de forma mineral y metálicos, generan que dentro de los tubos que realizan el transporte de un punto hacia el punto de los calentadores, desgaste por la abrasión y erosión, las partículas viajando a la misma velocidad que la del vapor, del orden de 25 a 30 m/s. Una diferente incógnita que genera que se obstruyan los sólidos y que crean que no circule el vapor que es generado que, al salir de los intercambiadores de calor condensado, estos sólidos se depositan en los filtros de las trampas de vapor, obstruyéndolas, ocasionando que los operadores, sin mayor capacitación, abran las válvulas de by pass y se produce la evacuación de condensado y vapor, encareciendo mucho el proceso.

Debido a malas prácticas de operación, el importante proceso de purgas de fondo de la caldera no se realiza adecuadamente, es decir purgar para mantener los sólidos disueltos totales en el orden de los 3500 ppm (partes por millón), se piensa que con esto y por ser un circuito abierto, la pérdida de energía y masa es importante, realizándose la purga en modo parcial, pero con la consecuencia que los ppm del agua en caldera alcance los 5000 y sobrepase los 7000 ppm, con las consecuencias mencionadas anteriormente.

Se debe mencionar que el costo actual promedio de generación de vapor saturado en la Planta JJK SAC es de 190 a 210 soles por tonelada métrica, bastante elevado, debiendo situarse, para el caso del vapor saturado a baja presión, entre 130 a 150 soles

por tonelada métrica, solamente, parte importante de la reducción es aumentar la calidad del agua por desmineralización.

La intención del presente estudio es de proponer la implementación de un sistema desmineralizador del agua a caldera, en JJK SAC, cuya Dirección decidirá su instalación y puesta en servicio.

El contenido de los sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera, así como los sólidos totales y su comparación con los niveles admisibles según normas, se presentan en los gráficos nr. 1 y 2 en donde podemos observar de forma dinámica los STD en ppm y los ST inorgánicos, los cuales se muestran a continuación.

JJK SAC - SÓLIDOS DISUELTOS (ppm) EN AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERA 200 BHP

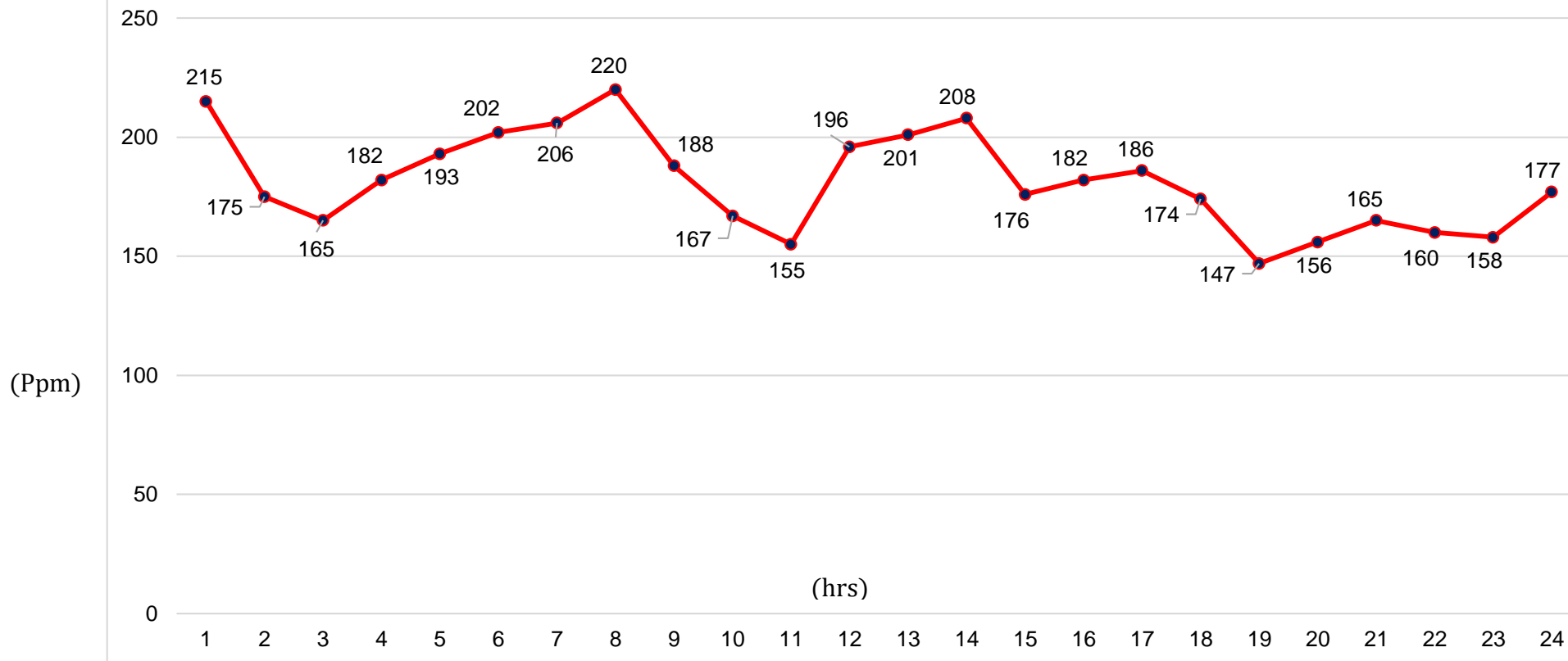


Gráfico nr.1: Sólidos disueltos inorgánicos, en ppm del agua alimentación a caldera 200 BHP JJK SAC. Elaboración propia. Con datos suministrados en Planta JJK SAC, de análisis de agua a caldera

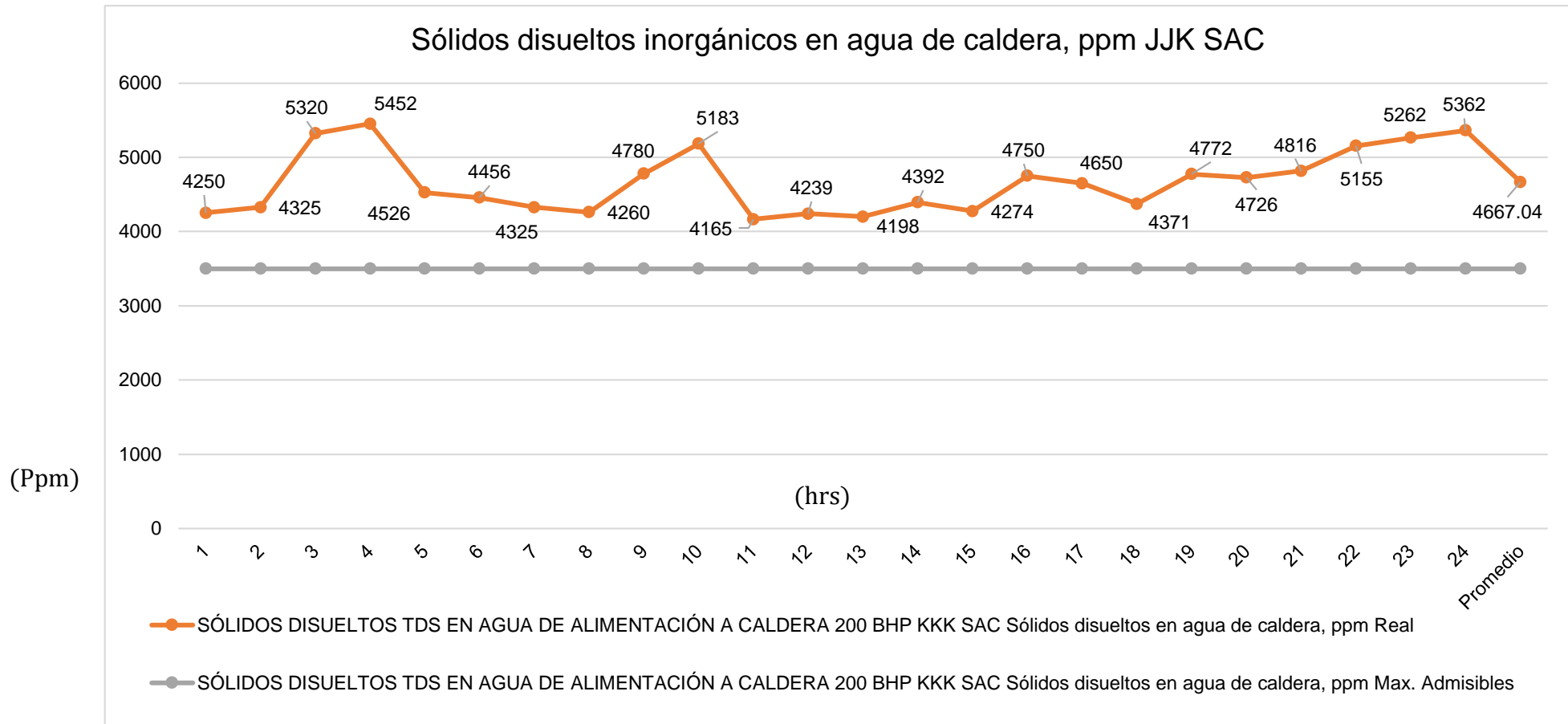


Gráfico nr.2: Sólidos disueltos inorgánicos, en ppm en agua de caldera 200 BHP JJK SAC. Elaboración propia

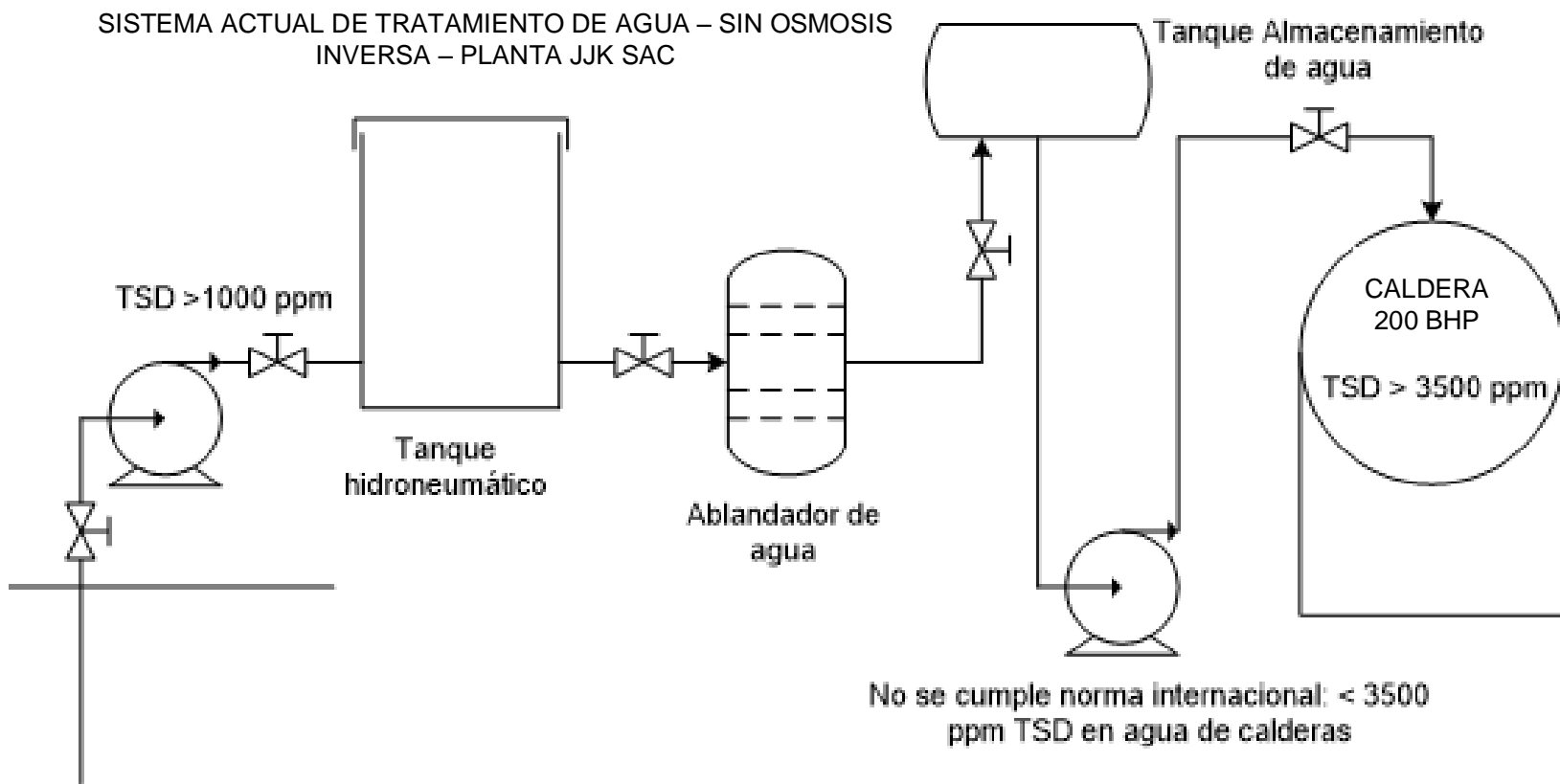


Figura 1 Sistema actual de tratamiento de agua sin osmosis inversa - en Planta JJK SAC. Elaboración propia.

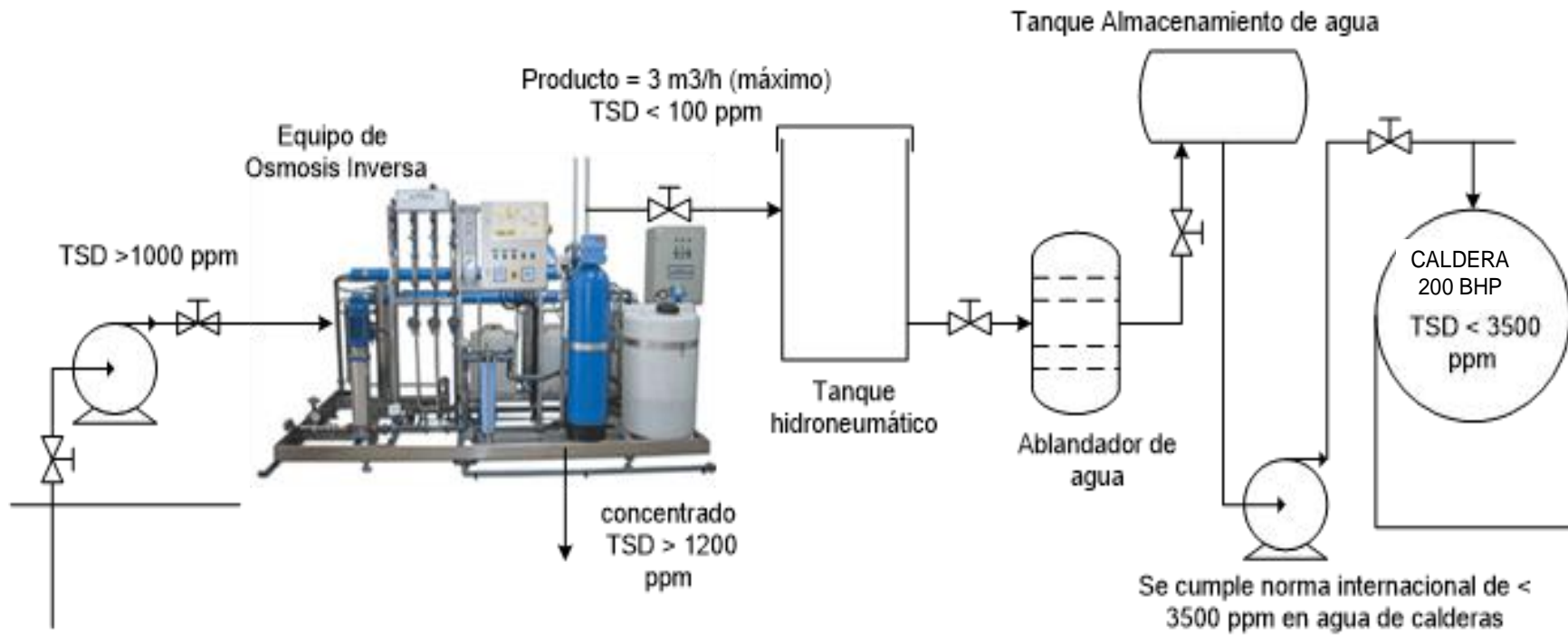


Figura 2 Proyección del sistema de tratamiento de agua a calderas en Planta JJK SAC, con osmosis inversa. Elaboración propia

1.2 Trabajos previos

El autor del dicho trabajo se basó en la aplicación de ósmosis inversa, en la cual el autor utilizó un nanofiltro para el acondicionamiento del agua que ingresa a caldera. (García Olmos, 2002)

Un aspecto importante de este trabajo, fue el valor del procedimiento de producción de agua aplicando ósmosis inversa, teniendo en cuenta que puede variar en los costos de inversión, de tal forma que esto afectará de forma progresiva.

El autor del trabajo determinó el volumen a tener en cuenta, dependiendo del porcentaje de agua que ingresa a caldera, el cual debería ser recuperado con el permeado y de forma paralela, el volumen que se produce en forma de residuo, causa un incremento en los precios para abastecer el agua para alimentar la caldera y aumenta los costos de generación de vapor.

Los costos que son netamente directos al capital en los equipos son el sistema de pre-tratamiento de agua a alimentar, módulos de membrana, sistema RO, instalación del sistema y diseño del equipo conjuntamente con los costos de ingeniería.

El costo de la operación del agua a acondicionar mediante la aplicación de ósmosis inversa es un factor simple de forma mayor en los costos de energía, el cual está incluido el consumo de las bombas de los pozos del agua a alimentar, sistemas de pre-tratamiento del agua y las bombas de presión mayor.

Continuando con la labor de recopilación de trabajos previos con el presente tema se encontró un trabajo que se centra en diseñar y construir un desmineralizador de lecho múltiple (Hidalgo Domínguez, y otros, 2006; Ortíz Díaz, y otros, 2012) con la finalidad de desmineralizar el agua para volverlo potable, obteniéndolo mediante un intercambio iónico, para ello se utilizó dos columnas catiónicas y dos columnas de aniónicas interpuestas entre sí por un desgasificador, seguido de ello, se instaló un lecho mixto en columnas separadas donde el agua a tratar pasa por la columna catiónica en donde se produce un ablandamiento y después por la columna aniónica en donde se produce la desmineralización, pero, para que cumpla su propósito se debe utilizar una adecuada regeneración de resinas.

El autor del dicho trabajo logró satisfacer las necesidades cumpliendo sus estándares del agua que se requiere y localidad alta, pero por otro lado, el desgaste de la resina va perdiendo su utilidad, al ser fáciles de quebrar y por recomendación de los fabricantes

debe ser cambiado la resina catiónica en un máximo de 3 años y la aniónica entre 5 a 7 años de vida útil, encareciendo el proceso de generación de vapor.

En otro trabajo se basó en el tratamiento del agua para calderas (Ortiz Díaz, y otros, 2012) con la finalidad de evitar futuros problemas en el rendimiento de su operación, pues para ello se realizó la visualización del monitoreo de los contaminantes más frecuentes en el agua, el cual es el causante principal de los problemas a resolver.

Los autores del trabajo realizaron cuadros comparativos en donde se logra observar que el agua con el tratamiento genera una calidad de agua alta, trayendo consigo beneficios considerables y un aumento en el rendimiento de los equipos que están encargados en la generación de vapor, así mismo, un ahorro considerable en los procesos de operación y mantenimiento, llegándose a ver cambios notores en sus propiedades químicas, físicas y bacteriológicas entre el agua que es alimentada en el comienzo del proceso y la obtenida al final de este proceso.

Los resultados muestran que la turbidez del agua, su conductividad, los STD, etc., han dado resultados favorables, no obstante, vemos que en la salida en el tratamiento de agua aún quedan con un poco de propiedades químicas, físicas y bacteriológicas entre el agua que es alimentada en el comienzo del proceso y la obtenida al final de este proceso, el cual se visualiza a continuación:

TABLA DE SEGUIMIENTO DE RESULTADOS NUMÉRICOS REALES

Tabla 1 Seguimiento de resultados numéricos reales

Atributo	Entrada	Salida
Turbidez	26 STU	0 STU
Conductividad	350 $\mu\text{S}/\text{cm}$	10 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Color	37	0.37
SST	13 ppm	0 ppm
STD	208 ppm	4 ppm
Cloro	0.2 ppm	0 ppm
pH	7.5	0 ppm
Sílice	44 ppm	7
Fierro	0.34 ppm	5 ppm
Sodio	64 ppm	0.02 ppm
Dureza	110 ppm	5 ppm
DQO	89	0 ppm

Se encontró también un trabajo en donde se realizó un estudio de los condensados en la cual el autor utilizó un sistema de drenaje de cabezales de vapor y benas de calentamiento (Sosa Daza, 2013). El aspecto más importante de este trabajo es evaluar los beneficios, como disminuir los impactos ambientales y el manejo racional de la energía.

El autor del trabajo realizó una evaluación del estado actual del sistema de vapor y condensado, inspección de las trampas de vapor de líneas principales e internas y análisis de parámetros físico-químicos de los condensados. Los resultados fue un 78 % de recuperación de los condensados, dado a los altos costos que tiene el agua de alimentación a calderas, cualquier alternativa que genere un ahorro económico es justificable en la generación de vapor.

