

REINGENIERÍA DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA REFINERÍA LA LIBERTAD

¹Williams Naranjo Rosales, ²Manuel Helguero Gonzáles

²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral 1979,

Resumen

El presente trabajo muestra el diseño y dimensionamiento del sistema contra incendios, con la selección de todos los equipos y maquinaria, las implantaciones necesarias, desde el punto de vista práctico, con la finalidad de que la refinería cuenta con un sistema independiente contra incendios tomando en cuenta que la protección contra el fuego, tiene como objetivo asegurar la vida de las personas, las instalaciones y el medio ambiente a un costo razonable y que dicha protección habría de ser considerada como una conjunción de medidas, tales como el diseño y dimensionamiento de las partes constitutivas, tales como el reservorio, sistema de tuberías, sistema de bombeo, los sistemas de drenaje, el control de medidas contra el fuego, la prevención del inicio y propagación del fuego, así como sus aspectos organizativos, siendo todas estas medidas complementarias, de tal manera que al faltar alguna de ella o no haber sido valorada como le corresponde se perderá la eficacia del sistema.

Summary

The present work shows the design and sizing of the system against fires, with the selection of all the equipment and machinery, the necessary implantations, from the practical point of view, with the purpose of which the refinery counts on an independent system against fires taking into account that the fire protection must assure the life the people, the facilities and environment at a reasonable cost and that this protection would have to be considered as a collection of measures such that the design and sizing of the constitutive parts as reservoir, system of pipes, system of pumping, the drainage systems, the control of measures against the fire, the prevention of the beginning and propagation of the fire, as well as its organizational aspects, being all these complementary measures, in such a way that when one of them is missing or does not have value concerning the loss of the effectiveness of the system.

INTRODUCCION

La Refinería “La Libertad” es la empresa encargada de la refinación del petróleo, obteniendo derivados de calidad, para satisfacer la demanda de combustibles a nivel nacional. El sistema contra incendios que tiene refinería “La Libertad”, presenta deficiencias, por ejemplo:

- a. El sistema no es independiente, es decir el suministro de agua utilizado para enfriamiento de tanques en caso de incendio, se reparte entre varias plantas.
- b. Cambios de diámetro en la tubería principal, todo esto produce un déficit tanto de presión como de flujo.
- c. El medio de extinción y enfriamiento es el agua salada de mar, y esto provoca problemas de corrosión en las tuberías, equipos y accesorios, a través de la cual esta se desplaza.
- d. La capacidad total de 4400 m³ de agua, da e entender que se cuenta con una capacidad suficiente para combate contra incendio, pero por el hecho de tener estaciones de bombeo y reservorios de agua dispersos por todas las áreas que comprende la refinería, convierte a este sistema en deficiente.

CONTENIDO

Ante esta situación, el Departamento de Proyectos de la Refinería decidió la construcción de un nuevo sistema, pero utilizando las líneas de tuberías existentes.

Este trabajo consiste en el diseño del nuevo sistema, que comprende reservorio, sistema de tuberías, sistema de bombeo y revisión general al sistema con que cuenta la refinería, basándonos en normas NFPA y a las mismas de PETROINDUSTRIAL.

CONSTRUCCIÓN DEL RESERVORIO

El reservorio de agua se determino en base a todas las demandas de agua para el sistema es decir enfriamiento, extinción con espuma y protección adicional.

Cantidad de Agua para el Sistema de Enfriamiento

**TABLA I
TASA DE APLICACIÓN DE AGUA**

| Tasa de Aplicación | Área de Aplicación |
|-------------------------|---|
| 1,04 m ³ /h | Por cada metro de circunferencia para enfriamiento de las paredes |
| 0,098 m ³ /h | Por cada metro cuadrado sobre la superficie del techo |

Estas tasas de aplicación en el cuadrante de mayor consumo en un radio de acción de 2D, siendo D, el diámetro del tanque de mayor consumo.

Así, el tanque de mayor consumo de acuerdo al analisis realizado resulto el T9 y los tanques que se verán afectados son el T6 y el T10 para lo cual tenemos.

