



República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento de Mecánica

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Mecánico

Título: *Evaluación de los parámetros de trabajo del sistema contra incendio de la base de combustible en la empresa “Cmdte. Raúl Días Arguelles”.*

Autor: *Gustavo Romero Mena.*

Tutor: *Ms. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso.*

Ing. Raúl Guilarte Garrido.

Moa - 2012

“Año 54 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Gustavo Romero Mena autor de este trabajo de Diploma y los tutores; Master en Ciencias Técnicas: Héctor Luis Laurencio Alfonso y el Ingeniero Raúl Guilarte Garrido declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y a la empresa "Cmdte. Raúl Días Arguelles" para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

Gustavo Romero Mena

Ms.C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Ing. Raúl Guilarte Garrido

Pensamientos

“...Frecuentemente digo que cuando usted puede medir lo que está hablando y expresarlo en número, usted sabe algo de ello, pero cuando usted no pueda expresarlo en número su conocimiento es pobre y de una calidad poco satisfactoria; puede ser el principio del conocimiento, pero en sus pensamientos usted apenas ha avanzado al estado de ciencia, cualquiera que sea el asunto de que se trate...”

William Thompson

No hay en la tierra más vía honrada, que la que uno se abre con sus propios brazos.

José Martí

El autor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a mis tutores Ms. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso y Raúl Guilarte Garrido por apoyarme en el transcurso de la realización de este trabajo así como a los profesores del Departamento de Mecánica por los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

A mis padres Madelgni Mena Téllez y Gustavo Romero Regalado, por su total entrega para poder llegar a ser un profesional de valores éticos. A mis abuelos Enrique Mena Torres, Delia Regalado Salazar y Oneida Téllez Columbié por su dedicación diaria a mi persona. A mis tíos Santiago Romero Regalado y su esposa Yuliannis Oquendo Urgelles; a Yani Mena Téllez y su esposo Vladimir Hernández; a mi tía Enoyda Ricardo Téllez y a u esposo Misael Ricardo a Omar Mena y su esposa Marbelis; a Ernesto Leyva y a su esposa Lili Hernández y a mi amiga La Negra por su ayuda desinteresada en mis trabajos.

A mis amigos: Arián E. Leyva Hernández, Dainis E. Leyva Legrá, Fidielqui Terrero Peña, Wilquer Borges, Rolando Cedeño, Anderson Leyva, Elmer García Romero, Ricardo Regalado Martínez y Yosmel Ramírez Batista.

Un agradecimiento muy especial para el hermano de la vida Edgar Cuenca Roche.

A mi hermanita Mariselys Romero Mena, que ha sido motivo de mi inspiración en el transcurso de mis estudios.

A mis primos Alonso Pérez Ricardo y Carlos Pérez Ricardo los cuales han sido mis hermanos en toda circunstancia.

A mis amistades y compañeros de escuela que con su apoyo desinteresado han contribuido a que alcanzara esta meta.

A todos mis seres queridos:

Muchas gracias.

El autor

DEDICATORIA

A mis padres, a mi hermana, a mis abuelos, a mis tíos, a mis compañeros, a mis vecinos y demás seres queridos en general, ya que constituyen el motivo de inspiración para alcanzar las metas propuestas.

A La Revolución Cubana por haberme dado la posibilidad de poder forjarme como un buen profesional.

A los nombrados, a quienes imperdonablemente no he recordado, a los que creyeron en mí y a los que no, a todos les dedico este éxito.

El autor

Resumen

El presente trabajo de diploma viene condicionado por problemas surgidos en la empresa “Cmdte. Raúl Díaz Argüelles” con el desconocimiento de los parámetros de trabajo de la red hidráulica de la base de combustible. Se realiza una búsqueda bibliográfica en correspondencia con el tema, dando lugar a muy escasos trabajos los cuales no se encuentran muy bien argumentados.

Se efectuó una breve descripción de la red hidráulica del sistema contra incendio de la base de combustible de la entidad antes mencionada, también se mencionan algunas de las propiedades de los fluidos. Se utilizó el Software Water Cad para la evaluación de los parámetros de trabajo de la red de agua. Luego se realizó el análisis de los resultados y posteriormente se efectuó la valoración económica donde la mayor pérdida en caso de incendio es de la espuma de incendio con un valor de 51158,16 CUC, representando el 64 % de las pérdidas. La menor es el costo de bombeo con un valor de 0,159 CUC.

Abstract

This paper comes conditioned from problems emerged in the “Commander Raúl Díaz Argüelles” Company with the ignorance of the parameters of work of the hydraulic net of the fuel base. It is carried out a bibliography search in correspondence with the topic, giving place to a small works which they are not very well argued.

A brief description of the hydraulic net of the system against blaze of the fuel base of the mentioned entity was effected; also, it is mentioned some of the fluids properties. The Water Cad Software for the evaluation of the parameters of work of water net was used. Then, it was done the analysis of the results and later the economical valuation where the more loss in the case of fire is the wildfire with a value of 51158, 16 CUC which represent the 64 % of losses. The smallest is the cost of pump with a value of 0,159 CUC.

