

TITULO

Mejoramiento de la Planta Desalinizadora de Agua de Mar en la Refinería de La

Libertad (a)

AUTORES

Roberto Cruz Game¹

Ignacio Wiesner Falconi²

¹Ingeniero Mecánico 2004.

²Director de Tesis. Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, posgrado México, curso Panamericano de Metalurgia, 1974, Investigador visitante CENIM-España, 1983, IPT-Brasil, 1985, Profesor de ESPOLE desde 1975.

RESUMEN

A la planta desalinizadora de agua de mar que tiene vital importancia en la refinería de petróleo de La Libertad la cual trabaja continuamente desde el año de 1971, se le realizó una reingeniería de los componentes de la misma a fin de tener nuevos índices de operación y se consiguió mejorarla logrando importantes ahorros en rubros tales como consumo de energía eléctrica y de vapor con el objeto de disminuir el costo de producción.

También se consiguió la reutilización del agua salada de enfriamiento de la planta de agua que se descargaba directamente al mar, para el enfriamiento de fluidos más calientes en la refinería, con lo cual se mejoró la confiabilidad del sistema de agua salada y se logró disminuir los daños de equipos de la refinería por paradas no programadas.

Se capacitó e incentivó al personal para solucionar inconvenientes y dar una respuesta inmediata en operación y mantenimiento. Además para disminuir los costos de los repuestos de los equipos rotativos que se importaban desde el exterior se consiguió fabricarlos en el país utilizando la tecnología nacional.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo comprende la aplicación de nuevas políticas empresariales en la refinería La Libertad, tendientes a la reducción de costos de producción en equipos principales y auxiliares. Para cumplir con éste cometido me correspondió hacer un estudio sobre la planta desalinizadora de agua de mar que suministra el agua para uso industrial y doméstico.

El uso de los principios de ingeniería para atacar los problemas de mejoramiento de la operación para mantener la producción nominal y disminuir los costos de

producción, fue mi primer cometido general y mis objetivos específicos tuvieron relación con el mejoramiento de los componentes de manejo de fluidos, los sistemas térmicos y la capacitación del personal.

También puse en consideración los altos gastos por la compra de repuestos importados de los equipos rotativos de la planta, y se consiguió fabricarlos en el país utilizando la tecnología nacional.

Por último siempre con la idea del ahorro energético se construye un pozo de succión de bombas, para la reutilización del agua salada que descarga la planta de agua, con el fin del enfriamiento de fluidos mas calientes en la refinería, con lo cual además disminuyeron los daños de equipos de la refinería por parada brusca y el costo de agua salada al suprimir de la operación una unidad de bombeo.

Se demostrará en éste trabajo que la mayoría de las acciones realizadas fueron positivas y aplicadas con pocos recursos y los resultados se vieron después de poco tiempo de aplicados.

CONTENIDO

CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

En éste capítulo se definen los problemas que existían en la planta de agua en el año de 1981 y que incidían en el volumen y en el costo de producción por lo que sobre la base de la información existente que no era muy completa, se logra tener índices estadísticos de la operación y de los componentes críticos de la planta desalinizadora de agua de mar, para tener una base de comparación en el futuro después de realizar las mejoras tanto en los equipos como en la capacitación del personal.

1.1 Descripción de la planta y su función dentro de la refinería

La planta de agua se encuentra ubicada dentro de la refinería de petróleo de Petroindustrial, en el cantón de La Libertad, de la provincia del Guayas. La planta abastece la demanda de agua de la refinería para uso industrial y doméstico, produciendo desde 1971 la cantidad de 680 m³ por día como valor nominal, dando un 70% para el uso industrial y el 30% para uso doméstico.

La planta de desalinización de agua de mar es del tipo de evaporación instantánea de múltiples etapas (MSF, del inglés Multi-Stage Flash distillation) de procedencia Inglesa (Aiton) **(b)**, del tipo recirculación y básicamente comprende los siguientes sistemas: Un sistema de enfriamiento, sistema de vacío, sistema de recirculación, sistemas de precalentamiento y de calentamiento, sistemas de condensado y del destilado, dosificación de químicos y de instrumentación para el control de la planta. Ver Figura No. 1 de la planta de agua.