**TABLA II
DATOS DE ANALISIS AL TANQUE 9**

| Tanque | Diámetro (metros) | Factor de llenado (e) |
|--------|-------------------|-----------------------|
| 9 | 34.44 | 0.8 |
| 6 | 32.61 | 0.8 |
| 10 | 32.61 | 0.8 |

Por lo que el caudal requerido para enfriamiento es:

$$Q_{AE} = 1.04\pi e D_9 + \frac{1.04\pi e D_6}{2} + \frac{0.098\pi D_6^2}{4} + \frac{1.04\pi e D_{10}}{2} + \frac{0.098\pi D_{10}^2}{4}$$

$$Q_{AE} = (90.01 + ((42.61) + (81.84))) + ((42.61) + (81.84)) m^3 / h$$

$$Q_{AE} = 338.91 m^3 / h$$

Cantidad de Agua para el Sistema de Extinción.

La cantidad utilizada para el sistema de extinción esta dada por:

$$Q_A = \frac{A_C \times T_A \times t_D \times \%a}{100} \quad \text{Donde:}$$

$$A_C = 931.57 m^2 \quad T_A = 0.246 \frac{m^3 / h}{m^2}$$

$$t_d = 0.91 h \quad \%a = 97$$

$$Q_A = \frac{931.57 \times 0.246 \times 0.91 \times 97}{100} m^3 / h$$

$$Q_A = 202.28 m^3 / h$$

Cantidad de Agua para Protección Adicional.

Se estimo la cantidad 11 m³, que aplicados durante 0.5 horas tendríamos:

$$Q_{AA} = 22 m^3 / h$$

De esta manera la cantidad de agua total seria la suma de todos los requerimientos:

$$Q_{AT} = Q_{AE} + Q_A + Q_{AA}$$

$$Q_{AT} = (338.91 + 202.28 + 22) m^3 / h$$

$$Q_{AT} = 563.19 m^3 / h \quad (2479.92 \text{ gpm})$$

Este caudal debe ser capaz de abastecer mínimo durante seis horas, por razones de seguridad se planteo un tiempo de 8 horas, así el volumen de líquido en el reservorio debería ser:

$$V_R = 563.19 \times 6$$

$$V_R = 3379.14 \text{ m}^3$$

Una vez analizado esta capacidad se concluyo que el reservorio deberla ser de 4000 m³ y el caudal para el sistema de bombeo 2500 gpm, el reservorio estará ubicado en los terrenos de Crucita con una profundidad de 1.5 metros, dándole un gradiente o pequeña inclinación hacia el lugar o punto donde se ubicara la caseta de bombeo.

Alrededor del reservorio se construirá un muro de forma trapezoidal, siguiendo el mismo ángulo del terraplén el cual tendrá una base inferior de 1.1 mts. y una base superior de 0.5 mts., el cual se lo ira armando y compactando con capas de 0.20 mts.

Para impermeabilizar este reservorio se utilizara una geomenbrana de un milímetro de espesor, homogénea negra, a base polietileno de alta densidad con un mínimo de 97% de polímero y 2% de negro carbono.

Se realizara una excavación tipo zanja de 0.4x0.4 mts. alrededor del reservorio, retirada 1.1 mts. del filo el talud, con la finalidad de anclar la geomenbrana, una vez que se coloque esta, volverá ser rellenada y apisonada esta zanja.

Considerando el alto riesgo que representa un reservorio abierto para las personas que transitan por el lugar, se construirá una baranda de protección con tubos de acero reforzado de 2" de diámetro, construyendo plintos y riostra alrededor de todo el reservorio en forma de tubos postes con tubos horizontales formando dos anillos los cuales estarán a 0.5 mts. y .01 mts. del piso respectivamente

CALCULO DEL SISTEMA DE TUBERÍA

Calculo de Sistema de Tubería Principal

Para el cálculo del tramo de la tubería principal que va a ser construido, nos basaremos en la norma SH – 18 de Petroindustrial que nos dice que debemos utilizar el método de Hazen – Williams por lo que tenemos:

$$D^{2.63} = \frac{Q}{7.63 \times 10^{-8} C ((P_1 - P_2)/L)^{0.54}}$$

Donde:

Q = Caudal en m³ / h

P₁ – P₂ = Caída de presión a través de la tubería

C = 140 para tubería nueva.