En otro trabajo previo encontrado se observó el estudio sobre las ventajas técnicas y económicas de la tecnología de membrana, el cual el autor realizó un tratamiento de agua para calderos (García Bustamante) y para ello utilizó un simulador de procesos realizado por el software dado por sus siglas “ROSA” que significa Reverse Osmosis System Analysis y otras visualizaciones como Excel.

El autor del trabajo realizó una evaluación para saber si es confiable el reemplazo del sistema de tratamiento de agua mediante un ablandador catiónico para la generación de vapor en caldera, los cuales operan a una presión menor a 400 psig, por un sistema de OI.

El autor determinó las condiciones de operación, STD, porcentaje de recuperar los condensados, entre otras, por ello es necesario que el sistema de ablandar el agua por intercambiador iónico por uno de OI para caldera menores a 400 psig y como resultado, es técnicamente posible reemplazarlo de un sistema de intercambio catiónico por uno de OI, para ocasiones en que el agua a alimentar en caldera tenga STD que sobrepasan los 200 ppm y con caldera por arriba de 200 BHP, pero para que su inversión sea factible y su retorno de lo que se invirtió sea en tres años, es posible lograr recuperar la inversión, mejorando la condición de operación de caldera y así lograr reducir la emisividad de gas de combustión.

Continuando con los trabajos previos, el presente trabajo se basó en una auditoría energética en la cual el autor realizó la condensación y el circuito de vapor en una planta elaboradora de café (Bohorquéz, 2013).

El autor realizó un pre – diagnóstico y para ello midió los consumos de vapor utilizando un medidor de flujos, la demanda promedio y máxima, para poder verificar el correcto dimensionamiento de las tuberías y distribución de vapor y para ello, cambió el sistema de purgas de la caldera e implementó tanques flash para mejorar y aprovechar la energía del condensado, además de ello, realizó una inspección a las trampas de vapor utilizando una cámara termográfica y un equipo de ultrasonido.

También el autor logró calcular el costo de generación de vapor y su energía, calculando las pérdidas económicas, producto a las fugas de vapor inspeccionadas y encontradas en los tubos, ya sea por su aislamiento y por la pérdida de retornos del condensado.

El autor realizó un presupuesto referencial para la ejecución de todas las mejoras en la auditoría energética y como también el retorno de la inversión.

Sus resultados obtenidos fueron favorables, no obstante, sólo realizó mejoras en el proceso, pero no aplicaron un método para que el agua que entra a las calderas se desmineralice y no haya pérdidas en el momento de transferir calor en las tuberías y así que dicha auditoría energética sea más eficiente.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Tratamiento de agua a calderas de vapor:

La finalidad al instalar una planta de producción de vapor es la obtención de un producto de vapor que sea factible, económico y de forma segura, para ello la planta necesita llegar a cumplir con los estándares con valores reales y altos, dando un rendimiento eficaz (A. Hernández, 1990). Uno de las causas principales de que no esté disponible en las centrales térmicas son las fallas en los tubos, en el condensador y la caldera, por motivo que operan fuera de rangos establecidos para la operación los parámetros de control, los cuales se encargan de gobernar la corrosión.

Uno de los mayores inconvenientes en el proceso en las centrales en el aprovechamiento de la circulación de agua a vapor, es la aglomeración en los depósitos en los tubos de las calderas, el cual es poroso, los datos mencionan que un 50 % dentro de los depósitos son originados por el motivo de arrastre antes de ingresar a la caldera, y por otro lado el 50 % restante se produce en los tubos de la caldera producido por los óxidos.

Para ello podemos limitar este proceso con un tratamiento químico factible, el cual contiene como consecuencia corrosiones en las distintas materias que complementan el ciclo del agua a vapor.

Para preservar la totalidad de los materiales del circuito, es tratarlo químicamente y como objetivo principal mantener lo más óptimo posible la eficiencia, seguridad, economía y disponibilidad de la instalación conjuntamente con su vida útil.

Es necesario sostener la pureza del agua lo más alto posible con el fin de:

- Prevención en las zonas de transferencia de calor
- Prevención de corrosión en la caldera, vapor, condensado y el agua a alimentar.

Por esto se establece el control químico mediante un programa que nos permita monitorear todo el tiempo la calidad del agua y el vapor, así como también el monitoreo de las impurezas de entrada, con la finalidad de disminuir el costo de los materiales.

Las centrales térmicas con trabajos a presión elevada constituyen en base a sus aleaciones como el cobre, aceros al carbono y a mínima presión en lo que queda del circuito. Dichos materiales están expuestos a la formación de capas en las paredes, es por ello que uno de los parámetros que son importantes en el monitoreo de control químico, es el pH y la conductividad catiónica.

En las partes de temperatura elevado, que sobrepasa los 200 °C, se crea una capa de protección de magnetita densa y uniforme, el cual su flujo de agua que circula por las tuberías y el oxígeno muy bajo, por otro lado, en la parte de temperaturas menores de los 200 °C, el agua que está en contacto con las superficies del acero, están más propensos a corroer. El agua de pureza elevada está monitoreada bajo términos de flujo laminar, turbulencias, lo que aumenta el índice de corrosión se debe a la disolución de hierro, el cual a su vez afecta en la transportación de los productos corroídos que son depositados en la zona donde existe temperaturas altas.

Para reducir de una manera considerable con sus respectivas medidas químicas de forma adecuada es llevarlo de bajas temperaturas a altas en la corrosión y la erosión corrosión.

En fundición en la salinidad en la alimentación de agua, es factible la implementación con posibles soluciones hablando químicamente como tenso activo, secuestrantes, dispersantes, anti incrustantes, oxígeno que está disuelto y el pH regulado, o utilización de tratamiento físico químicos como ablandadores y ósmosis inversa.

1.3.2 Tipo de problemas que se generan dentro de las tuberías:

- 1. Incrustación:** Generación de salinos en las paredes de los depósitos en la parte interior de las calderas formando una obstrucción adicional a la hora de transmitir calor. Debido a esto, produce re calentamientos y dilataciones de forma excesiva el cual genera rotura en las materias. Lo que genera los precipitados del carbonado y sulfato de calcio son las incrustaciones.
- 2. Arrastres:** Se relaciona a su viscosidad en el agua y como problema a ello se forma espuma que crea un arrastre de las gotas del agua, reduciendo su rendimiento en el sistema, al reducir su entalpía, también están los minerales en el arrastre y otros químicos que viajan conjuntamente con el vapor los cuales crean el desperfecto en las cañerías.
- 3. Corrosión:** de orígenes diversos, está relacionada básicamente al pH y porcentaje disuelto de oxígeno y su composición dentro de las calderas en agua de forma fisicoquímica.



Figura 3. Ósmosis inversa y su sistema de filtración

Podemos determinar las sales en el domo realizando un balance de masa, conjuntamente con la concentración del agua que será alimentado y su relación del caudal en la alimentación de la purga en su caudal (A. Hernández, 1990).

$$C2 = C1 \times \left(\frac{Q1}{q}\right)$$

$$\text{El N}^\circ \text{ de ciclos} = \frac{C2}{C1} = (Q3 + q)/q$$

1.3.3 Límites que se deben mantener dentro del agua a caldera:

Las condiciones del agua a caldera junto con la presión de trabajo- Para este tema de estudio se pueden tener como parámetros lo siguiente:

A continuación, en el siguiente cuadro se puede visualizar los parámetros de trabajo dentro del agua que ingresa a caldera en donde está los parámetros reales de medición y lo recomendable, como la dureza total del agua, los STD, dióxido de carbono, etc.- por lo tanto, existe un problema al no cumplir con lo recomendado, para ello debemos de estar dentro de los límites mostrados (A. Hernández, 1990).

PARÁMETROS DE TRABAJO DENTRO DE AGUA A CALDERA

Tabla 2 Parámetros de trabajo (extraída de BS 2486)

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
DUREZA TOTAL	MENOR A 2 PPM
CONTENIDO DE OXÍGENO	MENOR A 8 PPB
FOSFATO Na ₃ PO ₄	30 – 60 PPM
TANINOS	120 – 180 PPM
SULFITO DE SODIO	30 – 70 PPM
HIDRAZINA	0,1 - 10 PPM
DIETILHIDROXILAMINA	0,1 – 1 PPM
DIÓXIDO DE CARBONO	MENOR A 25 PPM
CONTENIDO TOTAL DE HIERRO	MENOR A 3 PPM
SILICE	150 PPM
ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃	MENOR A 700 PPM
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	MENOR A 3500 PPM
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	MENOR A 200 PPM
CONDUCTIVIDAD	MENOR A 7000 uS / CM
25 °C (pH)	10,5 – 11,8
CONDICIONES GENERALES	AGENTES INSOLUBLES CLARO Y LIBRE, INCOLORO

Fuentes de impurezas según su naturaleza

Lo que crea corrosión en el proceso ingresa al circuito con contaminantes que aceleran el proceso de corroer estos equipos, están localizados inicialmente en la parte de alimentación en los calentadores y condensadores, los cuales circulan dentro de la caldera, en donde se concentra en partes un alto fluido de calor, y después de ello son llevados por el vapor, arrastrándolos a las turbinas.

Varios de los que contaminan se presentan en el principio del funcionamiento de la planta. Después que se purgó comúnmente ya no aparecen, a no ser que se vuelva a introducir mientras se realiza el mantenimiento o restauración, aparte, existe algunos que son secuestrables y son una intimidación en medio de la operacionalización del proceso. (A. Hernández, 1990)

En algunas ocasiones en donde se genera mayor daño debido a las impurezas están lejos de la entrada, permitiendo que ingresen compuestos orgánicos, sulfatos, cloruros, CO₂ y O₂, en el vacío en el condensador, produciendo un mayor daño en la caldera, fallas en los tubos generadores o en turbinas como por ejemplo en los discos y álabes.

Las primordiales impurezas que ingresan al proceso son:

- Fractura en los tubos al ingresar(condensador)
- Inoculación en el pulido del condensado o en la desmineralización.

Lo que más contaminan se organizan en orgánicos e inorgánicos. Los que son menos estables son los compuestos orgánicos a comparación de los inorgánicos y se descomponen a elevadas temperaturas en la cual opera, creando moléculas de minúsculo tamaño, comúnmente dióxido de carbono y ácidos carboxílicos. La operación más perjudicial principal para la ejecución de una planta, teniendo en cuenta sus impurezas son la fragilidad caustica, la corrosión y las incrustaciones, formación de espumas y por último los arrastres.

Para ello, en la siguiente tabla podemos visualizar lo más común de impureza, su vía de ingreso al proceso y posteriormente sus efectos, como por ejemplo la impureza inorgánica del calcio, magnesio, lo cual nos da baja calidad de agua y crea incrustación en los tubos de la caldera, también las sales de magnesio en donde existe fuga de condensados y crea corrosión y picaduras.

IMPUREZA MÁS COMUNES, VÍAS DE INGRESO AL CIRCUITO Y SUS EFECTOS

Tabla 3. Impurezas, vías de ingreso al circuito y sus efectos.

Impureza Orgánica	Vías de Ingreso	Efectos
Ácido orgánico de cadena	Aporte de agua. Dichos ácidos no son eliminados por resina de tratamiento del agua y disuelven en el ciclo de ácidos en cadena corta.	Aumento de corrosión en la turbina, conductividad catiónica Creación de ácidos fórmico, acético y Co ₂ .
Fino de la resina de intercambio iónico.	Purificación del condensado y su liberación de los lechos. Descomposición térmica de las resinas catiónicas producido por los ácidos	La corrosión aumenta y su velocidad Corrosión por la erosión.
Aceite.	Contaminantes del agua cruda Fuga en la lubricación de turbina.	Deterioro de los ácidos orgánicos En la transferencia de calor genera ensuciamiento de sus superficies
Polímero orgánico	Pérdida en los sellos orgánicos y en las empaquetaduras por motivo de desgastes internos en las válvulas.	Ensuciamiento El material en particular depende de su efecto

Impureza Inorgánica	Vías de Ingreso	Efectos
Calcio, magnesio y sulfatos de carbonato	Baja calidad del agua y fugas en el condensador del agua que refrigera.	Crean incrustación en los intercambiador y tubo de calderas
Sales y magnesio	En el agua de refrigeración existe fuga y en el condensador, agua marina.	Corrosión severa, corrosión tensión baja y picadura
Fosfato	Compuesto de protecciones ante la corrosión. Ablandador de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺	Sin efecto si es en menor tiempo de exposición, adelgaza los tubos
Oxígenos	Inadecuada desgasificación del agua	Riesgo de corrosión elevado.
	Ingreso de aire por medio de los diafragmas hacía los tanque de almacenamiento	
	Ingreso por medio de puntos de vacíos en el circuito	
Ácido y base libres	Regeneración de químicos de resinas compuestos	Corrosión progresiva, corrosión tensión bajo y ataque intergranular
Iones Na ⁺ o SO ₄ ⁼	Escapes en las resinas de los sistemas de purificación en el condensador o en la desmineralización del agua.	Corrosión elevada, Baja tensión de corrosión

Comportamiento y transporte de impurezas en los intercambiadores de calor

El traslado de impurezas hasta la turbina se da mediante dos tipos de mecanismos:

- Arrastre mecánico con sus disueltos con impurezas
- Por la circulación en forma de vapor

✓ **Arrastre mecánico**

Denominado arrastre de húmedas al vapor que sale CO

$$CO = \frac{\text{Masa líquida en el vapor}}{(\text{Masa líquida en el vapor} + \text{masa de vapor})}$$

✓ **Circulación de vapor y sus impurezas**

La volatilidad de las impurezas depende en el tránsito del vapor, la cual es determinada por medio del factor que distribuye el agua-vapor y k que viene a ser el cociente de las impurezas disueltas en el vapor y en lo líquido: $k = C_v/C_w$

Las impurezas más vistas en el proceso en el coeficiente son los sulfatos de calcio, cloruros y sodio, el cual es demasiado mínimo, estando entre una oscilación de 10^{-5} a 10^{-7} para presiones que rodean los 76 atm. EL sílice es mucho más alto en su coeficiente de reparto, igual a 2×10^{-3} , con presión elevada y por tanto a 180 atm, el coeficiente es de 10^{-1} (A. Hernández, 1990)

Hay que tener en cuenta que el cloruro y el sulfato al ser utilizados los diagramas de coeficientes, están primordialmente presente como sal de amonio, de volatilidad alta, el cual el vapor pasará más fácil.

A presión alta en la operacionalización, es posible transportarlo conjuntamente con el vapor y la volatilidad de la sílice, el cual se deposita encima de los álabes de turbina, obteniendo una reducción en la presión debido a que el vapor se expande. Se requiere de una estricta y alta presión de operación para la sílice según sus especificaciones.

Corrosión. Aspectos generales

Lo que perjudica de una forma relevante en ésta ejecución durante toda su utilidad de vida es la corrosión, el cual causa que se degrade en el agua-vapor del circuito, por lo que es de utilidad tener conocimiento del primordial mecanismo de corrosión que se presenten en dicho circuito, que ayuden a disminuir este efecto que son causados en la velocidad y actos de prevención y/o corrección. (A. Hernández, 1990)

Corrosión

Causante de inducir un degradado y pérdidas en sus propiedades, causados por reacciones químicas o electroquímicas que están en contacto con el metal con lo que lo incita. Lo que le ataca empieza desde las superficies hasta llegar a propagarlo hasta el interior dado químicamente. De ánodo y cátodo es donde se ejecuta en distintos puntos encima de su superficie de forma metálica.

En el punto anódico es donde se oxida la matriz de metal debido a sus iones metálicos, y en el punto catódico en donde el agua está disuelta actúa de la misma forma, difundido. (Berlanga Labari, y otros, 2006)

Proceso electroquímico por Corrosión Galvánica

Cuando la corrosión está acelerada por el contacto con metales de distintas noblezas, de este fenómeno, hablamos de corrosión galvánica.

Proceso electroquímico por Corrosión General

Lo que corroe al metal completamente en su totalidad su superficie, hablamos del proceso electroquímico y su fenómeno de corrosión general. Esta forma de corroer es uno de los más comunes, pero podemos prever su peso en el material, así mismo su la velocidad, sabiendo ello, podemos atacar sus efectos con una sobre capa en el material o también pronosticar los cambios en las partes en donde exista efecto previniendo fallos futuros.

Corrosión por picaduras (pitting)

Este proceso de corrosión es conocido por ceder de una forma muy rigurosa y su localización se encuentra en puntos en áreas más diminutas. Esto en términos generales lo asociamos a las fracturas de partes pasivas (películas) el cual apresura ante la

existencia de distintos contaminantes, la picadura para disminuirlo a un punto considerable disminuye el pH, apresurando de una manera considerable la corrosión dentro de los procesos.

Aireación diferencial por corrosión

Producido originalmente al presenciar en sus depósitos que causan que aparezcan en puntos aproximadas con distintos aportes de O₂, en sus distintos puntos de sus superficies metálicas facilita sus actos, el punto menos aireado dicho como ánodo, y el punto más aireado se encuentra el cátodo.

Particularmente hablando de corrosiones por aireación diferencial se da en sus espacios, el cual provoca que cuando ellos se juntan crean una abertura entre ellos mismos, estructura en recodo, etcétera, y en términos generales, cuando se estancan en distintos puntos pobres de O₂, lo cual llega a favorecer en puntos adyacentes que trabaja como cátodo.

Cl y SO₄: Son más graves cuando existen estos tipos de corrosión. (Berlanga Labari, y otros, 2006)

Corrosiones inter-granulares

Producido principalmente con grietas que van creciendo y extendiendo en los bordes de grano en sus estructuras cristalinas, por lo que se dan en distintas razones:

- En los bordes de los granos son menores en orden en sus átomos metálicos, el cual contiene una mínima densidad en su empaquetamiento, es por ello que tiende a pasar de ánodo delante al grano.
- Frecuenta a depositarse en los bordes de granos, las impurezas y su segregación de forma aleada.
- Donde se genera ganancia o pérdida en elementos aleados en los bordes de los granos.

Proceso de Corrosión selectivas

Dado principalmente en el metal aleado, el cual posee distintas capacidades de equilibrio, en donde se corroe de forma menor el aleante selectivo, hablamos de los latones Cu+Zn (descincificación).

Proceso de corrosión y erosión

Generado por los roces de la masa de agua el cual existe en su movimiento de forma laminar, el cual se produce por el deterioro y el acto de los abrasivos de forma líquida y por sus turbulencias encima de sus capas metálicas, dicho curso es notorio su aceleración debido a la existencia de partículas y en suspensión en estado sólido.

Aparecen marcas en su forma física, ondas en la superficie en dirección del fluido, pero también dado en el vapor húmedo, en las gotas de H₂O que actúan como desgaste.

Proceso de Tensión baja en la corrosión

Desgaste producido por trabajar en tensiones altas de forma estática y de tracción, el cual labora en una zona peligrosa el cual causa un deterioro significativo. Principalmente los quiebres y/o grietas son los causantes del daño, teniendo como características a 3 puntos que al alearse para que suceda este tipo de corrosión serían:

- Presencia de Tensión estática.
- Presencia de medios agresivos específicos.
- Presencia de elementos con susceptibilidad a corroer.

Puede ser de distintas formas las tensiones estáticas como, por ejemplo: Externo, cuya carga en los puntos de soldadura son excesivas, así también como en los remaches; grieta en donde existe acumulación de materias que corroen y a la vez ejecutan presión en ellas, ya sea de forma residual o interna, ya que esto se da por una variedad de factores dentro de trabajos en frío o templado metalúrgico.

El incremento de roturas no es dado exactamente en los metales con pureza, ya que es dado singularmente en las aleaciones por medio de peligros muy violentos, divisándose de forma peligrosa cuando su temperatura es elevada y presentándose una ecuación de Arrhenius el cual es dos veces mayor de corroer por cada diferencia de temperatura de 10 ° C.

Las roturas que se extienden hasta romperlo se transmiten de forma perpendicular a su tracción (fuerza) y el cual puede ser inter-granulares o trans-granulares.

Proceso de corrosión por fatigas

Referido al crecimiento de extravío en las materias y sus resistencias el cual causa fatigas al estar dentro del centro donde se corroe. Se crean roturas o quiebres llegando hasta el punto de romper cuando el material está sujeto a trabajar a tensión cíclica

Proceso de creación de grietas por hidrógeno

Debido a sus temperaturas elevadas y a su interacción con el H₂.

La forma que ingresa el hidrógeno lo hace por difusión a sus redes cristalinas, creando roturas o quiebres hasta romperlo. De la corrosión viene de su H₂, el cual en términos generales descompone al agua y sus reacciones redox.

Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor son tipos radiadores los cuales cumplen como función principal las transferencia de calor entre fluidos, o en otros casos entre un sólido y un fluido que se encuentra en movimiento, por ello es una parte fundamental en los procesos de generación de vapor para que el agua recircule, llegando a un tanque, pues también se utiliza para sistemas de calefacción, para aires acondicionado y refrigeración, además de producir energía y lo vemos presente en procesos químicos. (Aranda, 2014)

Desmineralización del agua a caldera

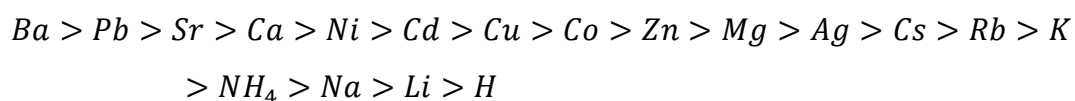
Previo a tratar el agua, sabemos que lleva consigo residuos de rugosidad y de distintas otras sales que están diluidos, teniendo como principal el sodio. En el momento que se requiere tener la calidad del H₂O aumentada, es factible la eliminación de dichas sales disueltas en forma residual, es por eso que esto nos conlleva a utilizar y/o aplicar un proceso de desmineralización en su totalidad por intercambio iónicos.

Principalmente este proceso, radica en cambiar en unas de sus disoluciones o en varias de sus iones por distintos que conforman un lugar dentro del intercambiador. Los disolventes traspasan sus iones y así inversamente los iones traspasan los suyos en el intercambiado, de porciones semejantes a sus disoluciones. (González Olabarría Pedro, 2016).

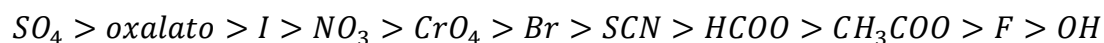
Resina: en principios se utilizaban zeolita artificial o natural para ablandar el agua, seguido de ello, se pudo conseguir distintos productos artificiales, los cuales se llaman de forma general resina, Que dan una ventaja en una variedad de sustancias natural, pero también se resiste a medios que varían.

Tenemos los anicónicos y/o los catiónicos que son clasificados en los intercambiadores, los cuales son ácidos fuertes o débiles en su primera etapa.

Lo que gobierna de forma selectiva e iónica en el intercambiando es inverso y estequiométrico en el proceso de donde intercambian sus iones. Para ello líneas abajo se detalle en su mayoría la sucesión de forma selectiva de sus cationes:



Aniones:



A continuación, se detalla las fases en que opera este ciclo:

- **Fase al intercambiar.** El H₂O que ha sido tratado pasa por su lecho de encima hacía abajo (resinas).
- **En su contra-corriente** Se produce el lavado, el cual coloca su resina en interrupción atravesando al H₂O o el agua por el lecho en forma inversa respecto a la anterior.
- **Restablecimiento.** Pasa de la parte alta hacia la parte baja su reactivo, adecuadamente el diluido regenerado.
- **Aseado o lavado,** el cual suprime el re generantes y sus residuos.

En la parte del ion movable, en el momento que su intercambiador está consumido, su resultado del ion puede recuperarse gracias al paso de un disolvente de sal, o también puede pasar de unos de sus ácidos o el ion movable por H⁺ u OH, resultando satisfactoriamente las resinas en forma originaria debido a que desplaza los iones que

son paralizados en el intercambiador. Es por eso que se precisa tergiversar la selección de un intercambio con una solución de cese de sus resultados concentrados relativos al ion movable.

Se requiere prestar un mayor interés en medio del restablecimiento de éstas, ya que el circuito puede contaminarse e implica a que sucedan sucesos de lo ya mencionado anteriormente. Dicho restablecimiento es realizado cada dos o tres días como forma máxima para fuertes lechos y 1 vez cada mes para los de forma mixta (lecho).

La limitación de su resina ya sea térmicamente o químicamente influye en su consistencia, ya que puede deteriorarse su matriz por degradarse, teniendo en cuenta que la mayor parte de la resina que son comercializados en su totalidad los diluyentes corrientes orgánico, a excepción de que se presente óxidos o reducciones recios. Por otro lado, cuando llegan una temperatura elevada o que supera los cien grados centígrados llegan a estropearse. A esa temperatura comienza el deterioro, debido que existe mucha fuerza en sus bases de los aniones en el intercambiador, al contorno de los sesenta grados centígrados y por su labor mecánica. Quebramiento de su grano.

Transferencia de calor

Es un proceso de propagar calor en distintas partes de una caldera, puede ser llamado también transferencia térmica, lo cual se produce cuando existe un gradiente térmico o cuando entran en contacto diferentes temperaturas de trabajo, esto sucede hasta alcanza un equilibrio térmico, osea llegando a igualar sus temperaturas. (CENGEL, y otros, 2011)

Planta de desmineralización

Tenemos que tener en cuenta la proyección que queramos planificar en una planta de desmineralización, por una parte, el agua bruta y su índole y por otro lado la integridad del H₂O tratado que es requerido para la planta, teniendo en cuenta por otra forma, los costos en la generación, las cuales deberían ser los más mínimos posibles y en sus instalaciones; al conseguir esto, la desmineralización puede presentarse en distintos bosquejos de combinación. (GONZALES OLABARRIA, 2016)

Existen cationes en formas de H^+ que vendría a ser el ácido con regeneración, los cuales están compuestos en el parte primario de la desmineralización en cadena, están disponibles en central térmica, y por otro lado los aniones que están formados OH^+ que vendría a ser sosa en regeneración el cual hace el cambio de las mismas.

Está hecho por unas resinas frágiles de basicidad en los cambiadores de anión, o también por un precio básico de resinas el cual los obstruye, seguido de la sílice con los ácidos carbónicos, esto va a depender de agua crudo de su mineralización.

Luego, agregado a ello, existe la disponibilidad de lechos mixtos para obtener H_2O de purezas altas. El anión y catión (resina) en el lecho combinado, hay un mezclado intrínseco por la alteración por aireación comprimida y estos grupos tienen un comportamiento con infinidades de aniones y cationes en donde se produce un intercambio en forma serial.

Las resinas de distintas densidades son apartadas de forma hidráulica para su recuperación, disponiendo de un desgacificante en el traspasador entre el aniónico y catiónico que servirá para la eliminación principalmente de dióxido de carbono y así podamos prevenir las fugas de carbonatos y ácidos carbónicos de lechos combinados.

Observación de la construcción desmineralizadora

Son medidos principalmente por parámetros puntuales mencionados renglones abajo:

- Conductión
- Concentrado de la combinación de silicio y oxígeno.
- Rugosidad ocasional
- Concentrado de Na
- Coeficiente de la acidez o basicidad de una solución acuosa (pH)

Para la correcta deducción de sus medidas e interpretación de los valores de fugas iónicas, cabe recalcar que, al instalar, si está calculado a la perfectamente, el H_2O con desmineralización con conducción, va a tener teóricamente un promedio de 0,055 $\mu S/cm$, teniendo en cuenta que lo admisible hablando del H_2O y su cualidad, no debe superar el 0,1 $\mu S/cm$

Bombas hidráulicas

Es una máquina que genera, transforma la energía a accionar, normamente es energía mecánica. Puede transportar fluidos, los cuales puedes ser líquidos o una mezcla de líquidos y sólidos, cuando se incrementa su energía de los fluidos, mayor será la presión, su velocidad, pues esto está dado por los principios de Bernoulli, en resumen, las bombas hidráulicas es utilizado para aumentar presiones a un líquido, brindándole energía a todo el sistema hidráulico para transportar el fluido de un lado a otro, de menor a mayor presión. (De las Heras, 2011)

Suciedad y Sus Factores que se presentan en los tubos de caldera

Se sabe que es difícil saber si en la transferencia de calor global y su coeficiente en los intercambiadores de calor, en un tiempo determinado de operatividad y funcionalidad, se considera que al analizar la parte térmica, durante y viendo como se desenvuelve algunos gases, los cuales ocasionan de forma intermitente pequeñas películas de desechos en una determinada superficie en donde se desarrolla la transferencia, por ello pueden ser incrustaciones, causando abrasión y corrosión en las tuberías de la caldera, óxidos, dichas incrustación ocasionan un elevado resistencia térmica, en todo el sistema de trabajo.

Ósmosis Inversa

Basado principalmente en invertir los procesos de ósmosis, teniendo en cuenta las presiones del ósmosis, en donde los dos disueltos entran en contacto entre ellas por medio de una membrana de permeable a medias, las cuales tiende a que sus concentrados se igualen; por el atraveso de los disolventes en donde va de la parte más cargada hacia la más disuelta. Por ello, la presión que es aplicado, en la parte más cargada, en donde la presión del ósmosis es mayor, permite que los disueltos recorran

por medio de la membrana en forma inversa, y lo disuelto se concentra de una forma mayor. (GONZALES OLABARRIA, 2016)

La proporción del paso del flujo másico del H_2O por medio de la membrana, en una mayor proporción por las presiones osmótica y la aplicada.

Sales disueltas de minerales son retenidos entre el 90 y 99 por ciento del paso del H_2O en la membrana de casi permeable, y por otro lado del 95 al 99 por ciento de forma orgánicas y el cien por ciento de los materiales más finos.

Purificación de condensado

El H_2O condensado proveniente del primordial condensador, en términos generales tiene más pureza y es posible llevarlo sólo el níquel, cobre y hierro inicialmente, y quizá un poco de sílice, puede ser suspendido o solucionado. Pero cuando exista roturas o que se piquen los tubos, puede causar que contenga sales en cantidades mayores en forma iónica, en la circulación de fluido. (González Olabarría Pedro, 2016)

Si existe ingreso de aire puede que, entre el O en forma disuelta, dentro del círculo o punto vacío, inclusive mínimas porciones de gas que ya no pueden ser condensables.

La proporción de las purgas continuas ha sido disminuida por necesidad, el cual ha generado vapor en gran escala, en plantas térmicos en donde la presión es elevada, es por esto, que se ha visto pérdidas de forma notable de H_2O y poder, que, en suposición, debió tener una correcta alta porcentaje de purgas, para poder sostener los sólidos a niveles bajos de valores límites en la caldera.

Caldera el cual opere de forma continua, para mantener su equilibrio debe cumplir lo siguiente:

$$Q_1 \times C_1 = q(\text{caudal}) \times C_2 = \text{concentración de sales en la caja negra}$$

Existe un efecto de multiplicación dentro de la caja negra debido a sus concentrados de sal en el H_2O , el cual es aportado y debido a la correlación del fluido en las purgas y en sus aportes. Si el vapor generado es perdido en su totalidad y se replantea una solución a la incógnita al depurar los vapores por tonelada, los cuales deberías ser producido cada 60 minutos, tenemos que tener presente:

$Q_1 + q$ Y con su concentrado quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{(T + q)}{q}$$

La limitación de las purgas permitido en porcentaje dado en la práctica, se ve interrumpido por aspectos de economía, de invertir y explotar.

Es importante la purificación en los condensados, ya que en la caja china (caldera) de paso único, no se extrae la impureza de éstas, los cuales están encontrados en las plataformas en donde se evapora, es primordial la purificación.

Los conflictos a solucionar dentro de la purificación de sus condensados dentro de los tratamientos son:

- Sustracción de los corrosivos en manufactura del ciclo entre las turbinas y condensadores.
- Sustracción de los minerales producido por el ingreso de H_2O es forma tosca y los escapes en los condensados.

La reparación de estos problemas:

- Fibra o grano, son filtrados por medio de producción finos. Utilizados por capa de milímetro de anchura variado, por medio de capas de filtro, los cuales son utilizados en fibra de celulosa y demás efluentes.

- Desmineralizar el agua por medio de lechos mixtos, logrando con este artilugio poner fijos los cationes (hierro), sílice, níquel, etc.

- Eliminando en agua condensada con sal que aportan en la entra de forma brusca.

En este proceso cuando es acondicionado con producto volátil como por ejemplo el

amoníaco, el NH_4^+ está móvil, de modo que al ver las impurezas al ser liberados causa que el pH aumente, entonces para poder controlar esto, es necesario de tener un fuerte catiónico de lecho, el cual es alineado y lo retiene.

- La combinación de filtros y el desmineralizado, esto es utilizado encima de las subcapas de la resina que están combinadas con polvos muy finos, los cuales van de diez a cincuenta micras, respectivamente. Dicha conclusión ejecuta la exigencia de eliminar lo que está en suspensión (materias), y lo iónico en sal, por las pérdidas de H_2O brusca. Al principio, lo invertido es mínimo, pero en donde se gasta más es en el aprovechamiento más fornido por los polvos producto de la resina.

- Filtro magnético y su filtrado. Trabaja a caudales altos y su aseo es más sencillo. Cualquiera del óxido de metal es sustraído ya que están en el H_2O en forma de condensado, los que contienen magnetismo en sus posesiones, ayudan a permitir a laboral a temperaturas elevadas.

En la actualidad, sabiendo la realidad problemática de forma real y lo que resulta, nos indican que la combinación de sus sistemas con más fiables, aunque su costo es elevado, su eficacia en su tratamiento es alto en comparación de los demás casuísticos.

Parámetros de control y diagnóstico

Los pasos que se necesitan para seguir dentro del sistema químicamente controlado, son diferenciados entre control y diagnóstico (parámetros) y lo que es más habitual la parte de controlar y muestra, H_2O alimentada, caja negra (caldera), vapor y el condensado, estos son controlados de la siguiente forma: (González, 2016)

Coeficiente de acidez o basicidad de una solución acuosa (pH):

La condición del pH es dependida por sus elementos dentro de sus sistemas, en donde se visualiza su aleación de cobre, sus valores que se adecuan a estas, fluctúan de 8,8 & 9,2 si sus sistemas están hechos de hierro metalúrgico.

Conducción catiónica:

Se utiliza como indicadores para los aniones diluidos en su totalidad. Corresponde a la totalidad de obtención de aniones en su forma de concentración, obtenido por distintas formas de análisis, para ello, es necesario hacer etapas de comparación seguido del conductor catiónico y la presencia de anión.

Diluido de oxígeno:

Es minimizado dado por los elementos que se corroen en el momento de transportarlo, el cual causa que se creen formaciones, por otro lado, el oxígeno es controlado, igual que el pH. Agregando excesivamente hidracina, conseguiremos la sustracción del nivel bajo de O.

Cloruro:

Son de forma agresiva hacia los elementos ferrosos, provocando que se piquen y que den cabida que se formen grietas debido a la tensión mínima que existe por la forma de corroer

Sulfato:

Incentivan que los granos se peleen entre ellos y dando ventaja que se produzcan piquetes y una creciente capa de magnetitas no protegidos.

(TOC) Carbonos orgánicos totales:

Sus principios son variables dentro de sus iones. Las moléculas están en cada momento, de tamaños grandes que, al estar a temperaturas y presión de operaciones se quiebran y a su vez, se crean orgánicos de ácido de cadena pequeña, como por ejemplo los de fórmicos y acéticos.

Combinación de silicio con oxígeno:

La volatilidad es un problema que está presente en todo momento, y en la turbina causa que se depositen en sus paredes.

Fe y Cu:

Se depositan en las superficies de las tuberías, los cuales dichos elementos son depositados y a la vez se corroen, esto provoca que se reduzca considerablemente el traspaso de calor, provocando que se deteriore, es por eso que es necesario tratar de mantener al mínimo el movimiento de los elementos corrosivos en el H₂O que alimenta y ayuda a remover en los depósitos en donde se forman malformaciones de gran potencial.

Hidracinas:

Su reacción se da con el O, que en su variedad forma amoniacos que ayudan a controlar su pH. En el H₂O de alimentación, es asumido que sus reacciones son producidas en la parte superficial de las capas de óxidos formados. Su aceleración es aumentada respecto a su pH, por otro lado, la hidracina en excesos y sus temperaturas dependen mucho de la naturalidad de ellas en la superficie del óxido.

Balance de materias y energías en un intercambiador de calor:

a) Materias o masas (balances): La ley más esencial en una de la ley, es conservar las masas, el cual dice que la masa no es posible que se crea ni que se destruya, tan solo sufre una transformación, por lo cual, la totalidad de las masas de los fluidos que ingresan en desarrollo, tiene que ser idéntico a la totalidad de sus masas de los fluidos que evacuan de las mismas (Tello, 2016)

El balance de materia se expresa (Cengel, 2007):

$$\sum \dot{m}_{\text{entrada}} = \sum \dot{m}_{\text{salida}} \quad \text{Ec. (01)}$$

b) Energía y sus balances: En principal, físicamente es una parte importante como la parte de conservar las masas, ya que este se aplica para encontrar la suma de la energía, la cual cambia y se acumula dentro de los sistemas (dorán, 1998)

El balance de energía se expresa (Cengel, 2007):

$$\sum \dot{m}_{\text{entrada}} * h_{\text{entrada}} = \sum \dot{m}_{\text{salida}} * h_{\text{salida}} \quad \text{Ec. (02)}$$

Rendimiento energético de la caldera:

La energía que rinde de este desarrollo de intercambiar será la correlación entre la energía captada en el H₂O (Qutil) en relación con la utilización de los combustibles. (Cantabria, 2016)

Su rendimiento energético se expresa (Kenneth y Donald, 2001):

$$\eta_{\text{cald}} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{\text{agua}})}{\dot{Q}_{\text{total}}} * 100\% \quad \text{Ec. (03)}$$

Calor útil en caldera de vapor saturado

Porción necesitada en calor para producir un determinado flujo de vapor, en condición de temperatura y presión, a partir del agua de alimentación, que ingresa con una entalpía dada.

$$Q_{u-\text{caldera}}[kW] = m_v \left(\frac{kg}{s} \right) * (h_{\text{vapor}} - h_{\text{agua}}) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (3.1)$$

En la cual:

m_v : vapor y su flujo másico, kg/s

h_v : vapor saturado generado y su entalpía, kJ/kg

h_{agua} : H₂O a caja negra (entalpía), kJ/kg

Flujo másico de purgas

El retiro de las purgas en el H₂O en la caja china evita la acumulación del agua y controla la concentración de sales en la caldera. El residuo está compuesto de material no quemado. La purga se considera agua líquida saturada a la presión de trabajo de la caldera (Armijo, 2006).

El flujo másico de purgas se expresa (Fernández, 1996):

$$\dot{m}_{\text{purgas}} = \left(\frac{STD_{\text{agua}}}{SDT_{\text{cald}} - STD_{\text{agua}}} \right) * \dot{m}_v \quad \text{Ec. (04)}$$

Vapor flash:

El revaporizado, como su nombre lo indica, es vapor con formas similares al vapor (vivo) el cual es formado cuando la parte condensada cambia de una presión alta a una baja. Una de sus partes de este condensado será convertido en vapor con la temperatura correspondiente a la menor presión (Guevara, 2015).

a) Porcentaje de recuperación de vapor flash:

Se expresa (TLV, 2016):

$$\%F = \frac{(h_f)_1 - (h_f)_2}{(h_{fg})_2} * 100 \quad \text{Ec. (05)}$$

b) Flujo másico de vapor flash:

Se expresa (TLV, 2016):

$$\dot{m}_{v.F} = \dot{m}_{\text{purgas}} * \frac{\%F}{100} \quad \text{Ec. (06)}$$

Poderes caloríficos de combustión:

Mil gramos entregan una suma de energía, la oxidación se da completamente por el combustible (Fernández, 2010).

a) **Poderes Caloríficos superiores (PCS):** Supongamos que el aire y el combustible lo tomamos a 0 grados centígrados y los gases a combustionar también lo llevamos a 0 grados centígrados, pasado el proceso de la combustión, produciendo que el condensado que en su totalidad. (Fernández, 2010).

El PCS del combustible líquido se determina según la ecuación de Petroperú (Petroperú, 2014):

$$PCS = 18320 + 40 * (^{\circ}API - 10) \quad \text{Ec. (07)}$$

b) **Poderes caloríficos inferiores (PCI):** No es condensado en los gases a combustionar, ya que consideramos que contiene vapor de H₂O

El PCI de un combustible líquido se determina según dicha ecuación de Petroperú (Petroperú, 2014):

$$PCI = PCS - h_{fg} \quad \text{Ec. (08)}$$

La entalpia de evaporización del agua, a condiciones ambientales específicas, le corresponde el valor de $1030 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$

Balance En Caldera (Ecuación)

El aprovechamiento en la combustión es utilizado debido a su reflejo de la energía y sus cantidades, es agarrado por la alimentación de H₂O el cual se convierte en vapor, sobre-calentado.

$$\dot{m}_{\text{Cble}} * \text{P.C.I.} * \eta_{\text{Caldera}} = \dot{m}_v * (h_v - h_a)$$

\dot{m}_{Cble} = Flujo másico del combustible, kg/h

P.C.I. = Poder calorífico Inferior del combustible, en kJ/kg

η_{Caldera} = Rendimiento de la Caldera, engloba todas las pérdidas de calor

\dot{m}_v = Flujo másico del agua de alimentación, en estado estable es igual al flujo másico de vapor producido, kg/h

h_v = Entalpía del vapor producido, en kJ/kg

h_a = Entalpía del agua de alimentación a la caldera, en kJ/kg

Componentes De Un Sistema De Osmosis Inversa Industrial

La siguiente figura muestra los componentes que conforman el sistema de ósmosis inversa, los cuales están enumerados para poder identificarlo con detalle, en el n° 1 tenemos el depósito para almacenar el agua sin desmineralizar, el agua que ingresa a caldera, en el n°2 tenemos la bomba que alimenta el ingreso del agua, dándole más presión, en n° 3 es el sistema de dosificación de precloración, en n° 4 tenemos el filtro multimedia automático, en el n° 5 tenemos el sistema de dosificación de decloración, en el n°6 tenemos el sistema de dosificación antiscalete PA0100, en el n°7 podemos observar para el sistema de ósmosis inversa industrial, después en el n°8 tenemos el sistema de dosificación post pH, seguido de ello, en el n°9 se encuentra el sistema de dosificación consecutivo a la cloración y por último tenemos el depósito de almacenamiento para el agua producida.