1.2 Índices estadísticos de operación de la planta

A continuación se presentan los Gráficos 1a y 1b referente a la producción de la planta de agua desde 1973 hasta 1987 y desde 1988 hasta el 2003.

1.3 Costo de operación

Con el fin de facilitar una comprensión del estudio económico se presenta la Tabla No. I de los costos anuales de operación en 1981.

1.4 Componentes de la planta en condiciones críticas

La planta de desalinización de agua de mar presentaba las siguientes condiciones críticas, más importantes en el año de 1981:

- 1.4.1 Alto consumo de energía eléctrica a un precio del Kw-Hr alto (0.08 \$/KwH) obtenido por medio de 5 turbinas a gas de baja eficiencia térmica (12%) y obsoletas (1957, 1958, 1959, 1969 y 1970) que utilizaban como combustible el gas y ahora el diesel de bajo rendimiento del combustible de 4,4 Kw-Hr por galón.
- 1.4.2 La bomba de recirculación presentaba problemas de diseño, lo cual afectaba directamente al mantenimiento debido a que la bomba cavitaba con el respectivo desgaste y desbalance del impulsor .
- 1.4.3 La turbina a vapor de la bomba de recirculación operaba como alternativa de la bomba principal eléctrica y también presentaba problemas de operación, lo cual afectaba a la producción de la planta.
- 1.4.4 Los tubos de los condensos de la planta, estaban llegando a su tiempo de reemplazo por lo que era necesario programar su mantenimiento y mejorar su selección, considerando los nuevos materiales en el mercado.
- 1.4.5 A las bombas del destilado y del condensado era necesario cambiarlas por unas bombas que consideren los cambios efectuados a sus sistemas de distribución y de almacenamiento, además de optimizarlas.
- 1.4.6 El sistema de trampas de vapor presentaba deficiencias y perjudicaba a los eyectores de vacío y a las turbinas de vapor, que incidían en la producción de la planta por cuanto al disminuir ligeramente el vacío la producción se veía seriamente afectada, por lo cual era importante mejorarlo junto con el aislamiento térmico de las tuberías de vapor ya que el vacío se produce a través de los eyectores a vapor.

El sistema principal de agua salada no tenía una protección contra la formación de incrustaciones en el interior de las tuberías, con lo cual se reducía el área de flujo y las consecuentes pérdidas por fricción y disminución de la eficiencia, además del ataque corrosivo a la tubería. La capacidad máxima de almacenamiento del agua en el año de 1979 era insuficiente para casos de emergencia, por lo cual se decidió aumentar el stock de agua de 6 días a 10 días por seguridad en la operación de la refinería y por exigencias de la póliza del seguro de la refinería.

Considerando que la eficiencia global de la generación eléctrica aumentaba de un 12% en las unidades a un 50% al utilizar los gases de escape de las turbinas para producir vapor en las calderas y éste

vapor a su vez utilizarlo en la planta de agua, se decidió darle prioridad al uso de vapor como fuente de energía barata a la planta. La descarga del agua salada de enfriamiento de la planta de agua que se calentaba apenas unos 10 °C sobre la temperatura del mar y no tenía posibilidad de contaminarse, era enviada al mar por lo que se pensó en aprovecharla a través de un reservorio de agua salada para ser reutilizada en el enfriamiento de fluidos mas calientes en la refinería y a la vez suprimir del servicio a una de las tres bombas del muelle.

1.5 Nivel de capacitación del personal

Se presenta en el estudio el organigrama del personal donde se detalla el nivel de capacitación del personal con que contaba la planta de agua en el año de 1981.

CAPITULO 2

2. SOLUCIONES PROPUESTAS Y SU IMPLEMENTACIÓN

2.1 Componentes del sistema de movimientos de fluido en plan de reingeniería

2.1.1 Bombas centrífugas

Con los datos de las bombas y de la planta realizamos los cálculos respectivos para el NPSH disponible del sistema, TDH y del BHP. También sobre la base de la información disponible del fabricante de las bombas Ingersoll Rand **(c)**, referente a los materiales y a las condiciones del fluido, seleccionamos el material más adecuado.