CONTENIDO	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico de la investigación	5
1.1 Introducción	5
1.2 Estado del arte sobre las redes de distribución de fluidos	5
1.2.1 Trabajos precedentes relacionados con el bombeo del agua	6
1.3 Propiedades de los fluidos para la extinción de incendios	9
1.3.1 Espuma para incendios	12
1.4 Principio y funcionamiento de las bombas centrífugas	14
1.4.1 Acoplamiento de bombas para sistemas contra incendios	14
1.5 Redes de tuberías	16
1.5.1 Redes ramificadas o abiertas	16
1.5.2 Redes en mallas	17
1.6 Sistema contra incendio	18
1.6.1 Equipo de bombeo para los sistemas contra incendios	20
1.7 Flujo tecnológico de la red del sistema contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles	21
1.8 Conclusiones del capítulo	23
Capítulo 2: Materiales y métodos	24
2.1 Introducción del capítulo	24
2.2 Procedimiento para el diseño y revisión de una estación contra incendios	24
2.3 Características generales de la bomba principal que debe llevar un sistema contra incendios	25
2.3.1 Características constructivas	25

2.3.2 Características hidráulicas	25
2.3.3 Instalación	26
2.3.4 Características técnicas de las bombas de agua del sistema contra incendio en la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles	28
2.3.5 Características técnicas de la red	30
2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema de agua	30
2.4.1 Metodología de cálculo según Water Cad	30
2.5 Implementación del método utilizado por Water Cad	33
2.6 Metodología utilizada para la curva característica del sistema de espuma	40
2.7 Cavitación en bombas centrífugas	41
2.8 Funcionamiento y utilización de la instrumentación utilizada para el trabajo de la sistema contra incendios en la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles	43
2.9 Conclusiones del capítulo	43
Capítulo 3. Valoración de los resultados técnico, económico e impacto ambiental	44
3.1 Introducción del capítulo	44
3.2 Procedimientos previos propuestos a ejecutar antes de la arrancada normal de la sección del sistema automático contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles	44
3.2.1 Arrancada normal de la sección del sistema automático contra incendio	44
3.2.2 Parada normal de la sección del sistema automático contra incendio	45
3.3 Resultados obtenidos a partir del Water Cad	45
3.3.1 Resultados de las bombas	46
3.3.2 Resultados de la simulación de las válvulas	46
3.3.3 Resultados de la simulación en las tuberías	48

3.4 Resultados de la curva característica del sistema de espuma	53
3.4.1 Recomendaciones generales previas	56
3.5 Resultados de la cavitación para las bombas de agua	56
3.6 Valoración económica	57
3.7 Impacto ambiental en caso de incendios	59
3.7.1 Efecto del fuego sobre los suelos	59
3.7.2 Condiciones ambientales en la entidad analizada	60
3.7.3 Medidas para la protección y seguridad de los trabajadores y la instalación	61
3.8 Conclusiones del capítulo	62
Conclusiones Generales	63
Recomendaciones	64
Bibliografías	65
Anexos	

Introducción

Los incendios son una de las mayores catástrofes naturales y en muchos casos son provocados por el hombre. Durante los últimos años han aumentado su frecuencia, causando daños irreparables tanto en vidas humanas como en pérdidas materiales y medioambientales.

Dentro de este campo cabe destacar los incendios en plantas industriales, plataformas petroleras, explosiones químicas, etc., que han producido accidentes industriales mayores, con alta de seguridad humana y de planes de emergencias adecuados lo que ha provocado situaciones de pérdidas irreparables, desde la imagen de la empresa hasta desastres cuantiosos (Martínez y Barreto, 2007).

Es por esto que la empresa Raúl Díaz Argüelles es una compañía confiable de alta calidad, sobre todo en el almacenamiento del combustible para otras empresas del níquel, tiene la necesidad de contar con un sistema contra incendio debido a normas internacionales de seguridad.

Además la protección contra incendio es un área en la que la mayoría de los ingenieros mecánicos pueden aportar una contribución significativa. En muchas instalaciones, el ingeniero en jefe puede hacer las funciones de comisario o jefe de incendios, e incluso en las plantas grandes, existe un ingeniero dedicado a tiempo completo a la seguridad o a la protección contra incendios, el cual debe conocer el problema de los incendios, los métodos de prevención y los sistemas de protección (Martínez y Barreto, 2007).

La cantidad de máquinas de flujo de distintos tipos fabricadas por la industria de los países técnicamente desarrollados, se expresa en millones de unidades al año; la energía eléctrica utilizada para el accionamiento de los mismos constituye una parte esencial del balance energético de los países. Por esta razón, las investigaciones teóricas y experimentales, dirigidas al perfeccionamiento de los procesos de transporte y al aumento del rendimiento de las máquinas de este tipo, tienen una gran importancia (Cherkasski 1986).

Las bombas centrífugas son el tipo de bombas que se utilizan con mayor frecuencia en la industria para el transporte de líquidos, como son materias primas, subproductos, productos intermedios, servicios auxiliares, productos terminados etc. Se pueden utilizar para un intervalo muy amplio de gastos desde 5 a 8 l/min hasta 500,000 l/min; con cabezas o presiones de descarga de unos cuantos milímetros de mercurio hasta de cientos de atmósferas. Además de lo anterior, se tienen las ventajas de tener bajo costo de operación y de mantenimiento, ocupan poco espacio y generan bajos niveles de ruido.

Para el desarrollo de la selección y la detección de sobre consumo energético de los sistemas de transporte industrial de fluidos por bombas centrífugas, es básica la obtención del punto de funcionamiento del sistema que está dado por la intercepción entre las características de carga-capacidad de los equipos de bombeo y los de resistencia hidráulica, capacidad del sistema de tuberías; de donde puede obtenerse el flujo, la potencia y la eficiencia de operación de los equipos de bombeo. Con tal propósito, tradicionalmente los especialistas encargados de estas tareas, desarrollan un método gráfico, con los consiguientes inconvenientes de poca precisión, elevado tiempo de ejecución de la tarea, que por demás exige un cúmulo de conocimientos de Mecánica de los Fluidos y experiencias prácticas en su realización, así como limitaciones importantes en cuanto al análisis de diversas alternativas y condiciones de operación variable cuando el sistema presenta diferentes viscosidades de fluidos a transportar, lo cual se agudiza en aquellos sistemas donde resulta necesaria la regulación de la operación. Una de las empresas de nuestro país que afronta un problema con el bombeo de agua y espuma del sistema contra incendios es la empresa Raúl Díaz Argüelles. Dicha instalación requiere la evaluación de los parámetros de trabajo del sistema contra incendios.