Las máquinas de OI industrial tienen pre filtros multimedia, un ablandador de, la ósmosis inversa con membranas semipermeables y un esterilizador UV después del tratamiento.

Las presentes máquinas usan tecnología de la OI de manera que al transportar el agua a alimentar por medio de pre filtros multimedia para retirar partículas enormes. Después el agua se transporta a un suavizante de agua para quitar sus durezas que puedan causar severos problemas y daños a las membranas de las máquinas.

Estos pretratamientos son capaces de sustraer la dureza, los olores, el hierro, el azufre y el cloro.

EL agua va a la máquina de OI donde una bomba de alta presión aplica una presión extrema a la solución altamente concentrada, separando las sales, minerales e impurezas restantes que los pre-filtros no podían atrapar.

El agua potable fresca sale del extremo de baja presión de la membrana, mientras que las sales, minerales y otras impurezas se descargan en un desagüe en el otro extremo.

Paso final, el agua pasa por un esterilizador UV para quitar y borrar bacterias y microbio que estén aún en el agua.

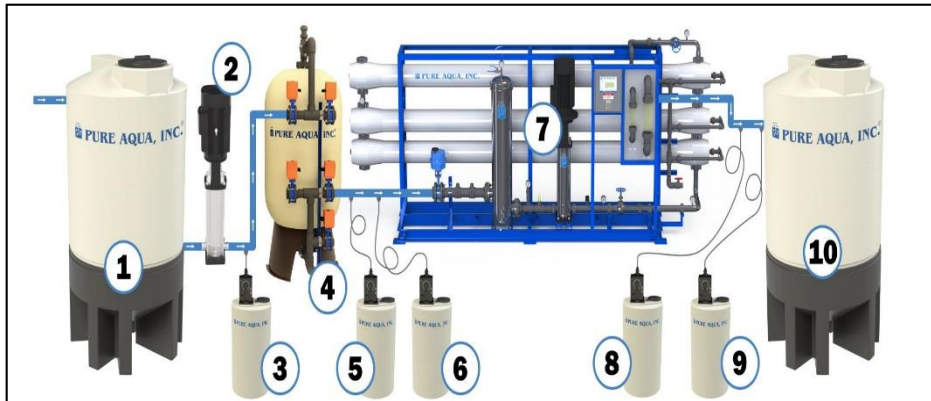


Figura 4 Ósmosis inversa de uso industrial y sus componentes

Valor Actual neto (VAN) Y Tasa Interna de Retorno (TIR) (finanzas, 2017)

Existen dos puntos más utilizados en el momento de evaluar si nuestro proyecto es fiable, dichos conceptos tienen un mismo objetivo, el darnos a conocer que tan rentable puede ser nuestro proyecto y si, no llega a cumplir como inversión del proyecto, puede ser para poder poner en ejecución otro.

- a. **Van:** Dicha herramienta conocida como el valor actual neto, el cual nos permite saber la diferencia entre el dinero que ingresa a la empresa y el monto a invertir, y saber si nos generaría un costo-beneficio del proyecto
- b. **Tir:** Es la tasa de descuento que está presente en el proyecto, para poder hallar esto, debemos saber cuánto es la cantidad a invertir y lo que proyectamos, entonces, cuando nos dice que la tasa es elevada, nos quiere decir que nuestro proyecto no es rentable, y si nos da a menor resultado, sería rentable, mientras más bajo sea, más rentable será el proyecto

1.4 Formulación del Problema

¿En qué medida la desmineralización del agua a caldera de 200 BHP en base a Auditoría del Tratamiento del agua en planta JJK SAC permitirá reducir los costos de generación de vapor saturado?

1.5 Justificación del presente estudio

Justificación tecnológica.

Se contará con tecnologías modernas, para desmineralizar el agua a caldera; que permitirá mejorar la calidad del vapor.

Justificación social.

Al entrar en servicio el sistema de desmineralización del agua a caldera se tendrá menos gases de combustión extraídos a la atmósfera, muy importante para nuestro planeta y a la vez, reduciendo los costos de generación de vapor; por otro lado los mantenimientos en planta y de calderas serán mínimos, pues habrá menos problemas técnicos productivos

Justificación económica.

Al aplicar la tecnología de desmineralización del agua a caldera, se purgará menos agua en estado de líquido saturado, que representa el 3 a 4 % del flujo de vapor producido, por lo tanto, se espera un menor consumo de combustible, y por ende, menor costo de producción del vapor generado

Justificación ambiental.

Al implementar un sistema de desmineralización del agua a caldera, se tendrá menos purgas de la caldera, que son efluentes líquidos con sólidos disueltos, contaminando menos el medio ambiente del agua freática.

1.6 Hipótesis

La desmineralización del agua a caldera de 200 BHP en base a auditoría del sistema de tratamiento de agua permitirá reducir los costos de generación de vapor saturado en Planta JJK SAC

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar, en base a auditoría, las medidas técnicas a aplicar para mejorar la calidad del agua de alimentación a caldera de JJK SAC, para reducir el costo de generación de vapor.

1.7.2 Objetivos específicos

- Realizar el balance de masa y energía en caldera JJK.
- Realizar el balance de sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera, en ppm.
- Dimensionar y seleccionar el desmineralizador del agua a caldera.
- Determinar nuevos parámetros de operación de la caldera.
- Realizar un estudio económico: presupuesto, beneficios, costos de operación.
- Realizar análisis medioambiental por reducción de emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

El diseño para esta investigación es pre - experimental

Dónde:

G	O1	X	O2
---	----	---	----

G: Área de Generación de Vapor en la empresa JJK SAC

O1: COSTO DE GENERACIÓN DE VAPOR

X: PROPUESTA DE OSMOSIS INVERSA

O2: AUMENTO DE CALIDAD DE VAPOR

2.2 Operacionalización de Variables

Variables independientes:

Desmineralización del agua a caldera

Variables dependientes:

- Aumento de calidad del agua a caldera, ppm
- Aumento del rendimiento de la caldera, %
- Reducción costo de generación de vapor, soles/TM

Variables intervinientes:

Variación del agua dura, ppm

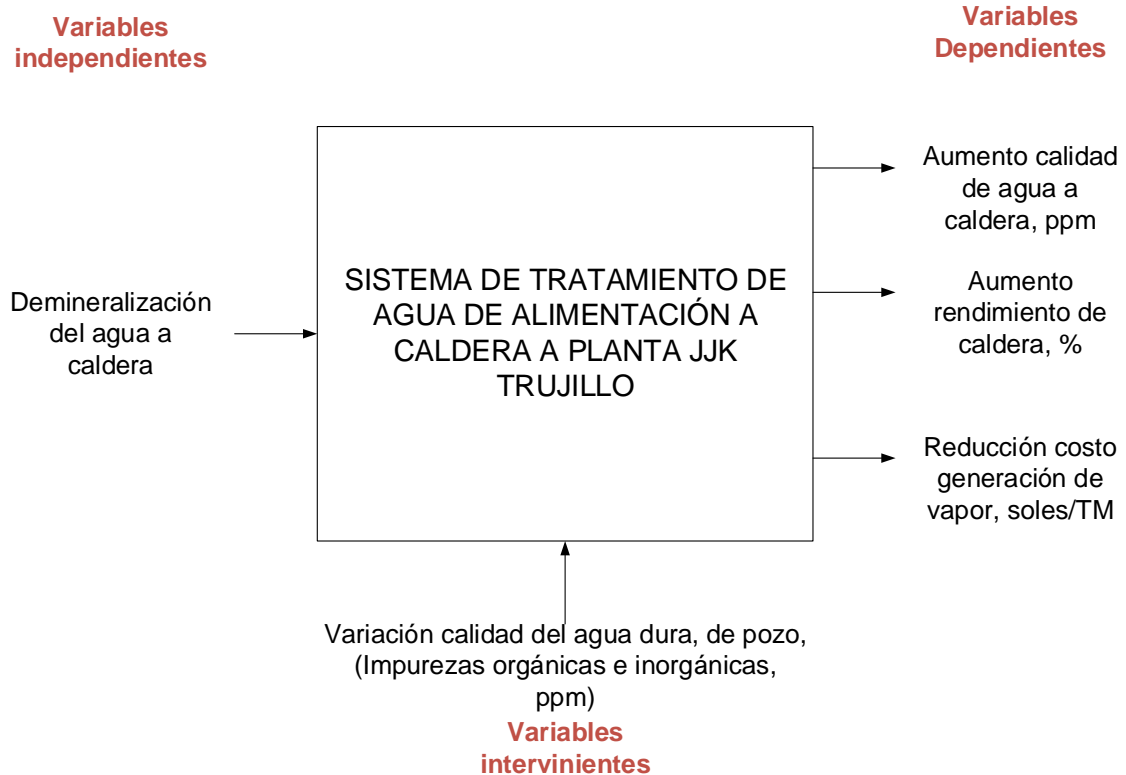


Figura. 5 Variables del estudio de investigación. Elaboración propia

Tabla 4. Variable, definiciones conceptuales y operacionales, indicadores y escalas de medición

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: desmineralización del agua a caldera	Proceso de retiro de minerales o sólidos disuelto con uno del proceso: <ul style="list-style-type: none"> • Intercambio iónico por deionización. • Osmosis inversa por filtración • Destilaciones 	Retiro de sales minerales en el agua por procesos químicos, hidráulicos a presión, con membranas	CAUDAL POTENCIA DE BOMBA $P_{BC} = \frac{m \cdot g \cdot Hn}{\eta \cdot 1000} (kw)$	RAZÓN
Variable independiente: Calidad del agua a caldera	Conjunto de valores de parámetros del agua, en el rango de normas internacionales	Producto de aplicar los métodos de filtrar, ablandar, desmineralizar y desoxigenar el agua a caldera	STD en agua Ppm Ppm O2	RAZÓN
Variable dependiente: Rendimiento de caldera	Relación entre el calor aprovechable para generar vapor a partir de agua entre el calor total que ingresa a caldera	Resultado de deducir las pérdidas porcentuales en caldera del calor total, en %	FORMULA $\eta_{Cald} = \frac{m_v \cdot (h_v \cdot h_a)}{m_{cble} \cdot (PCI + R_{a-cble} \cdot h_{aire})}$	RAZÓN
Variable Dependiente: Costo generación vapor	Valor monetario que indica el desembolso económico en insumos, mano de obras para generar vapor	Relación entre el monto total para producir vapor, en una lapso entre el vapor generado, en el mismo intervalo de tiempo	COSTO COMBUSTIBLE UTILIZADO POR MES COSTOS DE MANO DE OBRA	RAZÓN
Variable interviniente: Variación de calidad agua dura, de pozo	Es la variación de la dureza del agua, en ppm que se extrae de pozo, antes del ablandamiento	Variación, sobre todo aumento, de la dureza en contenidos de minerales en el agua de pozo, que sobrepasa la capacidad del proceso de tratamiento de agua	SDT	RAZÓN

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población: Sistemas de tratamiento de agua de alimentación a calderas de plantas de harina de plumas de La Libertad

2.3.2 Muestra: Sistema de tratamiento de agua de alimentación a caldera de Planta de harina de plumas JJK, Trujillo; La Libertad

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 5. Técnicas, instrumentos, objetos y objetivos.

Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos
Análisis Documental	Registro de Datos	SDT en agua de caldera	Registrar los SDT que ingresan y los ppm
Encuesta	Cuestionario	Preguntas	Realizar una encuesta basada en preguntas
Ficha de Observación	Observar	Sistema de tratamiento de agua	Describir los equipos de tratamiento de agua antes de la propuesta

2.5 Procedimiento

A continuación, se presenta la figura de procedimientos, en donde se aplica análisis ingenieril, con la finalidad de desarrollar los objetivos específicos y resolver el problema de investigación.

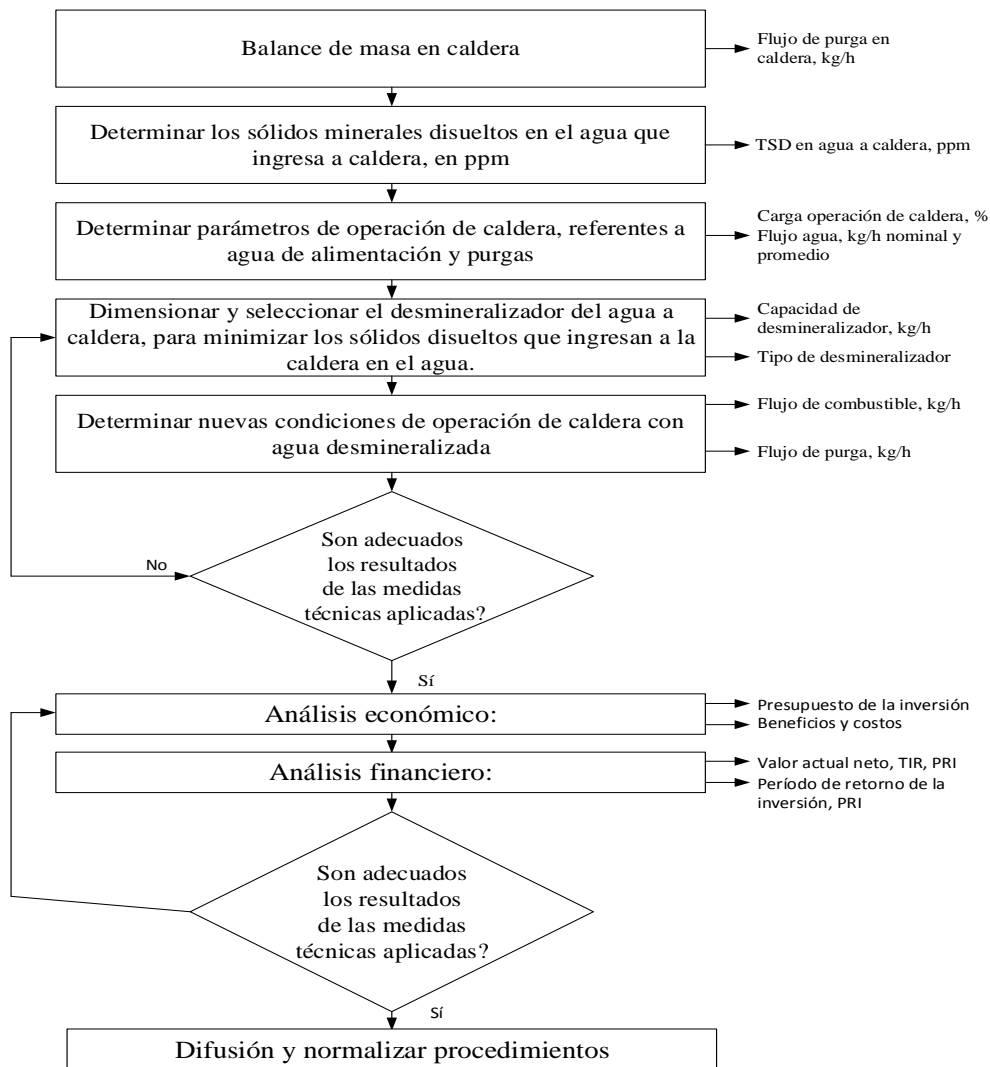


Figura 6. Flujograma del diseño de ejecución del estudio de investigación. Elaboración propia

2.6 Métodos de análisis de datos

Se harán análisis descriptivos y analíticos del sistema de tratamiento de agua a caldera en la empresa JJK, estableciendo el modelo matemático y las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de variables y parámetros de la muestra de estudio, determinando indicadores de estadística descriptiva.

La hipótesis de estudio será verificada con estadística inferencial. Se harán análisis cuantitativos, por la información que se recolectará, que son datos cuantitativos, el análisis se realizará en una matriz de datos, en una tabla, un gráfico o un cuadro informativo como los que genera Excel.

Principales tipos de análisis cuantitativos a ser utilizados:

Estadística descriptiva; Distribución de frecuencias, medidas de tendencia central, asimetría etc.

Puntuaciones; El grado en que un valor individual se aleja de la media en una escala de unidades de desviación estándar.

Razones y tasas. Es la relación entre dos o más categorías porcentuales.

En la ingeniería básica se utilizará:

Teoría de tratamiento de agua. Determinar el efecto de la falta de desmineralización del agua en caldera, en su eficiencia.

Teoría de Calderas: Hallar variación del rendimiento y consumo de combustible

Teoría económica financiera: Para determinar los beneficios, presupuestos y rentabilidad de la inversión a realizar

Teoría del vapor: Hallar la entalpía actual y proyectada con desmineralización.

Teoría de hidráulica: Permitirá dimensionar y seleccionar los equipos y accesorios de bombeo, determinando la caída de presión en línea.

2.7 Aspectos éticos

El total de datos, su procesamiento, elaboración e interpretación completa del proyecto de tesis se realizarán por el autor del presente estudio.

III. RESULTADOS

Leyenda:

1→2: Calentamiento del agua de alimentación hasta la saturación

2→3: Vaporización del agua hasta vapor saturado húmedo

3→4: Reducción de presión vapor desde 8 bar hasta 2.5 bar absolutos (y 133.50°C)

T1: Temperatura de entrada del agua a caldera: 45°C

T2 = Ts = Temperatura de saturación del vapor: 174 °C

h3: Entalpía vapor salida de caldera = 2751.43 kJ/kg = h8.5 bar., x = 98 %

h4: Entalpía vapor salida válvula reductora de presión = 2751.43 kJ/kg = h2.5 bar, 155 °C

3.1.2. Parámetros del vapor producido:

Para ello, debemos de saber y tener en cuenta el vapor producido en la empresa JJK y su capacidad real de producción de Vapor saturado (máxima) = 2812 kg/h (datos de Planta, de su balance de energía y masa, interno), por otro lado, también es necesario saber a qué presión trabaja y la entalpía.

- Presión: 7,71 bar
- Entalpía: 2751.42 kJ/kg

La purga real de la caldera es de $[165/(3500-165)]*2812 = 133.136 \text{ kg/h}$

3.1.3. Parámetros del agua de alimentación:

- Temperatura = 45 °C
- Entalpía agua de alimentación a la caldera (a 45°C): 188.415 kJ/kg

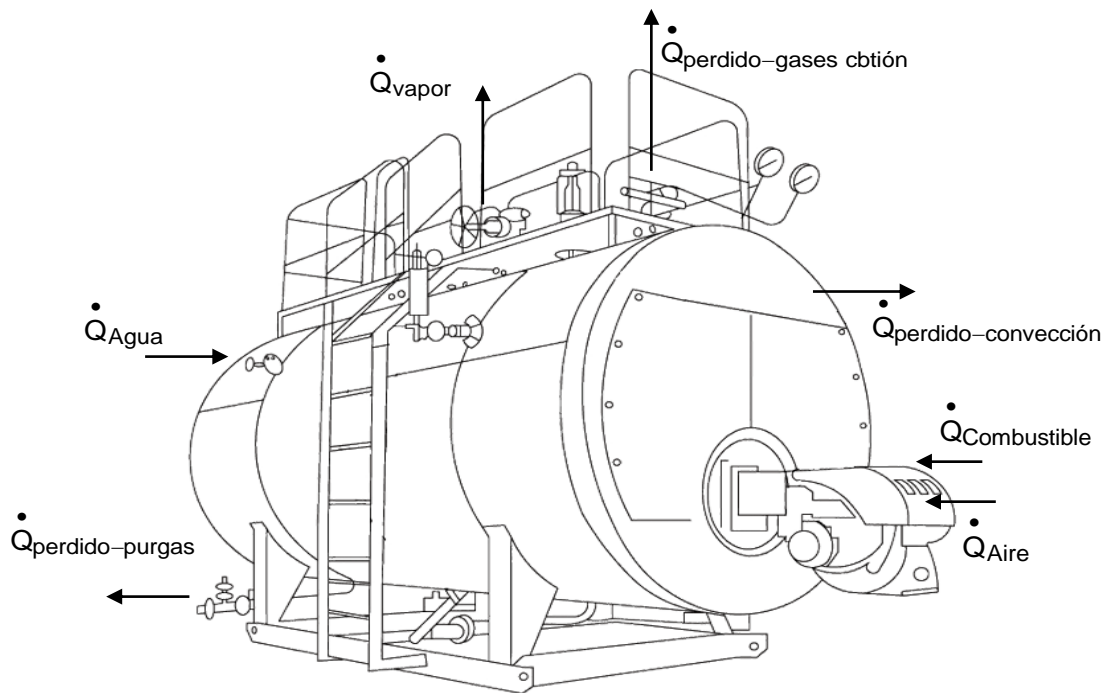


Figura 7. Potencias térmicas que entran y salen de caldera. Elaboración propia

3.1.4. Análisis de la combustión del petróleo residual nr. 6 en caldera:

3.1.4.1. Oxígeno mínimo necesario para la combustión:

$$O_2 = \frac{8}{3} * g_C + 8 * g_H + g_S - g_O = \frac{8}{3} * 0.85 + 8 * 0.085 + 0.022 - 0.004$$

$$= 2.9646 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg } R_6}$$

3.1.4.2. Relación de Aire teórico para la combustión:

$$A_{\text{teórico}} = \frac{O_{2-\text{mín}}}{0.23} = \frac{2.9646}{0.23} = 12.89 \frac{\text{kg - aire}}{\text{kg - R6}}$$