L = longitud de la tubería en metros.

La caída de presión, se estima en 0.49MPa (50 psi), debido a que el cabezal de descarga de la bomba de acuerdo a las normas es 1.47 MPa. (150 psi) y la presión de trabajo es de alrededor de 0.98MPa. (100 psi), por lo que utilizando estos datos tenemos.

$$D = 254.92 \text{ mm (10.03 pulg)}$$

Por lo que el diámetro nominal de la tubería principal según la formula es 10", y se comprobó de acuerdo al cálculo de la caída de presión, a la velocidad recomendada de 3 m/seg. y el diámetro calculado, de la siguiente manera:

$$P_1 - P_2 = 45.40 \text{ psi}$$

$$P_1 - P_2 = \gamma \times \left(\frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + \frac{fLV^2}{2Dg} + \frac{K_L V^2}{2g} \right)$$

$$P_1 - P_2 = 183.4 \times \left(\frac{10^2}{64.4} + 26.24 - 32.80 + \frac{0.013 \times 4167.64 \times 10^2}{0.833 \times 64.4} + \frac{5.7 \times 10^2}{64.4} \right)$$

$$P_1 - P_2 = 8327.28 \text{ lbr/pie}^2 \quad \text{o} \quad P_1 - P_2 = 45.40 \text{ psi.}$$

Si las pérdidas de presión hubieren sido mayores, el criterio anterior de selección del diámetro no hubiera sido valido.

En base a que las perdidas de presión resultaron menores que las supuestas en la formula de de Hazen – Williams, el diámetro escogido para el tramo de tubería principal que se va a construir es de 10 pulg.

Este diámetro concuerda con el del sistema ya existente, por lo que no hay que modificar el diámetro de la tubería principal. Lo que quedaría por construir es el tramo de tubería de 800 metros desde Crucita hasta La Libertad.

Calculo del Sistema de Tubería Secundaria.

La tubería secundaria esta constituida por los denominados anillos que forman un sistema cerrado, con el objetivo de mantener el nivel de presión y para abastecer un caudal requerido en puntos no cercanos a la tubería principal. En la unidad "La Libertad" y "Crucita" el diámetro existente es de 6 pulg.

A continuación se presenta la tabla III donde se presenta los niveles de caudal optimo elaboradas por la NFPA 20 para combate contra incendio.

**TABLA III
TAMAÑO MINIMO DE TUBERÍA DE ACUERDO A NFPA 20**

| Caudal (gpm) | Diámetro (plg) | Caudal (gpm)l | Diámetro (plg) |
|--------------|----------------|---------------|----------------|
| 25 | 1 ½ | 1000 | 6 |
| 50 | 1 ½ | 1250 | 8 |
| 100 | 2 | 1500 | 8 |
| 150 | 2 | 2000 | 10 |
| 200 | 3 | 2500 | 10 |
| 250 | 3 ½ | 3000 | 12 |
| 300 | 4 | 3500 | 12 |
| 400 | 4 | 4000 | 14 |
| 500 | 5 | 4500 | 14 |
| 750 | 6 | 5000 | 16 |

Conociendo que el caudal transportado por la tubería principal es de 2500 gpm y que este se repartirá entre esta y la tubería secundaria cumple que:

$$Q = Q_P + Q_S \quad Q_P + Q_S = 2500$$

De la tabla vemos que la tubería principal conserva un nivel óptimo hasta un caudal de 2000 gpm, por lo que la tubería secundaria, estaría en capacidad de transportar 500 gpm a una velocidad recomendada por la NFPA entre 2.4 y 3.3 m/s (8 y 11 pies /seg) de ahí:

$$Q_S = 2500 - Q_P \quad Q_S = 2500 - 2000$$

$$Q_S = 500 \text{ gpm} \text{ o } Q_S = 0.0315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tomando una velocidad promedio de 2.8 m/s y realizando el cálculo tenemos:

$$Q_S = \frac{\pi D_S^2 V}{4}$$

$$D_S = \sqrt{\frac{4 \times Q_S}{\pi \times V}} \quad D_S = \sqrt{\frac{4 \times 0.0315}{\pi \times 2.8}}$$

$$D_S = 0.12 \text{ m} \quad D_S = 5 \text{ pulg.}$$

En base a este calculo el diámetro de la tubería secundaria seleccionada debería ser de 5 pulgadas, lo que concuerda con la tabla de la NFPA, pero comercialmente no encontramos esta medida y siendo la existente de 6 pulg. Se decidió mantener esta tubería, para acabar de cerrar los anillos del sistema.