Situación problemática:

En la empresa Puerto Moa Raúl Díaz Argüelles, la parte de sistema contra incendios de la base de combustible consta de dos tanques de 700 m³ de agua cada uno y dos balsas de espuma. En este momento se desconocen los parámetros de trabajo del sistema por lo que se necesita conocer los parámetros de trabajo de la instalación. Con la

implementación de este trabajo se conocería los parámetros de trabajo de dicho sistema, el gasto de energía y el tiempo necesario para la ejecución.

Problema:

Desconocimiento de los parámetros de trabajo del sistema contra incendios de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles.

Hipótesis:

Al establecer un procedimiento para la evaluación del sistema contra incendios de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles y al mismo tiempo se mejoran las condiciones de trabajo y operación del sistema contra incendios, entonces es posible incidir en la toma de decisiones contra incendios y la energía asociada a este proceso.

Objetivo:

Evaluación de los parámetros de trabajo y gestión eficiente del agua del sistema contra incendios en la base de combustible de la empresa Puerto Moa con la utilización de las herramientas necesarias en función de las condiciones actuales.

Objeto:

Sistema contra incendios de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles.

Campo de acción:

Evaluación del sistema contra incendios de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles.

Objetivos específicos:

- Estudiar el comportamiento del sistema contra incendios, aplicando métodos que nos permitan conocer las zonas más vulnerables en cuanto a pérdidas.
- Establecer los parámetros técnicos, así como también las bases teóricas necesarias para realizar la evaluación del sistema de bombeo.
- Proponer la aplicación de medidas para lograr el uso eficiente del agua acorde con la situación económica actual.

Tareas de investigación:

- Evaluación y estudio del proyecto inicial.
- Recopilación y análisis de datos estadísticos y de diagnóstico.
- Implantación de los índices de consumo de agua para el sistema contra incendios basado en las características reales del sistema.
- Análisis económico e impacto ambiental.

Métodos de investigación

Inductivo-deductivo para el establecimiento del procedimiento de cálculo que caracterice al sistema contra incendios.

Técnicas computacionales para el análisis estadístico y representación gráfica de las variables (Software, Water Cad).

Capítulo 1. Marco teórico de la investigación

1.1 Introducción

Las leyes que permiten el estudio de las redes de distribución de agua para sistemas contra incendios, se presentan las particularidades de su diseño, el estado actual de su desarrollo a partir de las recientes investigaciones realizadas y la necesidad de emplear técnicas computacionales para la evaluación y diseño de redes contra incendios.

En tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

A partir de la revisión bibliográfica relacionada al tema de instalaciones de redes hidráulicas para sistemas contra incendios se establece el estado del arte.

1.2 Estado del arte sobre las redes de distribución de fluidos

El deseo del hombre de comprender los fenómenos en los fluidos, surgió cuando tuvo problemas de suministro de agua, de irrigación, de navegación y de energía hidráulica. Con sólo una rudimentaria apreciación de la física de los fluidos, cavó pozos, construyó canales, operó ruedas hidráulicas y dispositivos de bombeo rudimentarios y, al aumentar el tamaño de sus ciudades, construyó acueductos cada vez más grandes, los que alcanzaron su mayor dimensión y grandeza en la ciudad de Roma. Pero, a excepción de las ideas de Arquímedes (287-212 A. de J.C.) sobre los principios de flotación, en la mecánica de fluidos moderna aparece muy poco del escaso conocimiento de los antiguos.

En Cuba no comienza un desarrollo de los estudios hidráulicos sino hasta después de la revolución en que dichos estudios constituyen una de las bases principales del progreso científico técnico en Cuba. Sin embargo, en la época colonial, se debe recordar al ingeniero Francisco de Albear, proyectista y constructor del acueducto que surte de agua a nuestra capital y a los hidráulicos anónimos que durante dos siglos desarrollaron el sistema de regadío conocidos como la comunidad de regante de Güines (Labarte, 20011).

Un sistema de distribución de agua es un conjunto de elementos encargados de transportar fluido líquido desde los puntos de suministro hasta los puntos de consumo. Está constituido por tuberías y otros elementos como son: válvulas, elementos de unión, elementos de medición, entre otros, que deben ser dimensionados adecuadamente para suministrar los caudales demandados, para lo cual será necesario mantener en la red

presiones adecuadas. El resto de los componentes del sistema de distribución (depósitos, estaciones de bombeo, forma de regulación, entre otros) condicionarán su diseño y cálculo, por lo que en general no se puede tratar la red como un elemento aislado (Ravinovich, 1986; Pérez, 1986; Nekrasov, 1990; Aguirre et al., 1996 b).

Las redes de distribución de agua se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios, entre los que se destacan:

- ✓ Ramificadas: redes que para una situación definida de consumos en los nodos, pueden calcularse los caudales circulantes por las tuberías al aplicar la ecuación de continuidad.
- ✓ Malladas: redes en las cuales los caudales circulantes por las conducciones no quedan definidos al utilizar la ecuación de continuidad, sino que es necesario aplicar las ecuaciones de equilibrio de malla.
- ✓ Mixtas: redes en las que se puede calcular de forma inmediata los caudales circulantes en las arterias ramificadas, pero no en la malla.

Teniendo en cuenta el sistema de inyección y regulación:

- ✓ Depósitos a presión atmosférica, elevados o semienterrados.
- ✓ Inyección directa a la red mediante grupos de bombeo de velocidad fija y/o variable.

1.2.1 Trabajos precedentes relacionados con el bombeo de agua

En la empresa Puerto Moa “Cmdte. Raúl Díaz Argüelles” no se han desarrollados trabajos con relación al estudio de la red hidráulica del sistema contra incendio de la base de combustible, sin embargo en otras empresas se han desarrollados trabajos relacionados con el estudio y transporte de agua que pueden ser de gran utilidad en el presente trabajo.