2.1.2 Turbinas a vapor

Considerando que en general la energía próxima a su fuente de origen es menos cara que la que ha sido transformada un número de veces, entonces la energía de vapor es mas económica que la energía eléctrica (aproximadamente 3,6 veces, sin tomar en cuenta los costos de capital) **(d)** y también que el vapor utilizado para mover la turbina donde entrega su energía de presión para convertirla en energía de movimiento del eje de la bomba, tiene todavía su energía de calor latente y puede ser aprovechada para el calentamiento de la salmuera en la planta de agua, se decidió seleccionar dos nuevas turbinas para que accionen la bomba de recirculación y la bomba de destilado, pero además que trabajen como equipos principales y los equipos con motores eléctricos sean auxiliares con el propósito de disminuir los costos de producción de agua.

2.1.3 Tuberías

Se consideró modificar el diseño de la tubería de succión con el fin de disminuir las pérdidas por fricción para la bomba de recirculación **(e)**.

2.1.4 Pozo de succión para bombas

La descarga del agua de enfriamiento de la planta de agua se hacía por medio de un canal de aguas que recorría una distancia de unos 1.500 mt antes de llegar al mar; el volumen era igual a la suma del agua de enfriamiento mas la descarga de salmuera de la planta, lo que representaba un total de 1.573 GPM de agua salada y a una temperatura de 30°C hasta unos 40 °C como máximo, dependiendo de la temperatura del mar. Este gran volumen de agua se desperdiciaba al regresar al mar, lo cual tenía energía potencial ya que se encontraba a una altura de 20 mt sobre el nivel del mar y a una distancia de 1.118 mt desde las bombas de succión del muelle, además era agua salada sin posibilidad de contaminación y solamente tenía un incremento máximo de 10 °C, también se consideró que se encontraba a una distancia de la refinería de 80 mt y que podría ser utilizado para el enfriamiento de fluidos mas calientes como la gasolina y el diesel que se encontraban a una temperatura de 100 °C y a 280 °C respectivamente.

Otro punto a favor del proyecto era la ventaja de permitir un tiempo de parada menos brusco térmicamente de la refinería, al existir una falla eléctrica en las bombas del muelle, con lo cual se quedaba súbitamente sin enfriamiento de agua salada en la refinería y por lo tanto ocurrían choques térmicos en los equipos.

2.2 Componentes de los sistemas térmicos en proceso de reingeniería

A continuación se presentan los siguientes grupos de componentes de los sistema térmicos de los procesos de reingeniería: trampas de vapor, tubos de condensos y tuberías.

2.2.1 Trampas de vapor (f)

2.2.2 Tubos de condensados

Considerando que para el año de 1982 la planta de agua tenía mas de 10 años de operación continua y por lo tanto debía planificarse la provisión de tubos necesarios para el cambio y mantenimiento de los condensadores, precalentador, condensador de eyectores y el de gases incondensables, se decidió analizar el tubo mas adecuado sobre la base del precio, grado de ensuciamiento y de las propiedades del material (g).

2.2.3 Tuberías de vapor y aislamiento térmico

Las tuberías principales de vapor de 6, 4 y 2 pulgadas de diámetro se encontraba con el aislamiento en malas condiciones por su deterioro con el tiempo y por el continuo pisar de los trabajadores en las operaciones de mantenimiento, por lo tanto se decidió cambiar a un

material nuevo resistente, más eficiente al aislamiento térmico y a un precio conveniente que exista en el mercado **(h)**.

2.3 Rediseño y nueva implantación de componentes racionalizados

2.4 Plan de capacitación de personal

2.5 Pruebas de funcionamiento y monitoreo de la planta mejorada

2.5.1 Pruebas de funcionamiento

Describiremos las fechas de inicio y pruebas de funcionamiento de los diferentes equipos y procesos que entraron en el plan de reingeniería de la planta de agua.

No. EQUIPO	FECHA INICIO/PRUEBA		RESULTADO
1 BOMBA ELECTRICA RECIRCULACION	MAY. 85	MAR.86	POSITIVO
2 BOMBA CONDENS.	FEB. 86	ABR. 87	POSITIVO
3 BOMBA DESTILADO	FEB. 86	ABR. 87	POSITIVO
4 TURBINA A VAPOR RECIRCULACION	FEB. 86	JUN. 1992	POSITIVO
5 TURBINA A VAPOR DESTILADO	MAR. 92	SEP. 1999	POSITIVO
6 TUBERIAS	MAY. 82	SEP. 82	POSITIVO
7 POZO DE SUCCION	OCT. 84	MAR. 86	POSITIVO
8 TRAMPAS DE VAPOR	JUN. 83	OCT. 83	POSITIVO
9 TUBOS DE CONDENSOS	FEB. 83	MAY.1993	NEGATIVO
10 AISLAMIENTO TERMICO	JUN. 83	OCT. 83	POSITIVO
11CAPACITACION PERSONAL	NOV. 81		POSITIVO