3.1.4.3. Relación de Aire real para la combustión:

El coeficiente de exceso de aire para la combustión de los petróleos residuales es $\lambda=1.75$, que corresponde a una temperatura de 1000 °C en el hogar de la caldera

$$A_{\text{real}} = 22.56 \frac{\text{kg - aire}}{\text{kg - R6}}$$

3.1.4.4. Relación de Gases obtenidos en la combustión:

$$m_{\text{GC}} = \frac{11}{3} * g_{\text{C}} + 9 * g_{\text{H}} + 2 * g_{\text{S}} + g_{\text{N}} + g_{\text{W}} + (\lambda - 0.23) * A_{\text{teórico}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{GC}} &= \frac{11}{3} * 0.85 + 9 * 0.085 + 2 * 0.022 + 0.024 + (1.75 - 0.23) * 12.89 \\ &= 23.56 \frac{\text{kg GC}}{\text{kg R6}} \end{aligned}$$

3.1.5. Flujos máxicos en caldera:

3.1.5.1. Consumo promedio de petróleo en Planta:

Cuando trabajan la Planta a plena carga:

De datos de consumo: 47.15 galones/h = 171.15 kg/h

Densidad del petróleo residual nr.6: 3.63 kg/galón

Del aire para la combustión:

$$m_{\text{aire}} = 3861.144 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De los gases de combustión:

$$m_{\text{GC}} = 4032.30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Flujo de gas carbónico evacuado a la atmósfera

De datos de Planta el gas carbónico tiene 12% en peso en gases de combustión:

$$\rightarrow \dot{m}_{\text{CO}_2} = 483.88 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{h}}$$

3.1.5.2. Poder Calorífico Inferior del combustible utilizado en caldera:

Combustible quemado en caldera de JJK SAC: petróleo residual nr. 6

Participaciones másicas promedio en el combustible:

- Del carbono: g_c : 85 %
- Del hidrógeno: g_h = 8.5 %
- Del azufre: g_s : 2.2 %
- Del oxígeno: g_o : 0.4 %
- De cenizas (borra): g_z : 1.5 %
- Del agua: g_w : 2.4%

Poder calorífico inferior del petróleo residual nr.6, se aplica la ecuación de Dulong:

$$PCI \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 33900 * g_c + 9250 * g_s + 120120 * \left(g_h - \frac{g_o}{8} \right) - l_v * g_w$$

En la cual:

g_c : participación másica del carbono en el combustible, %

g_s : participación másica del azufre en el combustible, %

g_h : participación másica del hidrógeno en el combustible, %

g_o : participación másica del oxígeno en el combustible, %

l_v : calor latente del agua, a presión atmosférica, kJ/kg

g_w : participación másica del agua en el combustible, %

Reemplazando y procesando, se halla el PCI del petróleo residual que se quema en caldera:

$$\begin{aligned} PCI \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) &= 33900 * 0.85 + 9250 * 0.022 + 120120 * \left(0.085 - \frac{0.04}{8} \right) - 2510 \\ &\quad * 0.024 \quad = 38,567.86 \end{aligned}$$

3.1.5.3. Temperatura de combustión en el hogar de la caldera:

$$t_{GC} = \frac{\dot{m}_{cble} * (PCI + c_{pcble} * t_{cble}) + \dot{m}_{aire} * h_{paire}}{\dot{m}_{GC} * c_{GC}}$$

$$\rightarrow t_{GC} = \frac{171.15 \frac{kg}{h} * (38,567.86 + 2.35 * 105) \frac{kJ}{kg} + 3861.144 \frac{kg}{h} * 30.42 \frac{kJ}{kg}}{4032.30 * 1.34 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}} = 1251^\circ C$$

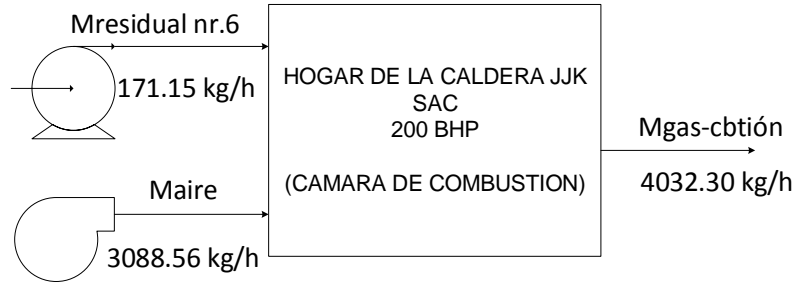


Figura 8. Flujos máxicos en el hogar de la caldera. Elaboración propia

3.1.5.4. Flujos térmicos que entran a la caldera:

$$\dot{Q}_{cble}(kw) = \dot{m}_{cble} \left(\frac{kg}{s} \right) * (P. C. I. + c_p * t_{cble}) \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Qcble: Potencia térmica en el combustible, kw

mcble: flujo máxico del combustible, kg/s

PCI: Poder calorífico inferior del combustible, kJ/kg

Cp: Calor específico a presión constante del combustible, kJ/(kg*°C)

Tcble: Temperatura del combustible, ingreso al quemado, °C

$$\rightarrow \dot{Q}_{cble} = \frac{171.15kg}{\frac{3600s}{h}} * (38567.86 + 2.40 * 105) \frac{kJ}{kg} = 1845.56kw$$

Flujo térmico en el aire:

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{m}_{\text{aire}} * c_p * t_{\text{aire}} = \frac{3861.144 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} * 1.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 25^\circ\text{C} = 31.37 \text{kw}$$

Flujo térmico en el agua de alimentación a la caldera:

$$\dot{Q}_{\text{agua}} = 154.14 \text{ kw}$$

Entonces el calor total que ingresa a la caldera:

$$\dot{Q}_T = Q_{\text{cble}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{agua}} = 2031.07 \text{ kw}$$

CALORES QUE INGRESAN A CALDERA JJK SAC 200 BHP

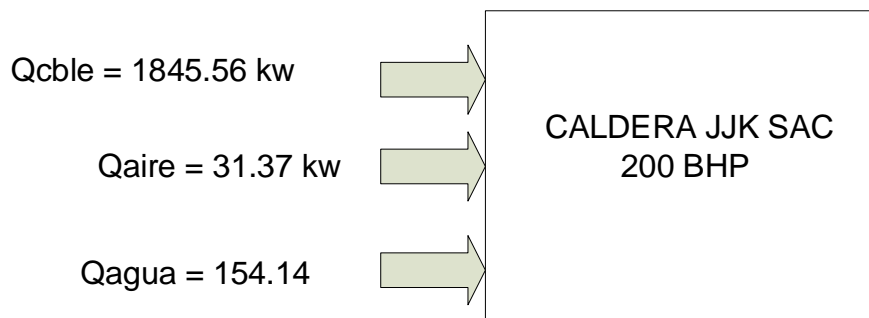


Figura 9. Flujos térmicos que ingresan a caldera

3.1.6. Cálculo de rendimiento de caldera

El cálculo se hace en base al método indirecto, para lo cual se determinan los flujos térmicos que salen de la caldera

3.1.6.1. En el vapor, a 7.5 bar manométricos, saturado:

$$\dot{Q}_{\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}} * h_v = \frac{2281.76 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} * 2751.43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1743.915 \text{ kw}$$

3.1.6.2. Flujo térmico perdido por convección, Qp-conv.

El calor perdido se produce por la superficie externa de la caldera

$$S_{\text{externa-caldera}} = 59.70\text{m}^2$$

Dext: diámetro exterior de la caldera: 2.75 m

Temperatura de la pared de la caldera: $t_{\text{pared}} = 40^{\circ}\text{C}$

Temperatura del cuarto de calderas: $27^{\circ}\text{C} = t_{a1}$

Temperatura del aire ambiental = 25°C

Coefficiente de convección pared caldera – aire cuarto caldera (La caldera no está expuesta al medio ambiente):

$$\begin{aligned} h_{p\text{-aire cuarto cald}} &= 6.96 + 4.30 * (t_{a1} - t_a) = 6.96 + 4.30 * (27 - 25)^{\circ}\text{C} \\ &= 15.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^{\circ}\text{C}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{p\text{-conv}} &= \frac{h_{p\text{-a1}} * S_{\text{caldera}} * (t_{\text{pared}} - t_{a1})}{1000} = \frac{15.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^{\circ}\text{C}} * 59.70\text{m}^2 * (40 - 27)^{\circ}\text{C}}{1000} \\ &= 12 \text{ kw} \end{aligned}$$

3.1.6.3. Flujo térmico perdido en gases residuales (de chimenea)

Temperatura promedio de los gases de chimenea: 230°C

Calor específico de los gases de chimenea. De tablas: $1.11 \text{ kJ}/(\text{kg} * ^{\circ}\text{C})$

$$\dot{Q}_{\text{perdido-gases}} = 254.87 \text{ kw}$$

3.1.6.4. Calor perdido en purgas:

Del balance térmico:

$$\dot{Q}_{\text{purga}} = 20.285 \text{ kw}$$

Total, flujos térmicos que salen de caldera, como pérdidas

$$: 12 + 254.87 + 20.285 = \mathbf{287.155 \text{ kw}}$$

Calor útil en caldera: $Q_{\text{vapor}} - Q_{\text{agua}} = 1743.915 - 154.14 = \mathbf{1589.775 \text{ kw}}$

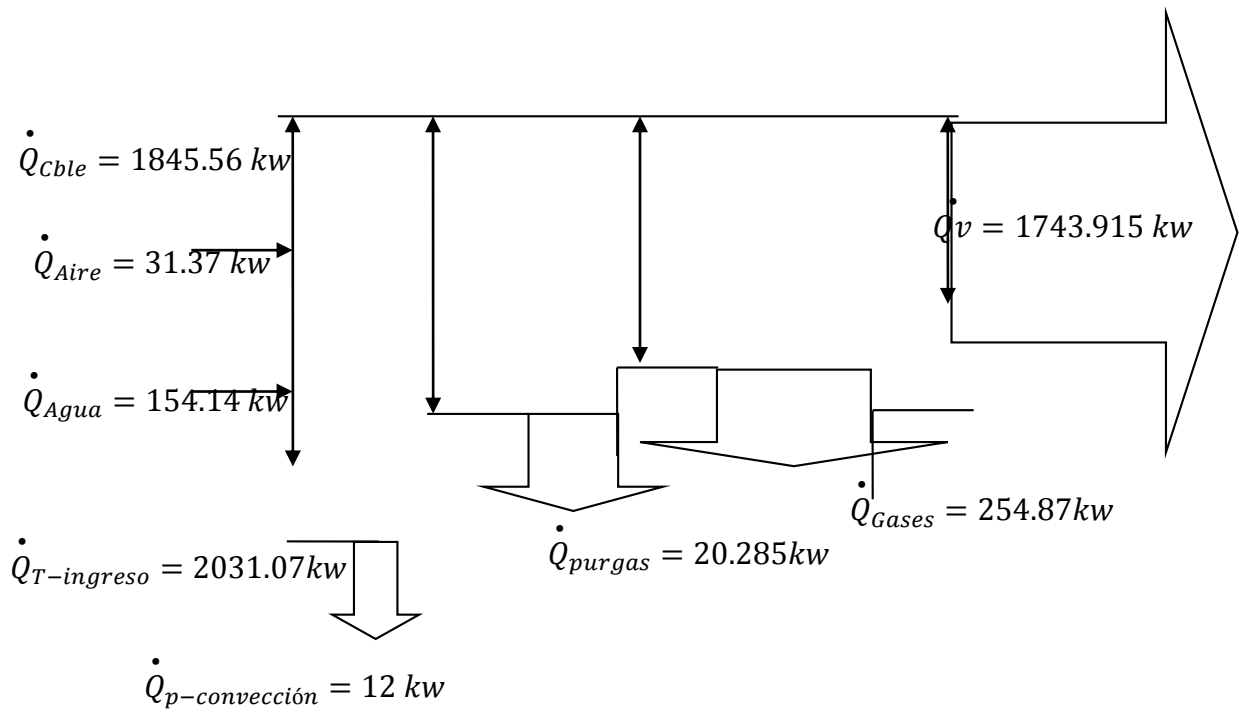


Figura 10. Diagrama de Sankey con flujos térmicos en caldera. Elaboración propia

Reemplazando, se obtiene el rendimiento energético actual caldera 200 BHP de JJK SAC:

$$\eta_{\text{teórico-Caldera}} = 78.27 \%$$

El rendimiento térmico actual de la caldera está bajo, la pérdida principal es en los gases de combustión y en purgas

3.2 Balance de sólidos disueltos en agua de caldera

Para ello, debemos saber los sólidos disueltos que se encuentran en la caldera, con la finalidad de saber cuánto es que oscilan los STD en caldero y verificamos que no cumple la norma de mantenerlo en 3500 ppm.

3.2.1. Determinar el flujo de purga actual de la caldera JJK, en kg/h

Datos de la caldera:

Capacidad nominal: 200 BHP

Flujo máximo de vapor:

$$m_{n\text{-vapor}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \text{BHP} * m_{\text{unit-BHP}} \left(\frac{\text{kg/h}}{\text{BHP}} \right)$$
$$\rightarrow m_{n\text{-vapor}} = 3132 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

Presión nominal del vapor: 10 bar (manométricos)

Condiciones del agua

Sólidos totales disueltos, TDS: 165 ppm (partes por millón)

Sólidos totales disueltos admisibles, TDSadm: 3500 ppm (es caldera de baja presión)

Flujo de purga, como líquido saturado:

$$m_{\text{purga-nom}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{TDS}}{\text{TDS}_{\text{adm}} - \text{TDS}} * m_{n\text{-vapor}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$m_{\text{purga-nom}} = \frac{165}{3500 - 165} * 3132 = 154.95 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Esta es la cantidad nominal de purga de la caldera, la cual no se recupera



Figura 11. Balance de flujos másicos en caldera 200 BHP JJK – SAC

3.2.2. Determinar los sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera

Flujo volumétrico de agua a caldera:

Densidad del agua a caldera, a 45 °C = 990.173 kg/m³

Sólidos disueltos en agua a caldera: 165 ppm = 165 mg/lit = 165 g/m³

$$V_{n\text{-agua a caldera}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{m_{n\text{-agua}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)}{\rho_{\text{agua}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = \frac{3132 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3.15$$

Sólidos disueltos que ingresan a caldera en agua de alimentación:

$$SD_{\text{agua a cald}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{h}} \right) = V_{n\text{-agua a caldera}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * SD_{\text{unit-agua a cald}}$$

$$SD_{\text{agua a cald}} = 519.75 = 8300 \frac{\text{g}}{\text{d}}$$

Flujo volumétrico máximo de purga:

Densidad del líquido saturado, a 179.8°C: 887.2 kg/m³

$$V_{n\text{-purga}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.175$$

Flujo másico de sólidos disueltos en purga de la caldera:

$$SD_{\text{purga-cald}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{h}} \right) = 2800 \left(\frac{\text{gr}}{\text{m}^3} \right) * 0.175 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 490 = 6860 \frac{\text{gr}}{\text{día}}$$

Tiempo de operación diario: 14 h/día

Sólidos disueltos que quedan en caldera, SD en agua de caldera:

$$SD_{\text{agua de caldera}} = SD_{\text{agua a cald}} - SD_{\text{purga-cald}}$$

$$SD_{\text{agua de caldera}} = 8,300 - 6860 = 1440 \frac{\text{gr}}{\text{día}}$$

Sólidos disueltos que salen en el vapor, SD vapor:

Para humedad del vapor: 3%

$$SD_{\text{vapor}} = 4.5 \frac{\text{gr}}{\text{día}}$$

Sólidos disueltos que quedan en caldera, SD caldera:

$$SD_{\text{caldera}} = 519.75 - 490 - 4.5 = 25.25 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Tiempo para acumularse 3500 gr de sólidos disueltos en caldera, Tpo-SDcald:

$$Tpo_{SD-cald}(h) = \frac{SD_{\text{máx}}}{SD_{\text{caldera}}}$$

$$Tpo_{SD-cald}(h) = \frac{3500 \text{ gr}}{25.25 \frac{\text{gr}}{\text{h}}} = 138.61 \text{ h} = 8.6 \text{ días}$$



Figura 12.. Balance de sólidos disueltos en caldera 200 BHP. Elaboración propia

3.3 Dimensionar y seleccionar el desmineralizador del agua a caldera.

3.3.1. Requerimiento de detalle de selección del sistema de osmosis inversa

Para este punto, es necesario saber a detalle todo el requerimiento para poder dimensionar y seleccionar el desmineralizador del agua a caldera, a continuación, se puede visualizar los parámetros básicos que debemos tener en cuenta seguido de sus valores de trabajo y operacionalización.

Tabla 6. Parámetros a considerar para selección de desmineralizador

PARÁMETROS A CONSIDERAR	VALORES
Pre-Tratamiento	
Temperatura del agua	10 °C A 50 °C
PH del agua	2 a 11
Índice de Ensuciamiento (SDI) @ 15 min	3
Turbiedad	0.1 NTU
Total, Carbón Orgánico (TOC) como ppm C	2
DBO como ppm O ₂	4

PARÁMETROS A CONSIDERAR	VALORES
DQO como ppm de O ₂	6
Conteo de Partículas (2um/ml)	100
Promedio de flux del sistema (GFD)	Conservativo: 14 Típico: 16 Agresivo: 20
% de declinación del Flux (% por año)	Conservativo: 10 Típico: 5 Agresivo: 3
% de Incremento de sales (5 por año)	Conservativo: 15 Típico: 7 Agresivo: 3
Conteo de Partículas (2um/ml)	100
Factor Beta (Membrana estándar)	Conservativo: 1.18 Típico: 1.2 Agresivo: 1.2
Caudal máximo por vessel (Vessel de 8")	75 gpm
Reyección en GPM (mínimo y máximo por vessel de 8")	12 a 16 gpm

Límites de saturación con anti-incrustante que debe considerarse en selección

Límites de Saturación con Anti-Incrustante

Tabla 7. Límites de Saturación con Anti-Incrustante

Concepto	Parámetro
LSI&SDSI- índice de Saturación para Carbonatos	Típico: 1.8 Agresivo: 2.5
CaSO ₄ (%)	<230
SrSO ₄ (%)	<800
BaSO ₄ (%)	<6000
SiO ₂ (%)	Típico:100 Agresivo: 150

Descripción general del proceso sistema de osmosis inversa

Se describe la operación del sistema de Osmosis Inversa desde la toma de tanque TN-1 de 100 m³ hasta ser descargado en el tanque TN-2 de 100 m³ (de agua permeada).

El agua fresca sin filtrar se almacenada en el tanque TN-1 y a través de un sistema de bombeo ingresa a una batería de filtros de zeolita (10 unidades de FRP de 63”)

El agua de alimentación hacia los filtros es bombeada de un pozo con caudal promedio de 0.90 l/s, con capacidad de operar 24 horas por día.

Los filtros de cartuchos un housing de 12 filtros de 2.5 x 40 por cada módulo de RO son usados para asegurar que ningún sólido suspendido ingrese a las membranas.

Se contará con un PLC – CAMPO (de campo) para la secuencia de arranque y parada de estos equipos, monitoreo de cada módulo y toma de datos.

El sistema puede programar el “Autoflusin” y tiene un sistema de lavados de membranas CIP para limpiezas con agua permeada cuando sea conveniente, y realizar limpiezas químicas con el uso el CIP este proceso es ejecutado por el PLC master.

3.3.2. Sistema de desinfección

La desinfección se hará con cloro gas en la tubería saliendo de la PTAP antes del ingreso al reservorio TN-2, operando con intercambiador automático con dos balones de gas cloro de 100 kg instalados en simultaneo y 2 balones cloro en reserva.

- 2 Reguladores de gas cloro de operación al vacío para montaje sobre válvula de cilindro de 100 kg mediante un dispositivo de ajuste tipo yugo.
- 1 módulo intercambiador automático de hasta 100 ppd, para operar al vacío, automáticamente cambia la alimentación de gas de un cilindro sin carga a uno lleno.
- 1 flujómetro de instalación remota de gas con válvula reguladora de caudal con capacidad de 0 - 10 ó 0 - 25 lbs/día

- 1 Ensemble Inyector - Difusor para inyectar solución de cloro en la aplicación, con válvula check.
- 1 Balanza tipo plataforma, mecánica, de 200 kg, graduación mínima 200 gramos.
- 1 Electrobomba tipo booster, marca Salmson, modelo Multi V-205 T/2/6, centrífuga vertical, con motor trifásico, tipo monoblock, multietapas, en acero inox, con sello mecánico de carbón/cerámica, para 220V/60hz con bridas DN25-PN25.
 - Succión: Brida DN25-PN25
 - Descarga: Brida DN25-PN25
 - Voltaje: 220 / 440 voltios / 60 Hz
 - Velocidad: 3450 RPM
 - Potencia nominal del motor: 5 HP

3.3.3. Disposición final del agua de rechazo

El agua de rechazo del sistema RO se conducirá por gravedad a través de una línea de HDPE hasta la cámara de desagües EBL-01, a la salida de la PTAR de ahí se une con el agua residual tratada y por medio de bombeo se impulsa hasta el emisor de descarga.