Farrill (1967) aborda sobre un proyecto de recirculación del agua de enfriamiento de los tanques de Lixiviación y Lavado. Plantea además que el proyecto resuelve la recirculación del agua enfriadora para 25 tanques. El proyecto supone la recirculación sin enfriamiento del agua recirculada. El agua es llevada a un tanque de concreto el cual está conectado a la estación de bombas para suministrar el agua de reemplazo.

S/R. “Diseño de una planta de tratamiento de agua con el objetivo de disminuir los problemas de incrustación en las torres absorbedoras de amoniaco de la planta de

Lixiviación y Lavado". Se toma como conclusión que la instalación de esta planta tendría la ventaja de disminuir los problemas de incrustaciones que se presentan en las torres absorbedoras de amoníaco, con el consiguiente ahorro en costos de limpieza y mantenimiento, al mismo tiempo que se eliminará la dificultad de la escasez de mano de obra para este trabajo.

Aportaron considerablemente los trabajos de Nekrasov (1986), que aborda la temática relacionada con la teoría general de la hidráulica, en esta publicación existe una amplia conceptualización de las leyes y principios físicos relacionados con el transporte hidráulico y constituyen un pilar fundamental para la comprensión de la misma en sus más diversas formas, en este trabajo se exponen diferentes situaciones prácticas donde se vinculan los fenómenos de movimientos hidráulicos con los equipos e instalaciones existentes en las industrias metalúrgicas, así como, en otras empresas donde se aplica este método de transporte.

Welty (1976) y Bandala (2001), efectuaron una evaluación en una tubería recta en la que el flujo es del tipo laminar o viscoso, según estos autores la resistencia se origina por el esfuerzo tangencial o cortante de la viscosidad entre las láminas o capas adyacentes y las partículas que se mueven en recorridos paralelos con diferentes velocidades. Además plantean que en la pared de la tubería las partículas se adhieren a ella y no tienen movimiento; deducen que tanto las láminas como las partículas en movimiento en la tubería están sujetas a un esfuerzo cortante viscoso que la disminuye y la aproximan al centro de la tubería, por lo que la variación de la velocidad a través de la tubería, está totalmente determinado por el esfuerzo viscoso entre las capas.

Resulta muy importante el trabajo realizado por Karelin (1975), el cual plantea que en las bombas centrífugas se puede dividir el fenómeno de la cavitación en 2 regímenes críticos. El primer régimen corresponde con el momento de inicio de la cavitación; en las curvas de cavitación este régimen se caracteriza por el inicio de la disminución de la carga y la eficiencia. El segundo régimen crítico corresponde con el momento de caída abrupta de los parámetros de trabajo de la bomba; en las curvas de cavitación este segundo régimen está caracterizado por la caída precipitada de los parámetros de la bomba. Las curvas características para analizar los 2 regímenes de cavitación es una dependencia de los

parámetros: carga, eficiencia y potencia en función de la reserva cavitacional, curvas no divulgadas en los pasaportes de la máquina. Este autor plantea además que el trabajo de las bombas en regímenes de cavitación no debe permitirse, porque afecta los parámetros de trabajo, daña el equipo y termina por destruirla, disminuye el rendimiento e incrementa el consumo energético y que en la succión de una bomba debe garantizarse una cantidad de energía crítica (carga efectiva Δh_s , por encima de la tensión de vapor), para vencer las resistencias hidráulicas en el tramo hasta los álabes del rodete; garantizando la velocidad y aceleración suficientes a la entrada del impulsor.

Pérez (2000), analiza procedimientos que permiten valorar y consecuentemente elegir las bombas centrífugas a partir de los datos técnicos aportados por el fabricante. La cavitación es un fenómeno frecuente en el trabajo de estas máquinas, influye considerablemente en los indicadores técnicos - económicos y depende no sólo del sistema, sino también de la calidad del diseño y construcción del equipo. No menos importancia tienen los materiales con los que se construyen estos equipos. Además, en el año 2004 define que la reserva requerida de cavitación $NPSH_R$, es un parámetro que depende de las peculiaridades constructivas de la bomba y es mayor para bombas con el rodete en voladizo, que para las que tienen el rodete entre apoyos.

El coeficiente o factor de fricción es un parámetro de diseño importante al considerar las pérdidas de energía mecánica en el transporte de fluidos a través de tuberías, ya sea para evaluar la potencia necesaria, o para estimar el diámetro del conducto, entre otros aspectos (Ibarz et al., 2001), (Vélez, 2003). Este coeficiente de fricción puede obtenerse con la pérdida de presión que se da en un segmento de tubo y/o accesorio, o bien puede evaluarse por medio de modelos, o gráficas propuestas para tal propósito (Charm, 1971); (Macedo, 2001). La información que existe ha sido desarrollada principalmente para fluidos de tipo newtoniano.

Quishpe (2005), realiza un análisis integral de todo el sistema de abastecimiento de agua del hospital Isidro Ayora, este análisis incluyó la determinación de las causas por las que se produce la presencia del choque Hidráulico en la instalación, elevado consumo energético del sistema hidráulico. Además de realizar un análisis para verificar si el sistema de tuberías es el adecuado y su distribución es la correcta.

1.3 Propiedades de los fluidos para la extinción de incendios

Se denomina fluido a la sustancia que, bajo la acción de un esfuerzo cortante, se deforma continua e irreversiblemente. Los gases, vapores y líquidos, son fluidos por excelencia. No obstante, existen en la naturaleza algunos materiales de apariencia sólida (por ejemplo, la plastilina, la pasta dental y otros) que fluyen a través de conductos al ser sometidos a la acción de esfuerzos cortantes. Estos materiales, desde un punto de vista técnico, son fluidos, ya que pueden deformarse continua e irreversiblemente (Vennar, 1986).

La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento, constituye La Mecánica de los Fluidos y La Hidráulica.