Selección de tuberías para sistema de agua pulverizada.

Estas tuberías van colocadas en los tanques de techo flotante, constituyéndose en anillos alrededor de esta, con el fin de enfriar las paredes en caso de que ocurra algún incendio, los tanques de Crucita no poseen este sistema y lo que quedaría de calcular es caudal necesario para enfriamiento de acuerdo al diámetro del tanque, se presenta la clasificacion en la tabla IV, y la selección de los diámetros en la tabla V

**TABLA IV
CLASIFICACION DE TANQUES EN FUNCION DE DIAMETROS**

| | Diámetro (pies) | Diámetro Máximo (pies) |
|----|--------------------|---------------------------|
| G1 | D > 164 | 172 |
| G2 | 98 < D < 164 | 120 |
| G3 | 49 < D < 98 | 89.23 |
| G4 | D < 49 | 44.98 |

TABLA V
DIÁMETRO DE TUBERÍA SELECCIONADO PARA SISTEMA DE AGUA PULVERIZADA

| | Q (gpm) $1.4\pi Df$ | Q (gpm) Por línea | Diámetro (pulg) |
|----|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| G1 | 529.54 | 264.77 | 3 |
| G2 | 369.45 | 184.72 | 3 |
| G3 | 274.71 | 137.35 | 2 |
| G4 | 138.48 | 138.48 | 2 |

Análisis de tubería existente para descarga sobre el Techo.

Este sistema de tuberías solo se lo utiliza para tanques de techo cónico, con el objetivo de enfriar el techo del tanque y las paredes, cuya tubería va desde la red principal hacia la parte superior del centro del techo cónico. La refinería cuenta con este sistema, cuyos valores de diámetro son los siguientes.

TABLA VI
DIAMETRO DE TUBERIA PARA DESCARGA SOBRE EL TECHO EXISTENTES EN REFINERIA.

| | Diámetro (pulg.) |
|----|---------------------|
| G1 | - |
| G2 | 4 |
| G3 | 3 |
| G4 | 2 |

Utilizando los mismos criterios de caudal necesario para enfriamiento y utilizando la tabla III, se realizó la siguiente selección.

TABLA VII
DIÁMETRO DE TUBERÍA SELECCIONADO PARA DESCARGA SOBRE EL TECHO

| | Q (gpm) $(0.04\pi D^2/4)$ | Diámetro (pulg.) |
|----|-------------------------------|---------------------|
| G1 | - | - |
| G2 | 401 | 4 |
| G3 | 250.18 | 3 |
| G4 | 63.53 | 2 |

Estos valores concuerdan con la existente, por lo que no hay motivo de cambio de esta tubería.

CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE BOMBEO.

En los aspectos referentes a la selección, instalación y operación de la bomba se aplico lo establecido en el código NFPA 20, salvo alguna recomendación del Departamento de Proyectos de la Refinería.

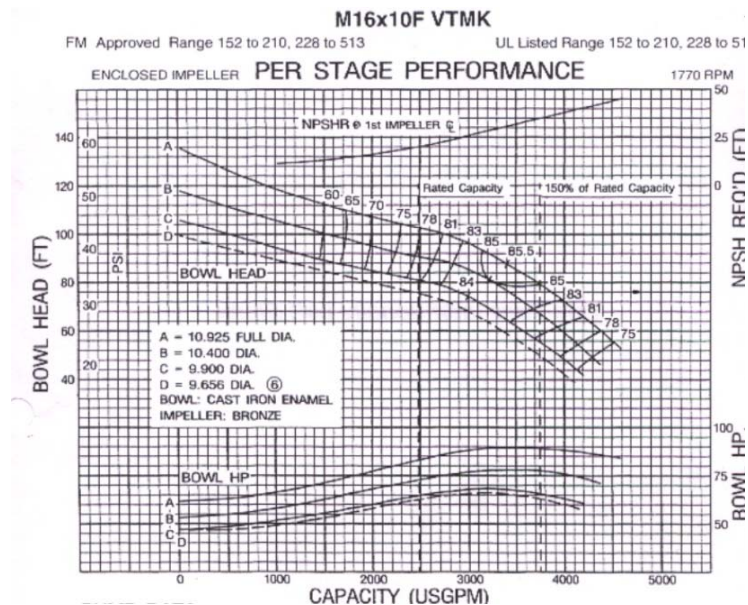
Diseño del Sistema de Bombeo Principal.