2.5.2 Monitoreo de la planta de agua

2.5.3 Balance de masa y energía

CAPITULO 3

3. EVALUACION DE LOS RESULTADOS

En éste tercer capítulo se realiza una evaluación de los resultados desde el punto de vista técnico y económico, tomando en cuenta primero los equipos y procesos y después en forma global la planta de agua.

3.1.- Con relación a la optimización técnica

- 3.1.1 Bombas recirculación, destilado y condensado
- 3.1.2 Turbinas a vapor
- 3.1.3 Tuberías
- 3.1.4 Pozo de succión para bombas

- 3.1.5 Trampas de vapor
- 3.1.6 Material tubos condensos
- 3.1.7 Aislamiento térmico
- 3.1.8 Capacitación

3.2 Con relación al costo beneficio de la planta actual

- 3.2.1 Costo beneficio de las bombas
- 3.2.2 Costo beneficio de las turbinas a vapor **(i)**
- 3.2.3 Costo beneficio del pozo de succión
- 3.2.4 Costo beneficio de las trampas de vapor **(j)**
- 3.2.5 Costo de selección material tubos condensos
- 3.2.6 Costo beneficio del aislamiento térmico **(k)**
- 3.2.7 Costo de producción de la planta actual. Tabla II
- 3.2.8 Ahorro anual de producción en la planta de agua

Se presentan los valores de ahorro y pérdida de cada equipo para poder calcular el valor del ahorro anual de la producción de agua en la planta.

No.	EQUIPO	SERVICIO	AHORRO - PERDIDA
1	BOMBA RECIRCULAC. ELECTRICA	MAR. 86	16.821 USD
2	BOMBA CONDENSADO	ABR. 87	1.500 USD
3	BOMBA DESTILADO	ABR. 87	6.683 USD
4	TURBINA A VAPOR RECIRCULACION	JUN. 92	65.882 USD
5	TURBINA A VAPOR DESTILADO	SEP. 99	4.835 USD
6	TUBERIAS	SEP. 82	
7	POZO DE SUCCION	MAR. 86	91.056 USD
8	TRAMPA DE VAPOR	OCT. 83	1.217 USD
9	TUBOS DE CONDENSADO	MAY. 93	-28.532 USD
10	AISLAMIENTO TERMICO	OCT. 83	662 USD
11	CAPACITACION PERSONAL	CONTINUA	
TOTAL AHORRO ANUAL			160.124 USD

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se consiguieron los ahorros de energía eléctrica y vapor por medio de equipos más eficientes y modernos, también una mejor operación de la planta de agua al utilizar en mayor medida la energía de vapor.

En electricidad se consiguió el ahorro anual máximo de un consumo de 692.600 Kw-Hr en 1985 a un consumo de 35.036 Kw-Hr en el 2002 lo que representa el valor de 657.564 Kw-Hr, dando un ahorro económico de 92.059 USD.

En vapor se consiguió el ahorro anual máximo de un consumo de 70.781 Tm (186.194 MMBtu) en 1984 a un consumo de 48.511 Tm (127.611 MMBtu) en 1994 lo que representa el valor de 22.270 Tm (58.583 MMBtu), dando un ahorro económico de 135.401 USD.