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerza tangencial o cortante. Un fluido newtoniano es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante sin importar que tan pequeño sea. Un esfuerzo cortante es la componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie, es el esfuerzo cortante promedio sobre dicha superficie (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kutz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

Todos los fluidos son comprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

✓ Densidad de un fluido:

La densidad de un fluido se define como su masa por unidad de volumen y se muestra en la ecuación 1.1, expresándose en kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

✓ Peso específico:

El peso específico se encuentra relacionado con la masa y la gravedad por unidad de volumen y se puede calcular por la expresión 1.2.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1.2)$$

En los líquidos puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión.

Esta presión puede calcularse a través de la ecuación de estado de los gases como:

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad (1.3)$$

Donde:

ρ - densidad del fluido; (kg/m^3),

R - constante universal de los gases; ($8,314510 \text{ J/mol.K}$),

T - temperatura del fluido; ($^{\circ}\text{C}$).

Luego despejando a ρ de la ecuación 1.3 y sustituyéndola en la ecuación 1.4, quedaría:

$$\gamma = \frac{P \cdot g}{R \cdot T} \quad (1.4)$$

✓ Volumen específico:

Es el volumen por unidad de masa y es por lo tanto el recíproco de la densidad (ecuación 1.5).

$$V \ddagger \frac{1}{\rho} \quad (1.5)$$

✓ Gravedad específica:

Se suele designar como SG (specific gravity, por sus siglas en inglés) y se define como la relación de la densidad del fluido entre la densidad del agua a una temperatura dada y puede calcularse utilizando la fórmula 1.6.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1.6)$$

✓ Viscosidad de un fluido:

Es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática, viene definido por la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad del fluido.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu g}{\gamma} \tag{1.7}$$

Los valores de la viscosidad absoluta, densidad y viscosidad cinemática en relación a la temperatura del agua y a una presión atmosférica estándar, se especifican según tabla 1.1.

Tabla 1.1. Relación de la viscosidad y densidad del agua.

Presión atmosférica estándar (1 atm) agua temperatura (°C)	viscosidad absoluta (Pa·s)	viscosidad cinemática (m²/s)	densidad (kg/m³)
20	1,002.10 ⁻³	1,004.10 ⁻⁶	999,6
30	0,797.10 ⁻³	0,801.10 ⁻⁶	996,5
40	0,653.10 ⁻³	0,658.10 ⁻⁶	987,9

✓ Presión de vapor:

Cuando tiene lugar el fenómeno de la evaporación dentro de un espacio cerrado, la presión parcial a que dan lugar las moléculas de vapor se llama presión de vapor. Depende de la temperatura, aumentando con ella.

✓ Tensión superficial:

La tensión superficial (σ) de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en un número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie (J/m²). Este trabajo es numéricamente igual a la fuerza tangencial de contracción que actuase sobre una línea hipotética de longitud unitaria en la superficie. En los líquidos la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, pero no se ve afectada apreciablemente por las variaciones de presión.

✓ Gasto:

Es la cantidad de líquido que pasa a través de la sección viva de flujo en la unidad de tiempo. Dicha cantidad se puede medir en una unidad de volumen, de peso o de masa, por lo que existen: el gasto volumétrico Q, el gasto en peso G, y el gasto en masa (Nekrasov, 1986).

$$Q = A \cdot V \rightarrow \text{Gasto volumétrico} \quad (1.8)$$

✓ Capilaridad:

Es la elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar, vienen producidos por la tensión superficial dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo. Los líquidos ascienden por tubos que mojan (cohesión < adhesión) y descienden por tubos que no mojan (cohesión > adhesión). La capilaridad tiene importancia en tubos estrechos < 10mm, para valores mayores de 12 mm es despreciable.

✓ Número de Reynolds:

Este número adimensional se denomina número de Reynolds en honor al sabio inglés que estableció este criterio y se designa según la ecuación 1.9.

$$R = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (1.9)$$

Donde:

V - es la velocidad del fluido; (m/s),

D - diámetro de la tubería; (m),

ν - viscosidad cinemática; (m²/s).

1.3.1 Espuma para incendios

1. Descripción: Espumógeno sintético formador de película acuosa (AFFF) para el combate de fuegos de hidrocarburos. Consigue extinciones rápidas y aporta una buena protección frente al reencendido, tanto en el combate de fuegos de combustibles líquidos (hidrocarburos) como sólidos.

2. Utilización: Empleo en sistemas de extinción fijos y móviles, con equipos de espuma de baja expansión (lanzas manuales, monitores, cámaras de espuma, etc.) y con equipos no aspirantes (pulverizadores, lanzas chorro-niebla, sprinklers, etc).

3. Dosificación: La proporción de disolución es del 6 % en agua dulce o de mar. Puede dosificarse con inductores en línea, sistemas de bombeo y presión balanceada, depósitos de membrana, lanzas autoaspirantes, etc.

4. Características: Las características típicas del concentrado se reflejan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Características de la espuma

- Peso específico a 20 °C, g/cm ³	1,007
- pH a 20 °C	8 - 8,5
- Viscosidad, mPa*s a 20 °C	2
- Temp. de congelación, °C	< -1
- Temp. mínima de uso, °C	0

Nota: Se fabrican también variantes con temperaturas mínimas de empleo de -10 y -20 °C.

5. Forma de suministro: Se suministra en garrafas de 20 l, bidones plásticos de 200 l, contenedores de 1000 l o en camión cisterna.