Para nuestro sistema se escogió bombas verticales, debido a que se tiene una altura de succión negativa. Las características que deben cumplir las bombas verticales es que deben ser capaces de suministrar un 150 % de su capacidad nominal a un 65% de su presión nominal y a cero flujo la presión no deberá exceder el 140% de la presión nominal.

Para dicha selección nos referimos al fabricante ITT que cuenta con un manual dedicado exclusivamente a bombas contra incendio, utilizando un caudal de diseño de 155 psi y 2500 gpm y el fabricante nos recomienda el modelo M16 X 10F de 4 etapas.

TABLA VIII

CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA PRINCIPAL



Luego se escogió el diámetro del impeler en base a los características mencionadas anteriormente y la eficiencia de la bomba.

**TABLA IX
SELECCIÓN DE LA BOMBA PRINCIPAL**

| | Q_{150} / P_{65} (gpm) | P_{140} / Q_0 (psi) | η (%) | Bowl HP (Hp) | BHP (Hp) |
|---|-----------------------------|--------------------------|---------------|--------------------|-------------|
| A | 4600 | 240 | 78 | | |
| B | 4100 | 220 | 79 | | |
| C | 3750 | 188 | 81 | 260 | 320.98 |
| D | 3500 | 176 | 82 | | |

Siendo $Q_{150} = 3750$ gpm y $P_{140} = 217$

Por lo que modelo de bomba escogido es ITT M16 X 10F de 4 etapas, diámetro C.

Calculo de la Bomba de Presurización (Jockey).

La bomba de presurización que escogeremos servirá para mantener presurizada la línea, es decir esta no actuara en caso de incendio, sino cuando por alguna razón, las tuberías sufran alguna caída de presión del orden del 10 %, esta se encienda para volver a presurizar la línea, siendo accionada por motor eléctrico a una presión similar a la de funcionamiento para evitar que en el momento de accionamiento de la bomba principal ocurra el denominado golpe de ariete.

De acuerdo a los requerimientos el cabezal debe ser similar al de la bomba principal 155 psi, es decir 360 pies.

Por lo que la bomba seleccionada es el modelo T41M-3

CONCLUSIONES

Una vez finalizado este estudio y habiéndose analizado los problemas y deficiencias de la refinería, en cuanto al sistema contra incendios, se muestra las medidas a implementar para mejorar el nivel de seguridad industrial de la planta industrial.

REFERENCIAS

NARANJO WILLIAMS, "Reingeniería del Sistema Contra Incendios para La Refinería La Libertad", (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral,2005)

KARоба GEORGE, "Diseño de Sistema Contra Incendio para Planta elaboradora de Lubricantes", (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral,1996)

CRANE, Flujo de Fluidos en válvulas accesorios y tuberías, editorial McGraw Hill, México 1989.

FOX,R.W - MCDONALD,A, Introducción a la Mecánica de Fluidos, editorial McGraw-Hill, México 1990.

ITT - FIRE PUMPS, Curvas de selección de Bombas contra Incendio.1996.

KENNETH CNAUGHTON, "Bombas Selección, uso y mantenimiento" editorial McGraw-Hill, México 1989.

MUNSON BRUCE R., Fundamentos de Mecánica de Fluidos, editorial Limusa, México 1999

UNIDAD DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL - PETROIDUSTRIAL, Compendio de Normas de Seguridad e Higiene Industrial.

Ing. Manuel Helguero Gonzáles

Director de Tesis