- El costo del combustible es un factor determinante en establecer el costo de producción debido a que afecta en gran medida a los costos de la energía eléctrica y del vapor (alrededor de un 80%); y por lo tanto el uso de calor residual o de energía de deshecho es una manera positiva de reducir drásticamente los costos de producción del agua.
- Al reutilizar el agua salada a través del pozo de succión se consiguió un importante ahorro económico, al disminuir los daños en los equipos de la refinería por parada brusca térmica y además se logró suprimir de la operación a una de las tres bombas del muelle sin afectar la producción. .
En electricidad se consiguió el ahorro anual máximo de un consumo de 3'114.005 Kw-Hr en 1987 a un consumo de 2'078.4440 Kw-Hr en el 2003, lo que representa el valor de 1'035.565 Kw-Hr, dando un ahorro económico de 144.979 USD.
- Con la capacitación al personal de la planta en los ámbitos técnicos y humanístico se logró una mejora en la comprensión de los parámetros de operación y de una mejor actitud del personal hacia el trabajo en equipo.
- Al haber fabricado ciertos repuestos (impulsores, anillos, bocines, etc.) de los equipos rotativos en talleres de fundición locales se consiguió a partir del año de 1982 un ahorro económico en el orden de 3 a 4 veces menos el costo de importación del fabricante, aún cuando pueden haber errores al principio.

4.2 Recomendaciones

- En toda planta de procesos por más eficiente que sea en su año de fabricación, siempre es factible después de cierto tiempo de operación, lograr ahorros de energía ya sea por el camino de reemplazar los equipos originales por otros nuevos más eficientes o también por el lado de una operación más productiva desde el punto de vista técnico y también de la parte del incentivo al personal de trabajadores. Se recomienda poner en estudio todas las acciones aquí efectuadas y que se resumen en los siguientes ítems.
 - o Hacer seguimiento de las operaciones de los equipos en relación a eficiencia y ensayar nuevas condiciones de trabajo para establecer posibilidad de mejorarlas.

- Dar oportunidad a la producción artesanal e industrial local a fin de sustituir piezas de desgaste de equipos rotativos, que tienen costos elevados a nivel internacional.
 - Hacer plan de mejoramiento de la condición de capacitación del personal involucrado en la operación, en el mantenimiento y en la reparación de los equipos.
- Todo ingeniero de mantenimiento debe conocer que cualquier mejora en el aspecto técnico de los equipos debe ir de la mano con una mejora en el aspecto económico ya que si no existe un ahorro económico substancial, los directivos de la empresa no tomarán una decisión positiva para la ejecución del proyecto.
 - Considero que a veces existen decisiones técnicas aparentemente correctas en los primeros años de un proyecto ejecutado pero después de un tiempo mayor puede ser que esa decisión inicial no haya sido la correcta a largo plazo, por lo tanto se debe analizar con mayor detenimiento e incluir todos los factores involucrados.

REFERENCIAS

- a.- 1. Roberto Cruz, "Mejoramiento de la planta desalinizadora de agua de mar de la refinería de La Libertad" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, 2004)
- b.- 2. Process Plant División, Aiton & Co. Ltd., "Operating and Maintenance Instructions for Water Desalination Plant" (Derby England, 1970)
- c.- 3 Form 70510-F, "Type S Horizontal split case centrifugal pump" (Ingersoll Rand Pumps, 1981)
- 4 Sheet 604, "APW vertical turbine pumps" (Ingersoll Rand Company, Septiembre 1979)
- 5 Sheet 215, "HOC/HEC Chemical pumps" (Ingersoll Rand Company, Pump group, May. 1984)
- d.- 6 Wayne M. Warner and Donald R. Finnegan, "Select a seawater-desalination process" (Aqua-Chem, Inc. Chemical Engineering, Febrero 7, 1983)
- e.- 7 C. R. Westaway and A. W. Loomis, "Cameron Hydraulic Data" (15 ava. Edición, Ingersoll Rand, 1977)
- f.- 8 "Guía de Productos", Spirax Sarco a su Servicio (Sarco Company, Inc., 1986)
- 9. "Hook-Up Designs for steam and fluid systems" (Sarco Company, Inc., 14 ava. Edición – Septiembre 1974)
- g.- 10 Symposium the University of Piacenza, Italy, "Advanced Stainless Steel for Seawater Applications" (Associazione Italiana di Metallurgia, Febrero 1980)
- h.- 11 Nicholas P. Cheremisinoff, "Heat Transfer Pocket Handbook" (Gulf Publishing Company, 1984)
- i.- 12 Catalog 200A, "Energy Saving Turbines" (Coppus Engineering Corporation, 1984)
- j.- 13 "Evaluation of Steam Leaks" (Information Sheet No. 3, Spirax Sarco)
- k.- 14 "Ingeniería en aislamiento Térmico. Ahorro energético" (Amoter Cía. Ltda., La Llave S.A)