6. Propiedades de las disoluciones: Las características típicas de sus disoluciones al 6 % son:

Tensión superficial de la solución a 20 °C, mN/m: 16,5

Tensión interfacial frente al:

- heptano a 20 °C, mN/m: 2,6
- ciclohexano a 20 °C, mN/m: 2,5

- Índice de expansión >8

- Tiempo de drenaje 25 %, min >2

7. Eficacia: Este producto cumple los requerimientos de la normas UL-162 en su apartado 10 (ensayos de fuego clase B) para los espumógenos AFFF en hidrocarburos y está certificado según EN 1568-3 como clase IC, tanto en agua dulce como en agua de mar. A continuación se muestran los resultados de los ensayos de fuego tabla 1.3.

Tabla 1.3 Resultados de los ensayos de fuego

EN-1568-3, (heptano, 2.5 l/min-m²)	Extinción	BB 25%
6 %, AD, Violenta	2:30	-
6 %, AD, Suave	2:19	11:34
6 %, AM, Violenta	1:43	-
6 %, AM, Suave	2:17	12:16

8. Almacenaje: El concentrado debe almacenarse a temperaturas comprendidas entre 0 °C y +50 °C, preferiblemente en sus envases originales.

Puede almacenarse también en premezcla diluida en agua dulce. El producto no tiene fecha de caducidad.

El concentrado no debe mezclarse con otros espumógenos sin haber verificado previamente su compatibilidad; las espumas pueden utilizarse simultáneamente.

1.4 Principio y funcionamiento de las bombas centrífugas

El órgano principal de trabajo de la bomba es una rueda de paletas que, girando a altas velocidades, comunica el líquido que llega a la bomba a una presión elevada y lo empuja con una velocidad aumentada a la cámara espiral. Entre las paletas de la rueda y el flujo existe una interacción de fuerza, debido a la cual la energía del mando se transforma en la del flujo. La cámara espiral tiene la forma de caracol y está destinada para captar el líquido que sale del rodete y transformar parcialmente su energía cinética en la de presión. El rodete de trabajo de la bomba consta de dos discos, uno de los cuales está fijado por medio de un casquillo sobre el árbol y el otro que tiene un orificio central para dejar pasar el líquido, está acoplado con el primero por medio de los álabes. El líquido se aproxima al rodete a lo largo de su eje de rotación, a continuación se dirige al espacio entre los álabes y después de pasarlos sale por la hendidura entre los discos del rodete.

1.4.1 Acoplamiento de bombas para sistemas contra incendios

Las bombas centrífugas constituyen el 80 % de la producción mundial en comparación a la fabricación de bombas de desplazamiento positivo, pues son más adecuadas para

manejar una cantidad mayor de líquido. En Cuba, todas las industrias poseen al menos una bomba centrífuga (Ramos, 1989).

La asociación o acoplamiento de las bombas centrífugas puede llevarse a cabo de dos formas:

En paralelo: Cuando todas las impulsiones de las bombas desembocan en el mismo colector. En este caso la altura manométrica de elevación es la misma y el caudal la suma de los caudales de cada bomba (figura 1.1).

En serie: La impulsión de una bomba constituye la aspiración de la siguiente. Todas las bombas bombean el mismo caudal, en tanto que la altura manométrica final es la suma de todas las alturas (figura 1.2).

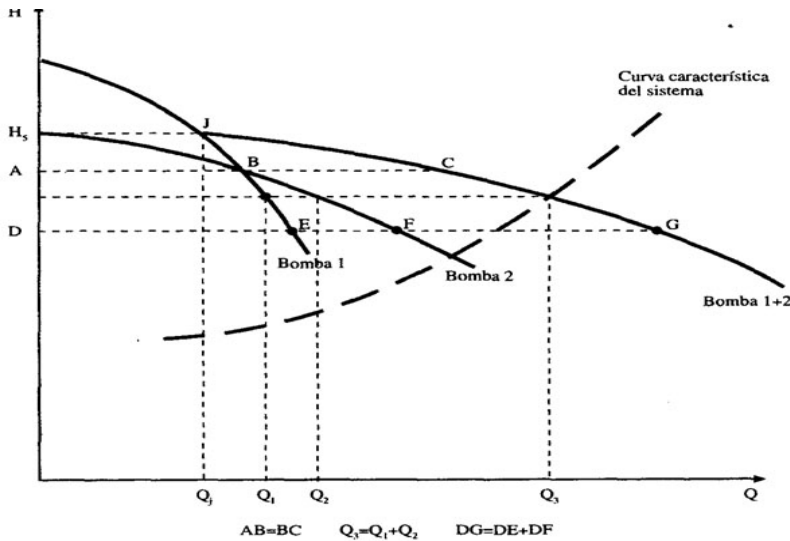


Figura 1.1: Esquema de 2 bombas en paralelo.

Fuente: Ramos (1989).

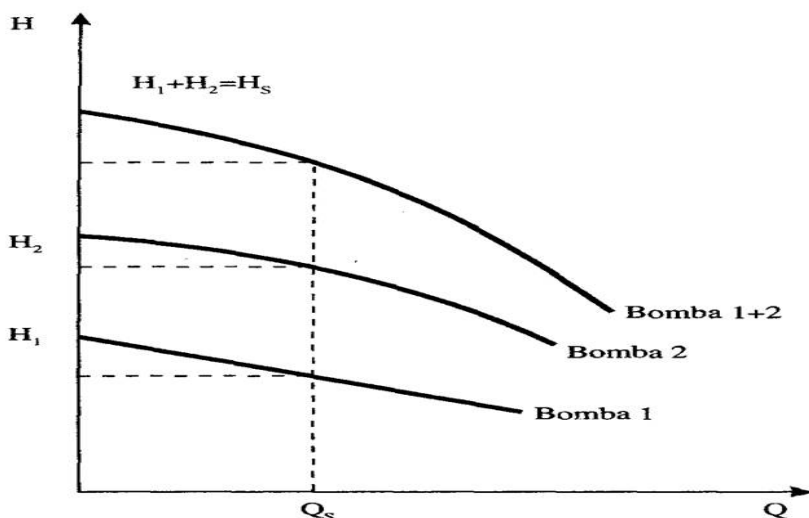


Figura 1.2: Esquema de 2 bombas en serie.