3.3.4. Pre tratamiento de sistema de osmosis inversa

Durante el proceso de Osmosis Inversa (RO), el volumen a alimentar de agua decrece y la concentración de partículas suspendidas e iones disueltos aumenta o se incrementa. Las partículas suspendidas pueden depositarse en la superficie de membrana con ello bloqueando canales de alimentación y por ende la pérdidas de fricción se incrementa (caída de presión) a través del sistema.

Las sales solubles se precipitan en la línea de concentrado o rechazo, generando incrustaciones en la superficie de membrana y disminuyendo el área de filtrado a

través del RO membranas. Es el proceso “fouling”, reduce el rendimiento del sistema de RO.

Según la calidad de agua a tratar, el proceso de pre-tratamiento puede tener:

- Extracción de las partículas grandes que utilizan un filtro malla o de anillas
- Eliminación de Orgánicos. Bacterias, virus y partículas en suspensión con UF/MF
- Desinfección de agua con cloro.
- Clarificación con o sin floculación.
- Clarificación y reducción de dureza que utilizan tratamiento de lime.
- Filtración con medios filtrantes
- Reducción de alcalinidad por ajuste de pH.
- Adición de inhibidor de incrustación (antincrustante).
- Reducción del cloro libre con Meta bisulfito de sodio o filtros de Carbon Activado
- Esterilización de agua que utiliza UV (radiación.)
- Extracción final de las partículas suspendidas que utilizan filtros de cartucho.

Para el presente caso se selecciona el pre-tratamiento con sistemas de filtración de profundidad, desinfección con cloro, eliminación del cloro con meta bisulfito de sodio y extracción final de partículas con filtros cartuchos por ser agua de pozo.

Especificaciones técnicas de los equipos

Sistema de bombeo booster

Tabla 8. Especificaciones Técnicas Sistema Bombeo Booster

Presión de Descarga	3.5 bar
Caudal de bomba	67.83 l/s
Tipo de bomba	Centrifuga en SS
Numero de bombas	4 unidades
Motor	75 Hp
Tipo de arranque de Motor	Softstarter
Control	Manual y automático por PLC Master

Especificaciones Técnicas Sistema de Filtración

Tabla 9. Especificaciones Técnicas Sistema de Filtración

Presión de ingreso	2 bar
Caudal de ingreso	203.51 L/s
Dimensiones de Tanque	63"x67"
Numero de filtros	16
Flux de diseño (Gpm/ft ²)	10.66
Tipo de Válvulas	Mariposa Neumática
Diámetro de Válvulas	6"
Numero de válvulas por tanque	4 Und.
Caudal de Retrolavado (por tanque)	21.5 l/s
Media Filtrante	Turbidex(zeolita volcánica)
Caída de presión (inicial)	0.55 bar
Set Point de retrolavado	Δ 1.36 bar
Automatización	Stager -PLC
Control de Retrolavado	Secuencial

3.3.5. Sistema de retro lavado o backwash

Tabla 10. Especificaciones Técnicas Sistemas Retrolavado

Presión de Descarga	2.78 bar
Caudal de bomba	21.05 l/s
Tipo de bomba	Centrifuga
Numero de bombas	2 unidades
Motor	15 Hp
Tipo de arranque de Motor	Softstarter
Control	Manual y automático por PLC Master

3.3.6. Sistema de osmosis inversa (01 Módulo)

Tabla 11. Especificaciones Técnicas Sistemas Retrolavado

Caudal de Ingreso	33.92 l/s
Caudal de Permeado	23.74 l/s
Caudal de Rechazo	10.17 l/s
Recuperación	70%
Bomba de Alta Presión	01
Trasmisor de presión	02(baja y de alta) Presión)
Sistema Autoflush	01
Filtro de Sedimentos	01 de 36 Cartuchos de 2.5"x40
Número de porta membranas	18 (06 unidades)
Arreglo	12:6
Número de membranas	108
PLC- Campo	1 Unds.
Número de Módulos por PLC	02 Unidades
HMI	1 Und.
Medición	Conductividad, Ph, caudal de permeado, caudal de rechazo,
Tablero de Campo	01 (NEMA 4X)
Comunicación y control adicional	PLC master

3.3.7. Estación de limpieza (01 Módulo)

Tabla 12. Especificaciones Técnicas Estación de Limpieza

Número de CIPs	02
Bomba de CIP	01
Tipo de bomba	Centrifuga en SS
Número de bombas	2 unidades
Motor	50 Hp
Tanque	01 (polietileno)
Heater	01
Tablero	01 de campo NEMA 4X
Filtro de Sedimentos	01 de 12 Cartuchos de 2.5"x40
Tipo de arranque de Motor	Softstarter
Control	Manual y PLC Master

3.3.8. Estación de aire comprimido (01 Módulo)

Tabla 13. Especificaciones Técnicas Estación Aire Comprimido

Número de Estaciones	01
Tipo de compresor	Tornillo Rotativo Lubricado
Número de etapas	Dos Etapas
Caudal de entrega	10 SCFM
Presión máxima	110Psig
Tanque pulmón	100 gln
Secador Refrigerativo no cíclico	01
Tablero	01 de campo NEMA 4X
Filtro de Ingreso y salida	01
Motor	10 HP
Tipo de arranque de Motor	Softstarter
Control	Manual y PLC Master

3.3.9. Instrumentos de medida y control automático

Transmisor flujo

Cantidad	3
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Ubicación	Alimentación bomba alta presión

Transmisor de Conductividad y PH

Cantidad	03
Indicación	mV y $\mu\text{S}/\text{cm}$ o ppm
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Alimentación al sistema

Transmisor de Conductividad y PH

Cantidad	02
Indicación	mV y $\mu\text{S}/\text{cm}$ o ppm
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Línea de Permeado

Transmisor de Presión Diferencial

Cantidad	1(Estación de Filtración)
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Filtros TURBIDEX

Transmisor de Presión Diferencial

Cantidad	1
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Banco de membranas

Transmisor de Presión

Cantidad	03
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Alimentación a membranas Banco intermedio

Rechazo de Osmosis inversa

Transmisor de Presión

Cantidad	1
Señales	4-20 ma HART Protocolo
Locación	Alimentación al sistema Alimentación a las membranas

Interruptor de Presión

Cantidad	2
Señales	Contacto Seco
Locación	Salida del permeado

Elemento calentador de agua

Cantidad	2
Material	Incoloy/acero
Capacidad	20 kW
Conexión	Brida 3"

Interruptor de Nivel en Tanque

Cantidad	2
Salida	Contacto en Seco

Panel de Control de campo

El sistema de desmineralización con ósmosis inversa tiene un Panel de Control Central, para monitorear la operación del equipo.

Gabinete

Cantidad	3
Material	Fibreglass
Protección	NEMA 4X
Alimentación eléctrica	120V/3/60 Hz

PLC

Cantidad	6
----------	---

Entradas y Salidas	Análogos y digitales
Alimentación eléctrica	24V DC
<u>Interface de Operación MHI</u>	
Cantidad	8
Modelo	Panelview
Display	15"
Protección	NEMA 4X
Alimentación eléctrica	24V DC
• Transformador:	110 V y/o 24 VDC (dependiente del sistema)
• Alarma:	Luz y sonido
• Indicador de Operación/Alarma:	Luces
• Conmutador Maestro de Potencia:	ABB o similar
• Botón de Parada de Emergencia:	Allen Bradley o similar
• Luces Indicadoras del Control de Potencia:	Allen Bradley o similar
• Servicio Eléctrico:	120 voltios, 1 fase.

3.3.10. Válvulas

Tabla 14. Especificaciones Técnicas de Válvulas

Tipo	Descripción	Material
Automáticas neumáticas	Mariposa	PVC
Baja Presión	Presión 150 psi	EPDM Sellos y o-rings
Manual on/off	Mariposa y/o esfera	PVC
Baja Presión	Presión 150 psi	EPDM Sellos y o-rings
Unidireccional	Tipo Wafer	PVC
Baja Presión	150 psi	EPDM Sellos y o-rings
Muestra	Esfera 150 psi	PVC
		EPDM Sellos y o-rings
Manual on/off	Esfera 1000 psi	316 ss
Baja Presión		

3.3.11. Cálculo de arreglo y número de membranas a usar por módulo:

- Flux (GFD).- Es el nivel de flujo por unidad de área de la membrana producido por día.
- Es determinado por el tipo de fuente de alimentación: por ejemplo;
- Fuente de alimentación Flux (GFD)
 - Agua de Mar 8 - 11
 - Agua Superficial 11 - 16
 - Agua de Pozo 16 - 20
 - Agua Permeada <20

Flujo necesario de agua, para caldera de 200 BHP: 3.1 m³/h, 16 horas de operación por día, volumen máximo de agua a caldera: 14400 galones por días (GPD)

- Para Producir 14400 GPD con agua Superficial, GFD = 12.60 gal/ft²
- $14400/12.6 = 1142.86 \text{ ft}^2$
- $1142.86 \text{ ft}^2 / 400 \text{ ft}^2 = 2.85 \cong 3$ membranas.
- 3 Memb. / 6 memb. = 1 tubo

3.3.12. **Cálculo del pre-tratamiento- sistema de filtración**

Dimensionamiento:

Consideraciones

a) Número de filtros (N): Normalmente se consideran como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros, para nuestro caso se trabajara con N+2 filtros quedando siempre uno en stand by o en retrolavado

b) Área total del filtro (At): El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en GPM y de la tasa de filtración.

$$\text{Área total del filtro (At)} = \text{Caudal total del filtro} / \text{Tasa de filtración}$$

Dónde:

$$\text{Área total del filtro} = \text{ft}^2$$

Caudal de filtro: GPM

c) Área del filtro de cada unidad (Af):

Área del filtro de cada unidad (Af) = Área total del filtro (At) / Número de unidades (N)

3.3.12.1. Selección de Media Filtrante: Medias Filtrantes

Tabla 15. Tipos de medias filtrantes, carga y porosidad

Tipo de Media	Flux (gpm/ft2)	Carga	Porosidad (Micras)
Arena	4 a 6	X	20 a 40
Antracita-Arena	4 a 6	1.4X	15 a 18
Multimedia	10 a 12	1.6 X	10 a 12
Zeolita	8 a 15	2.8 X	5 a 8

Se observa que para la Zeolita se tiene un mejor rango de Flux y una mejor filtración hasta de 05 micras, favoreciendo el pre-tratamiento del equipo de Osmosis Inversa.

3.3.12.2. Cálculo de Área de filtración

Ya seleccionado la media filtrante, se define por experiencia el Flux óptimo de filtración que no sea tan bajo, que los equipos de filtración sean grandes y costosos y ni tan chicos que no realicen la correcta filtración o tengas muy frecuentes retrolavos por caída de presión prematura.

Caudal de Filtración: (Flujo de alimentación a un módulo): 15 gpm

Area de Tanque de 50"x 50"= 17.36 ft2 (tanque de FRP disponible de manera comercial)

N= 1 tanque

Se considera N+1 tanques para que siempre exista un sistema de filtración en retrolavado.

N= 2 tanques

De lo anterior finalmente se tiene:

Flux de filtración total con (1 filtro funcionando) = 15 gpm/(17.36*2)=

0.432 gpm/ft2

3.3.13. Cálculo y selección de membranas para el sistema de osmosis inversa

3.3.13.1. Cálculo de Número de membranas a usar en el proyecto:

- Caudal total a procesar: 15 gpm
- Numero de módulos estimados: 06 unidades
- %Recuperación estimada: 70

Cálculo solo para un módulo:

- Caudal total de agua permeada: 1.7 gpm
- Producción de agua por día por modulo: 14400 GPD (16 horas/día)
- Flux (GFD) .- Es el nivel de flujo por unidad de área de la membrana producido por día.
- Es determinado por el tipo de fuente de alimentación: por ejemplo;
- Fuente de alimentación Flux (GFD)

– Agua de Mar	8 - 11
– Agua Superficial	11 - 16
– Agua de Pozo	12 - 20
– Agua Permeada	<20

Entonces:

- Para Producir 14400 GPD con agua de pozo, $GFD = 10 \text{ gal/ft}^2$
- $14400 / 10 = 1440 \text{ ft}^2$
- $1440 \text{ ft}^2 / 400 \text{ ft}^2 = 3.6 = 4 \text{ membranas.}$
- $4 \text{ Memb.} / 2 \text{ memb.} = 2 \text{ tubos.}$

Tabla 16. Especificaciones de membranas para agua de pozo de 8"x40

Marca	Modelo	Flujo de Permeado (GPD)	Area activa, pie ²	Feed Spacer Thickness (mil)	Mínima Rejeccion de sales (%)	Máxima Reyección de sales (%)
FILMTEC-DOW	BW30-400	10500	400	28	99	99.5
Koch-Fluid Systems membranas	8040-HR-400	11000	400	28	NO	99.5
TORAY	TMG20-400C	10200	400	28	99	99.5
HYDRANAUTICS	CPA5-LD	11000	400	34	99.6	99.7
HYDRANAUTICS	ESPA2-LD	10000	400	34	99.5	99.6

Del cuadro anterior, se selecciona las membranas HYDRANAUTICS ya que presentan mejor performance de reyección mínima y tiene un separador de membranas (Feed spacer) mayor de todos (34 mils).

El tener mayor separador de membrana /membrana tiene un gran ventaja hidráulica pues permite mayor turbulencia y tiende a tener menor ensuciamiento por coloides de las otras membranas.

Otra de las ventajas que presentan estas membranas respecto al resto es término: “LD” low fouling , el cual incluye una inserción de un compuesto biostático sobre el material del feed spacer que reduce drásticamente el crecimiento microbiológico sobre este (biofilm), este problema es un problema latente que tendrá que trabajar los operadores de controlar , pero el uso de esta tecnología lleva consigo una ventaja adicional.

3.3.14. Cálculo de carga eléctrica máxima de planta

Tabla 17. Carga Eléctrica Máxima de la Planta

Zona	Cantidad	Equipo	Motor	Arranque	P kw
Bombas de primer paso	4	Bombas Booster	75 Hp	Softstarter	5
Bombas de Alta Presión	8	Bombas Multietapica	150 Hp	VFD	10
Compresoras	2	Compresor	200 Hp	VFD	10
Bombas Dosificadoras	15	Bombas Dosificadoras	0.5 Hp	Directo	3
Distribución externa	2	Bomba Centrifuga	30 Hp	Softstarter	10
Total, kw					38

Este cuadro muestra el consumo energético de producción y distribución de agua tratada para caldera en la planta JJK SAC

DISPOSICIÓN PROYECTADA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA A CALDERA
EN PLANTA JJK SAC CON OSMOSIS INVERSA

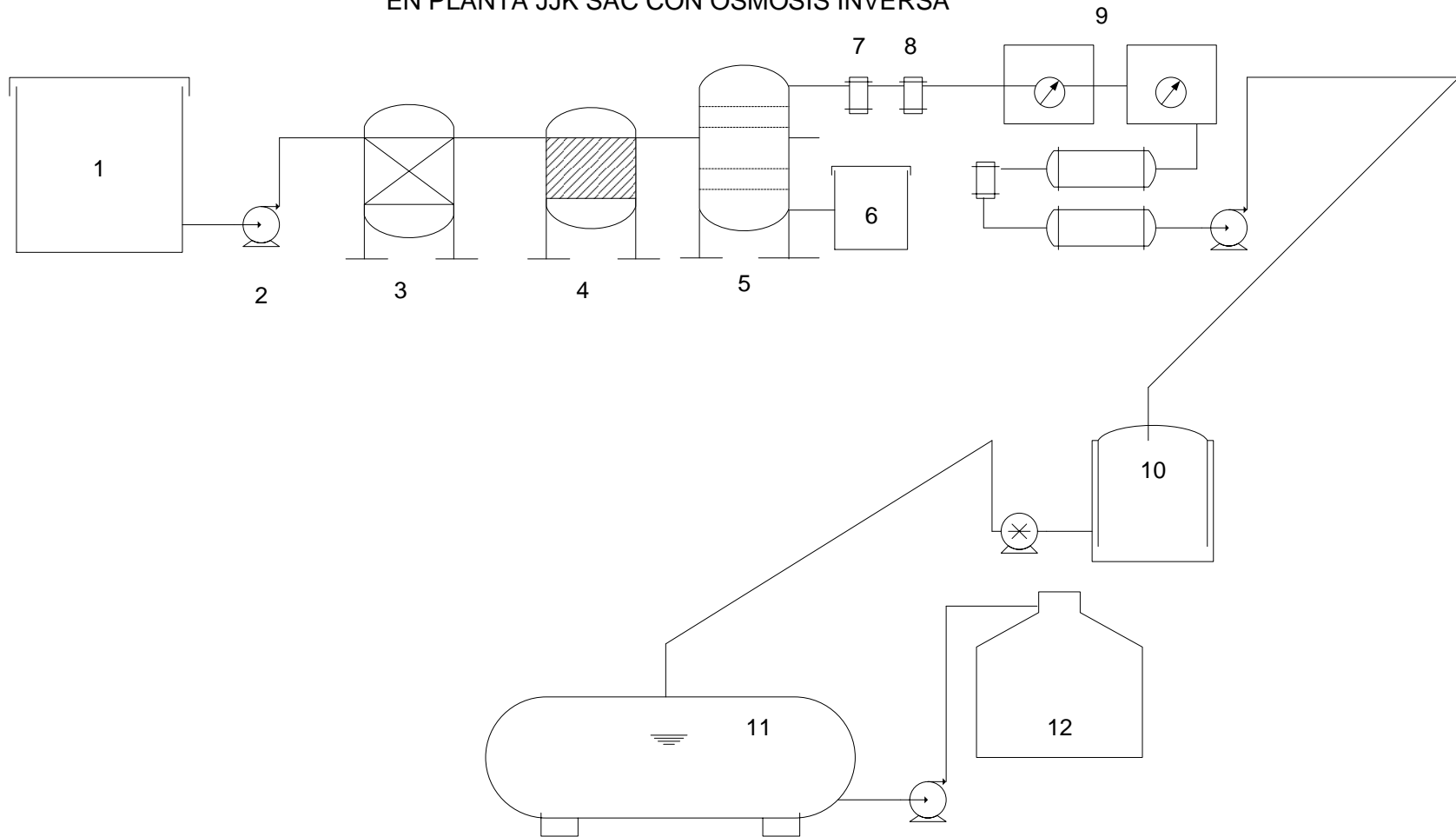


Figura 13. Sistema proyectado de tratamiento de agua a calderas, con desmineralización con ósmosis inversa. elaboración propia

Leyenda de equipos de la figura nro. 9:

- 1: Tanque de agua dura
- 2: Sistema de bombeo para tanque hidroneumático
- 3: Filtro multicama
- 4: Filtro de carbón activado
- 5: Ablandador de agua por intercambio iónico
- 6: Tanque de salmuera
- 7: Flitros
- 8: Filtros
- 9: Sistema de ósmosis inversa
- 10: Hidroneumático para llenado
- 11: Tanque de agua osmotizada
- 12: Tanque de agua de alimentación a caldera

3.4 Determinación de nuevos parámetros de operación de la caldera.

Al poner en servicio el sistema de osmosis inversa, se podrá generar vapor saturado seco, pues se reducirá drásticamente el contenido de sólidos disueltos en el agua a caldera, se acuerdo a los cálculos realizados, en el punto 3.3. 2.

a) Entalpia del vapor saturado seco a ser generado:

$$\text{De tablas de vapor saturado: } h''_{11 \text{ bar}} = 2780.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b) Flujo de purga de caldera:

Se eliminará el flujo de purga actual, el cual es de 194.95 kg/h, pues el agua de alimentación tendrá una cantidad despreciable de sólidos disueltos, del orden de 0 a 12 ppm, en este caso se ahorra 20 kw, según los cálculos realizados

c) Rendimiento de la caldera con desmineralizador

De los resultados de los cálculos realizados:

Potencia térmica total de la caldera, con desmineralización del agua con ósmosis inversa:

$$Q_{T-\text{cald-con OI}} = Q_{T-\text{cald-sin OI}} - Q_{p-\text{purga}}$$

$$Q_{T-\text{cald-con OI}} = 2031.07 - 20.285 = 2010.785 \text{ kw}$$

Potencia útil de la caldera: 1589.775 kW (de cálculos, en punto 3.3)

Rendimiento proyectado de la caldera con ósmosis inversa:

$$\eta_{\text{cald-OI}} = \frac{Q_u}{Q_{T-\text{cald-con OI}}} * 100$$

$$\eta_{\text{cald-OI}} = 79.06 \%$$

Sin desmineralización, la caldera opera con rendimiento de 78.27 %, es decir, se tiene un incremento del rendimiento de: $79.06 - 78.27 = 0.79 \%$

d) Consumo de combustible nuevo

Potencia térmica en purga de caldera, que se deja de hacer: 20.285 kw

$$Q_{p-cal} = m_{cble} \left(\frac{kg}{s} \right) * \left(PCI_{R6} \left(\frac{kJ}{kg} \right) + c_p \left(\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right) * t_{cble} (^{\circ}C) \right)$$

Reemplazando:

$$20.2865 \text{ kw} = m_{cble} \left(\frac{kg}{s} \right) * \left(38567.86 \left(\frac{kJ}{kg} \right) + 2.40 \left(\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right) * 105 (^{\circ}C) \right)$$

Despejando y procesando, se obtiene el flujo de petróleo que se ahorraría por implementar el sistema de ósmosis inversa, al no realizar purga en caldera:

$$m_{cble} = 5.23 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Siendo igual a 1.88 kg de reducción del consumo de petróleo por hora de operación.