Fuente: Ramos, (1989).

Para garantizar que la evaluación de la bomba sea adecuada y que las medidas de ahorro de energía sean aplicables, es necesario obtener información general de la operación de la bomba y su conexión.

1.5 Redes de tuberías

Las redes de tuberías pueden ser de dos tipos:

- a) Redes ramificadas o abiertas,
- b) Redes en mallas.

1.5.1 Redes ramificadas o abiertas

Las redes de distribución ramificadas, tienen como característica que el agua discurre siempre en el mismo sentido. Las redes ramificadas se componen esencialmente de tuberías primarias, las cuales se ramifican en conducciones secundarias y éstas, a su vez, se ramifican también en ramales terciarios. Los puntos donde las tuberías se dividen se denominan **Nudos del sistema**.

Las arterias tendrán una longitud máxima de 1 000 m y seguirán el eje de los núcleos. Los distribuidores tendrán una longitud máxima de 300 m (ramales ciegos).

El sistema ramificado reúne las siguientes ventajas:

- ✓ Ser el más sencillo de calcular, ya que al estar definido el sentido de circulación del agua, puede precisarse con exactitud, el caudal que circulará por cada tubería, lo cual facilita, enormemente, el cálculo de los diámetros.
- ✓ Resulta a primera vista más económico.

Sus inconvenientes son:

- ✓ Una rotura puede originar el entorpecimiento e incluso el corte general, de la casi totalidad, de la distribución.
- ✓ Los extremos o finales de la ramificación presentan el inconveniente de que en ellos el agua queda estancada y se hace necesario, para evitar contaminaciones, efectuar frecuentes descargas (ya sea por medio de bocas de riego o llaves de descarga).
- ✓ La economía que resulta del menor desarrollo (menor número de kilómetros de la red) es más bien aparente que real, ya que en este caso será necesario contar con diámetros mayores, puesto que la alimentación de cada tramo no se verifica más que por un solo lado.
- ✓ En las redes ramificadas el sentido de circulación del agua puede determinarse fácilmente ya que el agua puede llegar a cada punto por un solo camino. Otro de los inconvenientes que presenta este tipo de red es que las pérdidas de carga resultan mayores ya que el líquido tiene un solo camino para llegar a un lugar determinado, por tanto, el consumo del flujo o caudal se incrementará en la medida que las pérdidas de carga sean mayores.

1.5.2 Redes en mallas

Para evitar las inconvenientes de las redes ramificadas se utilizan las redes en mallas, las cuales se pueden obtener uniendo entre sí los extremos libres de las tuberías ramificadas o a punto de otros ramales, es decir, que las tuberías principales se comunican unas con otras, formando circuitos cerrados y se caracterizan por el hecho de que la alimentación de las tuberías puede efectuarse por sus dos extremos indistintamente, según se comporten las tuberías adyacentes, de manera que el sentido de la corriente no es siempre, forzosamente, el mismo.

Otra de sus características es que, un punto cualquiera de la red puede abastecerse por varios caminos, lo que hace que se reduzcan las pérdidas de carga, y que por otra parte una interrupción determinada no afecta a otros puntos aguas abajo ya que puede abastecerse por otro camino.

La separación máxima entre los lados opuestos de una malla será de 900 m y la mínima de 250 m. La superficie máxima de una malla será de 30 Ha y la mínima de 9 Ha.

La red quedará dividida en sectores mediante llaves de paso, de manera que, en caso necesario, cualquiera de ellos pueda quedar fuera de servicio y de este modo facilitar las operaciones de limpieza y de mantenimiento que son necesarias efectuar con carácter periódico.

El sistema mallado, tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Libertad en el sentido de la circulación del agua.
- ✓ Mejor repartición de la presión.
- ✓ Mayor seguridad en el servicio, ya que una avería en un punto determinado no acarrea, como en el caso anterior, un corte de suministro, pues el agua puede conducirse por otras tuberías de la malla, dejando aislado el tramo en reparación.

Los inconvenientes son los siguientes:

- ✓ Para el cálculo de la red, es necesario establecer, de antemano y por hipótesis, el sentido en el que circulará el agua.
- ✓ El montaje de la red, resulta más costoso cuando se trata de una red ramificada.

1.6 Sistema contra incendio

Un sistema de protección contra incendio es un sistema que incluye dispositivos, soportería, equipos y controles para detectar fuego o humo, para hacer actuar una señal y para suprimir el fuego o humo. Los dos objetivos principales de la protección del fuego son salvar vidas y proteger las propiedades. Un objetivo secundario es minimizar las interrupciones de servicio debido al fuego (Martínez y Barreto, 2007).

Actualmente existen varias normativas que fijan los requisitos mínimos para la protección de incendios, que se divide en dos grandes áreas, la pasiva que evita el inicio del fuego o

su propagación, llegado el caso y la activa que ya es el uso directo de extintores, bocas de incendio y rociadores. Una prevención activa de incendios depende en gran medida del diseño y operación de la planta de tal manera que se minimicen los riesgos de un accidente.

El tipo más común de sistemas de protección contra incendios es el que se basa en el uso de agua. Por lo tanto, resulta esencial que se disponga de un suministro de agua adecuado y bien mantenido. El sistema de suministro de agua de la planta, será la primera fuente que utilice la brigada contra incendios de la planta o el departamento de bomberos. El agua debe proporcionarse con el flujo y la presión necesarios para que se activen los sistemas de aspersores automáticos y para poder utilizar las mangueras contra incendios, además de los requisitos normales de la planta. En las redes de tuberías se recomienda que la tubería forme un circuito cerrado en forma de red y minimizar las pérdidas por fricción que sea posible (Martínez y Barreto, 2007).