3.5 Realizar un estudio económico: presupuesto, beneficios, costos de operación.

Inversiones (soles):

Presupuesto de inversión instalación y puesta en servicio Osmosis Inversa para JJK SAC				
Denominación	Cantidad	UM	Precio unitario, Soles/UM	Total, soles
Sistema de ósmosis inversa, de 15 gpm, incluye electrobomba de 45 m ³ /h y tuberías de agua	1	Sistema	54693	S/54,693.00
Tanque de agua osmotizada, 6 m ³ , de fibra de vidrio reforzada	1	Pieza	8000	S/8,000.00
Tubo dn = 2 " x 6 m Fe galvanizado	12	Piezas	112	S/1,344.00
Codos rectos dn = 2 " Fe galvanizado	8	Piezas	8	S/64.00
Uniones unoversales de Fe galvanizado,	6	Piezas	9	S/54.00
Vigas W, 18 lbs/m, x 6 m	4	Piezas	422	S/1,688.00
Mano de Obra				
Maestros mecánicos	4	Operarios	480	S/1,920.00
Maestros albañiles	4	Operarios	240	S/960.00
Cemento para cimentación	10	bolsas	55	S/550.00
Grava para cimentación base sistema de ósmosis inversa	50	kg	15	S/750.00
Varillas de Fe corrugado, 5/8" x 6 m	10	Piezas	18.5	S/185.00
Angulos de Fe, 1/8" x 6 m x 2.5"	10	Piezas	122	S/1,220.00
Circuito arranque motor de 50 HP, 60 Hz				
Cable THW 16 mm ² ,	35	m	18	S/630.00
Arancador suave de estado sólido, 60 Hz, 50 A	1	Pieza	2067	S/2,067.00
Contactador termomagnético	3	Piezas	235	S/705.00
Interruptor termomagnético, 50 A	1	Pieza	355	S/355.00
Tablero eléctrico, 40 cm x 90 cm x 60 cm	1	Pieza	450	S/450.00
Mano de obra trabajos eléctricos	2	electricistas	170	S/340.00
Ferretería eléctrica	1	GLB	1500	S/1,500.00
Ferretería mecánica	1	GLB	1200	S/1,200.00
Barras de cobre para distribución en 460 V, 50 A, tmax: 150 °C, 4 x 5 mm x 13 mm x 400 mm	3	Piezas	675	S/2,025.00
Instalación de puesta a tierra, 10 Ohm, con varilla de Cu y Gel	1	Pieza	3200	S/3,200.00
Gastos Generales				
Alimentación	15	técnicos	175	S/2,625.00
Seguros de pensión y de vida	15	Seguros	25	S/375.00
Transporte de materiales y personal	1	GLB	450	S/450.00
Total Inversión				S/86,900.00

Figura 13. Presupuesto, costos de operación e inversión

Beneficios económicos:

a) Por reducción de consumo de petróleo en caldera:

$$B_1 = m_{R6} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hora}} \right) * T_{PO_{oper}} \left(\frac{\text{h}}{\text{año}} \right) * C_{unit-R6} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{kg}} \right)$$

La planta opera 16 h/día, 30 días por mes y 12 meses por año, es decir de 5760 horas por año.

Siendo el costo del petróleo residual nr. 6 de 1.90 soles/kg

$$B_1 = 20574.72 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

b) Por reducción de compra de agua

Al eliminarse la purga de la caldera, se reduce el costo de la pérdida de agua y de los insumos para su tratamiento químico.

Flujo de agua a caldera a ser ahorrada: $154.95 \text{ kg/h} * 5760 \text{ h/año} = 892512 \text{ kg/año} = 924.88 \text{ m}^3 \text{ por año.}$

Costo de agua potable: 7.25 soles/m³

Beneficio por agua ahorrada, B2:

$$B_2 = 924.88 \text{ m}^3/\text{año} * 7.25 \text{ soles/año} = 6705.40 \text{ soles/año}$$

c) Por reducción de compra de insumos químicos para tratamiento de agua

Costo unitario de insumos químicos: 0.026 soles/kg agua, según dato de Planta

Ahorro económico por reducción de compra de insumos químicos, B3:

$$B_3 = m_{purga}(\text{kg/h}) * t_{po}(\text{h/año}) * C_{unit-ins-químicos}$$

$$B_3 = 154.95 \text{ kg/h} * 5760 \text{ h/año} * 0.026 \text{ soles/kg} = 23205 \text{ soles/año}$$

Beneficios económicos totales por implementar desmineralización del agua a caldera, por ósmosis inversa en Planta JJK, SAC, Bt:

50,485.12 soles/año

Tiempo estimado de retorno sobre la inversión: **TRI:**

TRI: Inversiones (soles)/ beneficios (soles/año)

TRI: 81900 soles/ 50,485.12 soles/año = 1.62 años = 19.5 meses

Se observa que la inversión es atractiva, teniendo en cuenta que a vida útil de un sistema de ósmosis inversa es de 12 a 15 años, y la recuperación de la inversión se haría en solamente 1.62 años

3.6 Análisis de impacto medio ambiental

Al instalar y poner en servicio un sistema de desmineralización del agua de alimentación a caldera, se obtiene una reducción de 1.88 kg/h del flujo de petróleo que se quema en caldera, lo cual constituye un buen beneficio económico, a la vez se convierte en un beneficio medio ambiental debido a que, al quemar menos combustible, se tendrán menos productos de la combustión que se evacúan a la atmósfera.

Consumo de combustible inicial, sin ósmosis inversa:

171.15 kg/h

Gas carbónico evacuado a la atmósfera:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2} = 483.88 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{h}}$$

Se obtiene la relación CO₂ – combustible: 2.83 kg CO₂/kg petróleo

Como las condiciones de combustión no se cambian, entonces la relación CO₂-combustible se mantiene igual

Consumo de petróleo al implementar la desmineralización con ósmosis inversa:

169.27 kg/h

Gas carbónico evacuado a la atmósfera, con mejora en tratamiento de agua:

$$m_{\text{CO}_2}: 169.27 \text{ kg/h} * 2.83 \text{ kgCO}_2/\text{kg petróleo} = 476.20 \text{ kg/h}$$

reducción del CO₂ evacuado a la atmósfera:

$$\Delta m_{\text{CO}_2}: 483.88 - 476.20 = 7.68 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

IV. DISCUSIÓN

- Al realizar el balance de masa y energía térmica, se utilizó el método entálpico, aplicando las nociones y ecuaciones de ingeniería de calderas de vapor de agua, tomando como base los datos disponibles en planta, como son los pocos registros de presión, temperatura del vapor y agua de alimentación, del mismo modo de los gases residuales de chimenea, de este modo se trató de realizar una auditoría más completa en relación a otros trabajos previos, para poder determinar los parámetros de operación, así como el consumo del combustible.
- Se hizo un procesamiento con estadística descriptiva y se determinó los valores promedio con los cuales se hizo la ingeniería básica y se pudo determinar la capacidad actual de la caldera, y su rendimiento, el cual es bajo, menos de 80%, ya que se realizó el análisis y principalmente es bajo por la pérdida de gases de combustión y purgas, los cuales pueden ocasionar el consumo elevado de combustible encareciendo el proceso y que la empresa tenga pérdidas económicas, además de ello, que los tubos de caldera tengan menos duración por encontrarse con corrosión y abrasión, generando que el coeficiente global de transferencia de calor sea menor. Al observar que no existe gestión de los procesos térmicos, se propone los formatos de tomas de datos para que la Planta JJK SAC los registre y pueda tomar decisiones de control, es decir, es como si hiciera auditorías internas
- Se realizó el dimensionamiento y selección del sistema de ósmosis inversa, con el enfoque de tener un sistema fiable, maduro, de bajo costo de mantenimiento, lo más simple posible y que se encuentren repuestos en el país, se observa que el sistema recupera el 60% del agua total que ingresa, siendo la llamada agua osmotizada. Lamentablemente, el sistema tradicional hace que el agua no filtrada, la que tiene los residuos orgánicos, se evacúe al desagüe, constituyendo un efluente importante. En ese sentido se debe considerar la necesidad de realizar tratamiento del agua no permeada, con fluoculantes, es decir realizar un circuito cerrado e implementar un plan de gestión del agua industrial en Planta, con mayor razón por el hecho que la planta se encuentra en medio de un desierto importante.
- El análisis de combustión permite determinar que se ahorra 1.88 kg/h de combustible, algo muy importante, además que se mejora la calidad de vapor, habida cuenta que los procesos industriales de la planta, tienen inyección directa del vapor en el producto.
- Se ha analizado el tratamiento de agua en otra planta de similares características, pero no aplican tratamiento completo de agua, es casi informal, lo que ocasiona también, altos costos de generación de vapor, sobre pasa los 150 soles por cada tonelada de vapor generado

- De similar modo se hizo el balance de sólidos disueltos en caldera, motivo principal de instalación del sistema de desmineralización, encontrando que la Planta trata agua muy dura, de 1100 ppm, siendo que la norma internacional considera como agua dura al agua que contiene 600 ppm de sólidos disueltos. Con el sistema de ablandamiento que se tiene, se retiran totalmente los sólidos disueltos como Ca y Mg, responsables de la incrustación y pérdida de la capacidad de transferencia de calor y generación de vapor, pero no se hace tratamiento ni del oxígeno ni de desmineralización residual.
- Se hizo el estudio técnico económico de dimensionar y seleccionar un sistema de desmineralización de agua para una caldera piro tubular.
- Utilizando la técnica de costos y presupuestos, se determinó que la inversión es atractiva, existiendo una buena rentabilidad, permitiendo recuperar la inversión en un corto período, la inversión al no ser elevada, la puede asumir la empresa directamente, para no caer en costos financieros adicionales
- Desde el punto de vista medio ambiental se determinó con el método de estequiometria que se obtiene 2.83 kg de dióxido de carbono al quemar un kg de petróleo, y la reducción de emisiones de gas carbónico a la atmósfera es de 7.5 kg de CO₂/h, la que se convierte en ácido carbónico, muy nocivo.

V. CONCLUSIONES

- Se realizó el balance de masa y energía en caldera JJK, se obtuvieron los siguientes resultados, que el oxígeno mínimo necesario para la combustión es de $2.9646 \frac{\text{kg O}_2}{\text{kg R}_6}$, además que la relación de aire teórico para la combustión es de $A_{\text{teórico}} = 12.89 \frac{\text{kg-aire}}{\text{kg-R}_6}$ y el real es de $A_{\text{real}} = 22.56 \frac{\text{kg-aire}}{\text{kg-R}_6}$ y la relación de gases obtenidos en la combustión es de $23.56 \frac{\text{kg GC}}{\text{kg R}_6}$, el rendimiento de caldera: $\eta_{\text{Caldera}} = 78.27 \%$, entonces se concluye que el rendimiento térmico actual de la caldera es bajo, las pérdidas principales térmicas se encuentran en los gases de combustión y en purgas, normalmente debe ser mayor a 85%
- Se realizó en balance de sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera, en ppm, flujo de purga actual de la caldera JJK, en kg/h y sabiendo que los sólidos totales disueltos admisibles TDSadm: es de 3500 ppm (es caldera de baja presión), ingresando la caldera $V_{\text{n-agua a caldera}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 3.15$ y los SD que ingresan a caldera en agua de alimentación es de $SD_{\text{agua a cald}} \left(\frac{\text{gr}}{\text{h}} \right) = 8300 \frac{\text{gr}}{\text{d}}$, siendo los sólidos disueltos que quedan en caldera, SD caldera: $SD_{\text{caldera}} = 25.25 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$, entonces el tiempo para acumularse los 3500 gr de sólidos disueltos en caldera, Tpo-SDcald: es de $T_{\text{poSD-cald}}(\text{h}) = 8.6$ días, es por ello que se concluye que se acumula muchos sólidos disueltos en la caldera, que ingresan en el agua, es necesario incrementar purgas (incremento de costos) o cambiar de proceso (ósmosis inversa)

• **Se dimensionó y seleccionó el desmineralizador del agua a caldera.**

Tabla 18. Datos de desmineralizador O.I

Caudal de Ingreso	14112 kg/h
Caudal de Permeado	8467 kg/h
Caudal de Rechazo	5645
Recuperación	60%
Bomba de Alta Presión	01
Trasmisor de presión	02(baja y de alta) Presión)
Sistema Autoflush	01
Filtro de Sedimentos	01 de 36 Cartuchos de 2.5"x40
Número de porta membranas	18 (06 unidades)
Arreglo	12:6
Número de membranas	108
PLC- Campo	1 Unds.
Número de Módulos por PLC	02 Unidades
HMI	1 Und.
Medición	Conductividad, Ph, caudal de permeado, caudal de rechazo,
Tablero de Campo	01 (NEMA 4X)
Comunicación y control adicional	PLC master

Se observa que el caudal de permeado, es decir el flujo de agua osmotizada es igual a 8467 kg/h = 14 lo que asegura la capacidad para el flujo de agua a la caldera, que es de 5132 kg/h = 5 m³/h, habiendo una capacidad de recuperación de 60% del agua de ingreso, se conveniente que se dimensionó y seleccionó bien el sistema de ósmosis inversa.

- Se determinó los nuevos parámetros de operación de la caldera, ya que al poner en servicio el sistema de ósmosis inversa, se va a generar el vapor saturado seco, pues se reducirá el contenido de sólidos disueltos en el agua a caldera, según los cálculos realizados, el flujo de purga actual de la caldera será eliminado, ya que el agua de

alimentación tendrá una cantidad despreciable de sólidos disueltos, del orden de 0 a 12 ppm, se ahorra 20 kw, según los cálculos realizados, su rendimiento aumentó en un 0.79 % y el consumo de combustible es menor = $1.88 \frac{\text{kg combustible}}{\text{h}}$

Se concluye que existirá una interesante reducción del consumo de combustible en la caldera, al implementar el sistema de desmineralización del agua a caldera con ósmosis inversa, pues se mejoran los parámetros de operación y se logra aumentar la eficiencia de la caldera

- Se realizó un estudio económico de la inversión en desmineralización del agua a caldera, donde el total de inversión es de 81,900 soles y trayendo beneficios en reducción de combustible en $B_1 = 20574.72 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$ y la compra de agua $B_2 = 6705.40$ soles/año y los beneficios económicos totales por implementar la desmineralización del agua a caldera, por ósmosis inversa en Planta JJK, SAC, Bt: = 50,485.12 soles/año y el tiempo estimado de retorno sobre la inversión es de 19.5 meses, se concluye que la inversión es atractiva, teniendo en cuenta que a vida útil de un sistema de ósmosis inversa es de 12 a 15 años, y la recuperación de la inversión se haría en solamente 1.62 años
- Se realizó análisis medioambiental por reducción de emisión de gases contaminantes a la atmósfera, dándonos como resultados positivos, ya que el consumo de petróleo con desmineralización con ósmosis inversa es de 169.27 kg/h y el gas carbónico evacuado a la atmósfera, con mejora en tratamiento de agua es de mCO₂: $168.27 \text{ kgcble/h} * 2.83 \text{ kgCO}_2/\text{kg petróleo} = 476.20 \text{ kg/h}$, se concluye que existe una mejora medio ambiental al implementar la desmineralización del agua a caldera con ósmosis inversa, materializada en una reducción de 7.68 kg CO₂/h que se evacuarían a la atmósfera.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el sistema de ósmosis inversa, teniendo en cuenta el grado de rentabilidad económica, así como los beneficios técnicos y operacionales que se pueden obtener: simplificación del mantenimiento.
- Se recomienda analizar la factibilidad de implementar un sistema de condensación por mezcla de gases residuales de chimenea, por agua.
- Es conveniente que la Planta JJK SAC cuente con un profesional en ingeniería química y un laboratorio para el tratamiento de agua de alimentación a caldera, que realice mediciones horarias, por ejemplo, para asegurar el control de calidad.
- Se recomienda implementar capacitaciones al personal de operación de calderas: nociones fundamentales de vapor y combustión, así como las funciones de cada dispositivo de medida, control y seguridad de operación, así como la definición de los diferentes parámetros, de tal modo que puedan registrar adecuadamente los valores en el formato Excel para su análisis diario. De modo similar se debe capacitar al personal de mantenimiento, por la nueva tecnología de tratamiento de agua.
- Se recomienda, antes de realizar la inversión en la adquisición del ósmosis inversa, realizar un trabajo de benchmarking, para conocer más profundamente la nueva tecnología, y tomar una decisión con mayor certeza.
- Se recomienda, una vez tomada la decisión de inversión, analizar la factibilidad de reducir el monto de inversión, por ejemplo: comprando directamente los equipos componentes del sistema de ósmosis inversa, contratar por un período determinado, de unas dos a tres semanas, a personal técnico especializado, con experiencia en este tipo de instalaciones, de este modo es posible ahorrar hasta en un 40 a 50 % el monto de la inversión estimada.

REFERENCIAS

ALVAREZ, J R. 1999. *Pressure Driven Membrane Process.* Spain : University of Oviedo, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS and AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1990. *Water treatment Plant Design.* s.l. : McGraw Hill Publishing Company, 1990.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. 1969. *Water Treatment Plant Design.* s.l. : McGrawHill, 1969.

APHA, AWWA, WPCE. 1992. *Métodos Normalizados para Análisis de Agua Potables y Residuales.* s.l. : Diaz de Santos S.A., 1992.

Aranda, Carlos. 2014. *Diseño de un intercambiador de calor de tubos y coraza para fluidos liquido - liquido.* Callao : s.n., 2014.

Berlanga Labari, C y Fernandez Carrasquilla, J. 2006. *Revisión sobre la corrosión de tubos sobrecalentadores.* Madrid : s.n., 2006.

BETZ. 1980. *Handbook of Industrial Water Conditioning Boiler Water Systems.* 1980.

BHATTACHARYA, D, y otros. 1992. *Reverse Osmosis and Selected Applications.* New York : s.n., 1992.

Bohorquéz, Roberto. 2013. *"Auditoría Energética al Circuito de Vapor y Condensado de una.* Guayaquil-Ecuador : s.n., 2013.

CARTWRIGHT, R B. 1985. *Membranes Separations Technology for Industrial Effluent Treatment-A-Review.* 1985.

Cengel, Yunus. 2007. *Termodinámica. 7.* México : McGraw-Hill Interamericana, 2007.

CENGEL, Yunus y GHAJAR, Afshin. 2011. *Trasferencia de calor y masa.* Mexico : McGRAW-Hill/interamericana editores ,SA. de C.V., 2011.

De las Heras, Salvador. 2011. *Fluidos, combas e instalaciones hidráulicas.* Barcelona : Oficina de Publicacions Acadèmiques digitales de la UPC, 2011.

DEPARTAMENTOTECNICO DE SETA(Sociedad Española de Tratamiento de Agua).
1996. *LA Depuración de Vertidos Industriales como Fuente de Ingresos de la Industria.* Ouibal, Spain : s.n., 1996.

finanzas, Economía. 2017. [En línea] 16 de 05 de 2017.

<https://www.economiafinanzas.com/que-son-van-tir/>.

García Bustamante, Henry Eduardo. *Ventaja técnica y económica de las tecnologías de membranas con respecto al intercambio iónico en el tratamiento de agua para calderos de presiones menores de 400 psig.*

García Olmos, Carlos Francisco. 2002. *APLICACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA Y LA NANOFITRACION EN EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERAS.* Oviedo, España : s.n., 2002.

GONZALES OLABARRIA, PEDRO. 2016. *Desalación de agua mediante osmosis inversa.* Madrid, España : AMV ediciones, 2016.

HERNANDEZ, A y TEJERINA, F. 1990. *Microfiltración, Ultrafiltración y Osmosis Inversa.* Universidad de Murcia, España : volumen 4, 1990.

Hidalgo Domínguez, Fanny Esther y Guamán Pérez, Marco Vinicio. 2006. *Diseño y Construcción de un Desmineralizador de Lecho Multiple.* Guayaquil, Ecuador : s.n., 2006.

Ortis Díaz, Ana Laura y Tavera Cardona, Cynthia Elizabeth. 2012. *Tratamiento de Agua para la Alimentación de Calderas.* México D.F : s.n., 2012.

Revisión sobre la corrosión de tubos sobrecalentadores. **REVISTA DE METALURGIA. 2006.** Madrid : s.n., 2006.

Rodríguez, Laura. akunfilters. [En línea] [Citado el: 25 de Mayo de 2019.]
<http://www.akunfilters.com/index.php/articulos-de-interes/item/13-agua-para-calderas-tratada-con-osmosis-inversa>.

Sosa Daza, José Andrés. 2013. *Recuperación de condensados generados en el sistema de drenaje de cabezales de vapor y venas de calentamiento en el área de setil(servicios auxiliares) de la refinería estatal de esmeraldas.* Guayaquil-Ecuador : Universidad de Guayaquil-Facultad de Ingeniería Química, 2013.

Taniguchi, Y. 2006. *Encyclopedia of Desalination and Water Resources, Water Rense PRomotion Center.* Japan : Yokohama National University, 2006.

ANEXOS

Anexo 1: Concentracion límite del agua dentro de calderas para distintas presiones.

CONSTITUYENTES	hasta 17.5 kg/cm ²	PRESIONES INTERMEDIAS DE CALDERA		
		17.5 – 21 Kg/cm ²	21 – 31.5 Kg/cm ²	31.5 – 35 Kg/cm ²
Dureza total como CaCO ₃	0	0	0	0
Alcalinidad total como CaCO ₃	–	700	–	500
Hidróxido como CaCO ₃	150 - 300	–	130	100
Sílice, como SO ₂	100 - 133	50 - 67	50 - 67	50 – 67
Oxígeno disuelto como O	0.015	-	-	0.007
Sólidos Disueltos	3000 - 5000	3500	3000	2500
Sólidos en Suspensión	300 - 600	300	-	150
Ph	9.5	-	-	9.7
Aceite	1	-	-	0.1
Hierro	-	-	-	-
Cobre	-	-	-	-
Sulfito sódico como Na ₂ SO ₃	30 - 60	-	-	-
Fosfato como PO ₄	40 - 80	30 - 50	30 - 50	20 – 40
Dispersantes orgánicos	50 - 75	-	-	-

*Valores mínimos, después los que quedan son los máximos.

Anexo 2: Rechazo de inorgánicos por Membranas en Osmosis Inversa

Cation			Anión		
Nombres	Símbolos	%Rechazos	Nombres	Símbolos	%Rechazos
Sodio	Na ⁺	94-96	Cloruro	Cl ⁻	94-95
Calcio	Ca ⁺⁺	96-98	Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	95-96
Magnesio	Mg ⁺⁺	96-98	Sulfato	SO ₄ ⁻	99 ⁺
Potasio	K ⁺	94-96	Nitrato	NO ₃ ⁻	93-96
Hierro	Fe ⁺⁺	98-99	Fluoruro	F ⁻	94-96
Manganeso	Mn ⁺⁺	98-99	Silicato	SiO ₂ ⁻	95-97
Aluminio	Al ⁺⁺⁺	99 ⁺	Fosfato	PO ₄ ⁻	99 ⁺
Amonio	NH ₄ ⁺	88-95	Bromuro	Br ⁻	94-96
Cobre	Cu ⁺⁺	96-99	Borato	B ₄ O ₇ ⁻	35-70**
Níquel	Ni ⁺⁺	97-99	Cromato	CrO ₄ ⁻	90-98
Estroncio	Sr ⁺⁺	96-99	Cianuro	CN ⁻	90-95**
Cadmio	Cd ⁺⁺	95-98	Sulfito	SO ₃ ⁻	98-99
Plata	Ag ⁺	94-96	Tiosulfato	S ₂ O ₃ ⁻	99 ⁺
Arsénico	As ⁺⁺⁺	90-95	Ferrocianuro	Fe (CN) ₆ ⁻	99 ⁺

Anexo 3: Rechazo de orgánicos por Membranas en Osmosis Inversa

Nombre	Peso Molecular	%Rechazo
Sucrosa	342	100
Lactosa	360	100
Proteínas	Mayor 10.000	100
Glucosa	198	99,9
Fenol	94	93-99**
Ácido Acético	60	65-70
Tinturas	400 a 900	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	-----	90-99
Demanda química de oxígeno (COD)	-----	80-95
Urea	60	40-60
Bacterias y Virus	5.000-100.000	100
Pirógenos	1.000 - 5.000	100

Anexo 4: Impurezas inorgánicas comunes, vía de entradas al proceso y sus efectos

Impurezas Inorgánicas	Vía de Entrada	Efecto
Sulfato y carbonato de calcio y magnesio	Baja la calidad de H ₂ O de aporte y fugas de H ₂ O de refrigeración	Crean incrustaciones en intercambiadores y tuberías de caldera
Sales y magnesio	Fugas del agua de refrigeración del condensador, en particular agua marina.	Corrosión estricta, corrosión bajo tensión, picaduras
Fosfatos	Compuestos de protección frente a la corrosión temporal. Como ablandador de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺	Sin efectos si la exposición es corta, dependiendo de la relación molar. Adelgazamiento de tubos (thinning)
Oxígeno	Desgasificación inadecuada del agua de aporte.	Aumenta el riesgo de corrosión.
	Entrada de aire a través de los diafragmas de aislamiento de tanques de almacenamiento.	
	Entrada a través de las zonas a vacío del circuito.	
Ácidos y bases libres	Compuestos químicos de regeneración de resinas	Corrosión severa, ataque intergranular y corrosión bajo tensión.

Iones Na^+ o SO_4^-	Fugas de las resinas del sistema de purificación del condensado o del sistema de desmineralización del agua de aporte	Aumento de la corrosión, corrosión bajo tensión.
---------------------------------------	---	--

Anexo 5: Impurezas orgánicas más comunes, sus vías de entrada al circuito y su efecto:

Impurezas Orgánicas	Vía de Entrada	Efecto
Ácido orgánico de cadena larga	Agua de aporte. Estos ácidos no se eliminan por las resinas de tratamiento del agua y se descomponen en el circuito en ácidos de cadena corta muy volátiles.	Aumento de la corrosión de la turbina LA medida de conductividad catiónica es enmascarada Creación de dióxido de carbono, ácidos fórmico, acético, etc.
Finos+ de la resina de intercambio iónico.	Liberación de los lechos de purificación de condensado. Ácidos producto de la descomposición térmica de resina catiónica.	Se eleva la corrosión a una mayor velocidad Erosión por la corrosión
Aceite.	Fuga de lubricación en la turbina. Contaminantes del H ₂ O cruda	Ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor. Descomposición en ácidos orgánicos
Polímero orgánico	Fugas de sellos orgánicos y de materiales de empaquetadura por desgaste de internos de válvulas.	El efecto depende del material en particular. Ensuciamientos.

Anexo 6: Programa de control químico del agua a caldera

Parámetro de control	Frecuencia muestreos	Valores normales	Nivel de Acción		
			1	2	3
CONDENSADO					
Conductiv. catiónica	Diario	$\leq 0.3 \mu\text{S/cm}$	> 0.3	> 0.5	> 1.0
Oxígeno disuelto	Diario	$\leq 10 \text{ ppb}$	> 10	> 30	
ALIMENTACIÓN					
PH	Diario	$8.8 < \text{pH} < 9.2$	$< 8.8 > 9.2$		
Oxígeno disuelto	Diario	$\leq 5 \text{ ppb}$	> 5		
Hidracinas	Diario	$\geq 3 (\text{O}_2) \text{ cond.}$ $\geq 10 \text{ ppb}$	$< 3(\text{O}_2)$ < 10		
Hierro	Semanales	$\leq 10 \text{ ppb}$	> 10		
Cobre	Semanales	$\leq 3 \text{ ppb}$	> 3		
CALDERA					
PH	Diario	$8.5 < \text{pH} < 9.5$	$< 8.5 > 9.5$		
Cloruro	Diario	$\leq 20 \text{ ppb}$	> 20	> 100	
Sulfato	Semanales	$\leq 100 \text{ ppb}$	> 100	> 500	
Sílice	Diario	$\leq 300 \text{ ppb}$			
VAPOR PRINCIPAL					
Cloruros	Semanal	$\leq 5 \text{ ppb}$	> 5	> 10	> 20
Sulfatos	Semanal	$\leq 5 \text{ ppb}$	> 5	> 10	> 20
Sílice	Diaria	$\leq 10 \text{ ppb}$	> 10	> 40	> 80

Anexo 7: Frecuencia de análisis del agua de alimentación a caldera

Parámetros diagnósticos	Frecuencia muestreo	Valores normales	Nivel de Acción		
			1		
CONDENSADOS					
Carb. Org. total (TOC)	Semanales	< 200 ppb			
PH	Diario	8.8 < pH < 9.2			
Conductiv. específica	Diario	1-5 µS/cm			
Amoniaco	Diario	150-600 ppb			
ALIMENTACIÓN					
Conductiv. específica	Diario	1-5 µS/cm			
Amoniaco	Diario	150-600 ppb			
CALDERA					
Sólidos en suspensión	Semanales	< 1000 ppb			
Amoniaco	Diario	> 60 ppb			
VAPORES PRINCIPAL					
PH	Diario	8.8 < pH < 9.2			
Conductividad específica	Diario	1-5 µS/cm			
Amoniaco	Diario	150-600 ppb			

Fuente: campusvirtual.edu.uy/.../CALDERAS/Tratamientos%20de%20agua%20de%20caldera.

Anexo 8: sistema de osmosis inversa industrial



Caudal
28,000 - 173,000
Galones por Dia

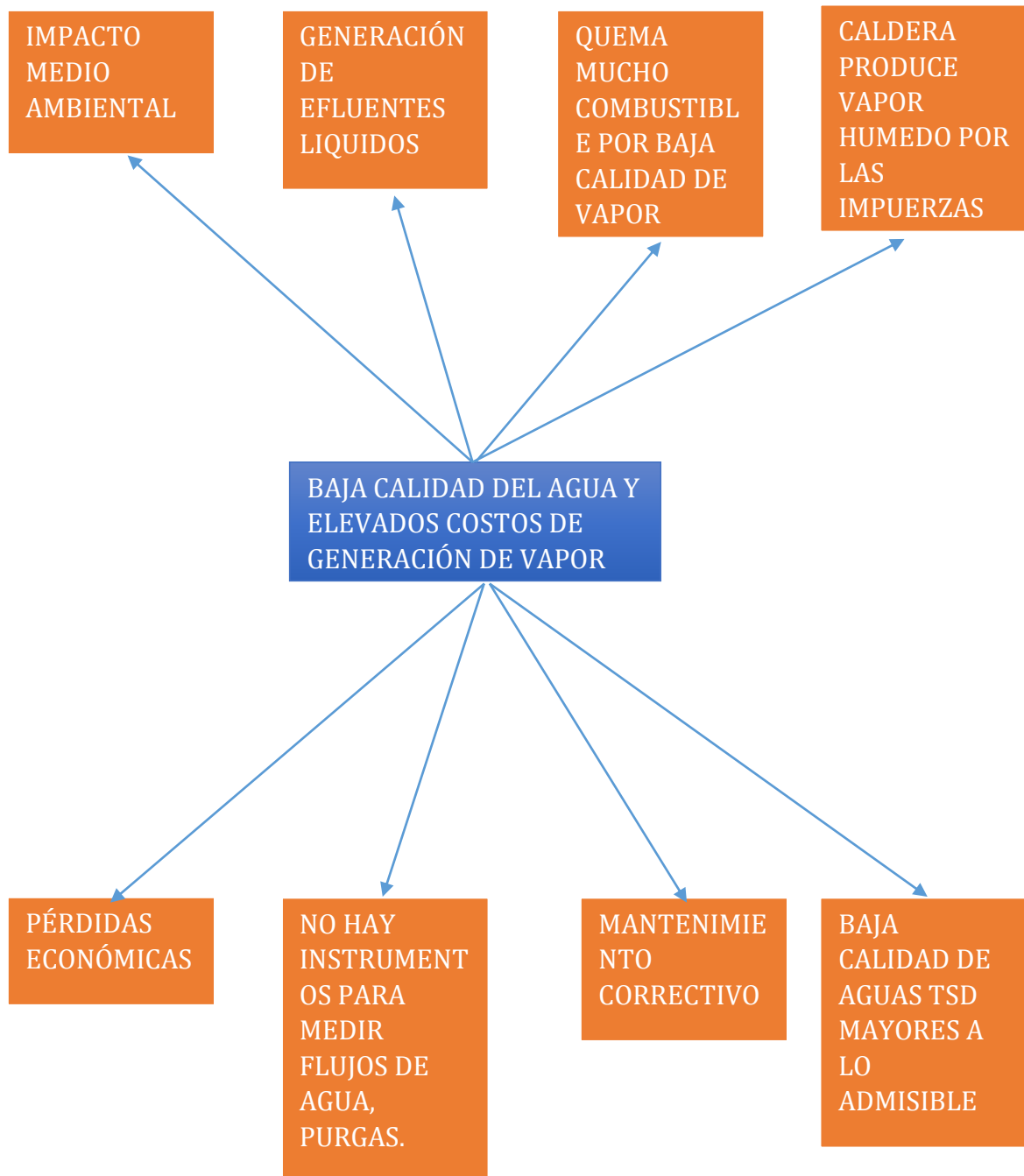
Operación y sus especificaciones

- H₂O de alimentación máximo: T= 42 °C
- Equipos actualizados en TDS de más de 5000 partes por millón
- Eliminación del sulfuro de hidrógeno
- Máxima tolerancia: 60 partes por millón de sílice y 60% de su recuperación
- 20 a 80 psi, presión del agua a alimentar
- La dureza que supere a 1GPG es requerido dosificar con anti-Escalante
- Eliminación de la turbulencia
- La operación en TDS más elevados para disminuir su recuperación
- TDS: a 1,000 partes por millón (H₂O de alimentación)
- Presión al funcionar: 150 a 200 psi
- Tolerancia permitida en su rango de pH: 3 a 11
- Hierro máximo permisible; 0.05 partes por millón

Anexo 9: características de sistemas de osmosis inversa industriales

Número de Modelo	Caudal		Cantidad de	Motor HP a 1000 ppm		Peso Aproximado	Dimensiones
			Membranas	60hz	50Hz		
	GPD	M3/Día					LBS.
TW-28K-1480	28,800	109	4	7.5	10	2,300	170x33x58
TW-36K-1580	36,000	136	5	10	15	2,350	210x33x58
TW-43K-1680	43,200	164	6	15	15	2,400	250x36x58
TW-57K-2480	57,600	218	8	15	20	2,500	170x36x58
TW-72K-2580	72,000	273	10	20	20	2,600	210x36x58
TW-87K-3480	87,400	327	12	20	25	2,700	170x48x66
TW-108K-3580	108,000	409	15	25	25	3,200	210x48x66
TW-130K-3680	129,600	491	18	25	30	3,500	250x62x66
TW-144K-4580	144,000	545	20	25	30	4,200	210x62x66

Anexo 10: Arbol de problemas, con causas y consecuencias del problema del estudio



INSTRUMENTOS NRO 1

Objetivo del instrumento: Se presenta el instrumento a evaluar, dicha encuesta nos permitirá evaluar la percepción del tratamiento de agua en la actualidad.

Nro de Items:

Consta de 7 preguntas a evaluar

Encuestados:

Jefe de Mantenimiento de Calderas

Operador de tratamiento de agua

Instrumento de evaluación nro.1: Encuesta sobre percepción del tratamiento en agua en planta JJK SAC

Apellidos y nombres:

Fecha:

Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1; Considera que en la Planta JJK SAC se realiza un buen tratamiento de agua para calderas?

a) Sí b) No

Explicar la razón

2. Considera que al reducir el nivel de sólidos disueltos en el agua se contribuye a aumentar la calidad del vapor y su consumo en Planta JJK SAC?

a) Sí b) No

Explicar la razón

3. Considera que es importante implementar la desmineralización del agua como ósmosis inversa en Planta JJK SAC?

a) Sí, b) No

4. Conoce áreas o equipos críticos a los cuales afecta la calidad del agua y vapor en Planta JJK SAC?

Sí No

5) ¿Ha recibido capacitación en tratamiento de agua para calderas?

Sí No

6) Considera que la mala calidad del vapor debido a impurezas minerales en el agua de alimentación a caldera reducen drásticamente la operación de las trampas de vapor y de los intercambiadores de calor en Planta JJK SAC?

Sí No

7) Considera que el mantenimiento de los equipos de tratamiento de agua es adecuado en Planta JJK SAC?

Sí No

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

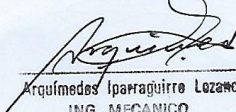
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *IPARRAGUIRRE LOZANO ARQUIMEDES*

Profesión: *INGENIERO MECANICO*

Especialidad: *DISEÑO MAQUINAS.*


 Arquimedes Iparraguirre Lozano
 ING. MECANICO
 R. CIP. 73016

Firma del Experto

Instrumento nro. 2: Ficha de Observación

FICHA DE OBSERVACIÓN PROCESO INDUSTRIAL JJK SAC					
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA A CALDERA					
FECHA: ENERO - ABRIL 2019					
CRITERIOS E INDICADORES	Escala				Observaciones
	1	2	3	4	
1. Reconocimiento de equipo y proceso ablandador de agua a caldera					
Existe registro de análisis de dureza del agua ingreso a ablandador?	Sí				
Existe registro de análisis de dureza del agua ingreso a ablandador?	Sí				
Costo unitario de ablandamiento de agua?		No			
Los componentes del sistema están debidamente codificados?		No			
2. Reconocimiento del equipo y proceso de desgasificación					
El desaierador tiene los instrumentos afdecuados?					
El proceso de desaereación del agua es térmico o químico?					
Costo unitario de desgasificación del agua a caldera					
El valor de O2 en agua cumple con el estandard?					
3. Reconocimiento del proceso de desmineralización del agua					
Se tiene proceso de desmineralización del agua?					
Costo unitario de desmineralización del agua?					
Existen registros de valores de dureza del desminerlizacion					
4. Reconocimiento del proceso de generación vapor saturado					
Se conoce el flujo promedio del vapor generado?					
Se conoce la presión promedio del vapor generado?					
Se observa los datos de placa con valores nominales?					
Calidad del vapor generado					
Calidad del agua de alimentación a caldera					
Consumo específico de combustible para generar vapor					
Costo generación vapor					

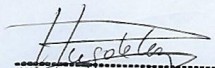
CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.
²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *Peláez Chávez, Víctor Hugo*
 Profesión: *Ingeniero Mecánico*
 Especialidad: *Ciencia de los Materiales*


 Víctor Hugo Peláez Chávez
 ING. MECÁNICO
 R. CIP. N° 197130

 Firma del Experto

Instrumento nro. 3: Registro de datos

SÓLIDOS DISUELTOS TDS EN AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERA 200 BHP JJK SAC			
Ítem	Sólidos disueltos en q agua ingreso a caldera, ppm	Sólidos disueltos en agua de caldera, ppm	
		Real	Max. Admisibles
1	160	4250	3500
2	175	4325	3500
3	165	5320	3500
4	170	5452	3500
5	172	4526	3500
6	161	4456	3500
7	159	4325	3500
8	161	4260	3500
9	188	4780	3500
10	167	5183	3500
11	155	4165	3500
12	196	4239	3500
13	166	4198	3500
14	163	4392	3500
15	176	4274	3500
16	165	4750	3500
17	171	4650	3500
18	174	4371	3500
19	147	4772	3500
20	156	4726	3500
21	165	4816	3500
22	160	5155	3500
23	158	5262	3500
24	168	5362	3500
Promedio	165	4667.04	3500.00

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres: *Valderrama Campos, Edwin Ronald*

Profesión: *Ingeniero Mecánico*

Especialidad: *Ciencias Térmicas*



 CIP: 109077
Firma del Experto

Anexo 11: Matriz de consistencia del estudio de investigación

Autor: ORELLANO INCA, MIGUEL ANGEL				
Título: "AUDITORIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA A CALDERA 200 BHP EN PLANTA JJK SAC PARA DESMINERALIZAR EL AGUA Y REDUCIR COSTOS DE GENERACION DE VAPOR"				
Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Metodología
¿En qué medida la desmineralización del agua a caldera de 200 BHP en base a Auditoría del Tratamiento	Determinar, en base a auditoría, las medidas técnicas a aplicar para mejorar la calidad del agua de alimentación a caldera de JJK SAC, para reducir el costo de generación de vapor	La desmineralización del agua a caldera de 200 BHP en base a auditoría del sistema de	Variable Independiente	1. Tipo de Investigación: Aplicada, pues se busca resolver un problema industrial
			Demineralización del agua a caldera	2. Nivel de Investigación
				3. Método:
				4. Diseño de la Investigación: Flujograma de procedimientos para desarrollar los objetivos específicos y
				5. Población: Sistemas de tratamiento de agua de alimentación a calderas de plantas de harina de
				6. Muestra: Sistema de tratamiento de agua de alimentación a caldera de Planta de harina de plumas JJK, Trujillo; La Libertad
				7. Técnicas: observación de procesos, mediciones de parámetros
	Objetivos Específicos		Variable Dependiente	8. Instrumentos: Entrevistas, encuestas, registros de datos
	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el flujo de purga actual de la caldera JJK, en kg/h • Determinar los sólidos minerales disueltos en el agua que ingresa a caldera, en ppm • Determinar la carga promedio de operación de la caldera y el flujo de agua de alimentación, promedio y nominal • Dimensionar y seleccionar el desmineralizador del agua a caldera. • Determinar la calidad del vapor generado, sin y con desmineralización del agua a calderas • Determinar el flujo de combustible con agua desmineralizada, así como el nuevo flujo de purga de la caldera. • Realizar un estudio económico: presupuesto, 		<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de calidad del agua a caldera, ppm • Aumento del rendimiento de la caldera, % • Reducción costo de generación de vapor, soles/TM 	