Las bombas contra incendios son en esencia, iguales a las bombas normales. Las consideraciones adicionales correspondientes a las bombas contra incendio se presentan en las norma NFPA 20. Los factores que deben tomarse en cuenta con relación a este tipo de bombas son:

- Uso del equipo señalado para bombas contra incendio
- Uso de accesorios aprobados
- Capacidad adecuada para satisfacer la demanda de propagación del incendio
- Operación automática
- Ubicación segura para que el servicio sea ininterrumpido

Para efectos de protección contra incendios, el sistema de rociadores es un sistema integrado de tuberías diseñado de acuerdo con las normas de ingeniería para protección contra incendios. La porción del sistema de rociadores sobre el nivel del suelo consiste en una red tuberías de tamaño especial, diseñada tomando en cuenta los factores hidráulicos, que se instala en el edificio, estructura o área, por lo general a nivel del cielorraso, a la que se conectan los aspersores de acuerdo con un patrón sistemático. El

sistema suele activarse con el calor proveniente de un incendio y descarga agua sobre el mismo (Martínez y Barreto, 2007).

1.6.1 Equipo de bombeo para los sistemas contra incendios

El equipo de bombeo está formado por un grupo de bombeo principal o por varios con capacidad total igual a la de este.

En los sistemas de agua contra incendios, el sistema de bombeo está formado fundamentalmente por los siguientes elementos:

- a) Equipos de bombeo principal.
- b) Equipos de bombeo auxiliar (jockey), con sus motores correspondientes.
- c) Equipos complementarios (grupo hidroneumático, valvulerías, instrumentación, controles, etc.).

El equipo de bombeo principal responderá a las exigencias de consumo y presión de agua requerida.

El equipo de bombeo auxiliar (jockey) responderá fundamentalmente para mantener, de forma automática, la instalación a una presión constante, reponiendo las fugas que se permitan en la red contra incendios. El equipo de bombeo auxiliar podrá sobredimensionarse para que pueda alimentar alguna pequeña demanda de agua, como la originada por uno o dos rociadores, etc.

Los equipos de bombeo principales serán de arranque automático y manual, y con parada únicamente manual. No se permiten utilizar para mantener la presión del sistema debiéndose instalar, si es necesario, un pequeño grupo de bombeo auxiliar (jockey) de presurización, con arranque y parada automática (NC 212, 2002).

A los efectos de esta norma, los sistemas de bombeo principales pueden ser de 2 categorías:

- CATEGORÍA 1: Con equipo de bombeo principal doble.
- CATEGORÍA 2: Con equipo de bombeo principal único.

El equipo de bombeo principal único es el que está formado por un grupo de bombeo principal, siendo capaz de suministrar por sí solo la demanda total de agua prevista. El motor de accionamiento podrá ser eléctrico o diesel.

El equipo de bombeo principal doble es el que está formado por dos equipos de bombeo principales iguales, siendo cada uno de los cuales capaz de suministrar por si solo la demanda total de agua prevista. En este equipo de bombeo solo uno podrá tener motor de accionamiento eléctrico, a no ser que existan dos fuentes de energía eléctrica independientes, bien de dos centros de transformación diferentes o de generadores autónomos, en cuyo caso los dos motores podrán ser eléctricos (NC 212, 2002).

En todos los casos, las bombas principales tendrán características compatibles y serán capaces de funcionar en paralelos a cualquier consumo, independientemente de su régimen de revoluciones.

Cuando para formar equipo de bombeo principal doble se instalan dos bombas, cada una será capaz independientemente de suministrar los consumos y presiones requeridos. Cuando se instalen 3 bombas, cada bomba será capaz de suministrar al menos el 50 % del consumo requerido a la presión requerida (NC 212, 2002).

1.7 Flujo tecnológico de la red del sistema contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles.

Sistema Automático Contra Incendio

Para la extinción de incendio en la base de petróleo o en sus áreas aledañas hay diseñado un sistema contra incendios el que consta de:

- Sistema automático de espuma.
- Sistema automático de agua.
- Panel o pizarra de señalización.

Sistema automático de espuma:

Este sistema está compuesto por dos tanques (TK-6-A y 6-B) con capacidad de 100 m³ cada uno y dos bombas centrífugas (BO- 5A y 5B) con capacidad de 400 m³/h, las que están destinadas al suministro de solución espumante a las diferentes cámaras de

espuma, situadas en los depósitos de petróleo, esta solución espumante tiene la finalidad de cubrir la parte superior del tanque para sofocar el incendio en caso de inflamación del automático (captadores de temperaturas que cuando se produce un incendio en el interior de los mismos este envía una señal al sistema receptor de la pizarra de las bombas arrancando automáticamente la que está seleccionada para la operación). Al inflamarse el petróleo en el depósito se produce un incremento superior a los 120 °C, lo cual es suficiente para que la aleación especial con las que están soldadas las tapas de las cámaras de espuma se fundan y de paso al espumante hasta el depósito incendiado, cubriendo toda la superficie del líquido sofocando el incendio. La solución espumante llega al tanque a través de una tubería de diámetro 273 x 8 mm desde la estación de bombas pasando a través de las VA-133, 134 y 135 y recorriendo el perímetro de los 6 depósitos, de esta tubería se deriva otra de diámetro 219 x 7 mm que llega hasta el anillo de los tanques que es donde están conectadas las cámaras de espuma que llevan al tanque.

Sistema automático de agua:

Este sistema está compuesto por 2 tanques (TK-5A y 5B) con capacidad de 700 m³ para uno, 2 bombas centrífugas (BO-4 A y B) con capacidad de 320 m³/h para el suministro a las diferentes tomas ubicadas alrededor de los tanques para su enfriamiento en caso de incendios. En los tanques hay sistema de señalización automático que al producirse un incendio envía la señal a la bomba que arrancará automáticamente, suministrando el agua a través de la tubería T-3 con diámetro 219 x 9 mm a las tomas, figura 1.3.

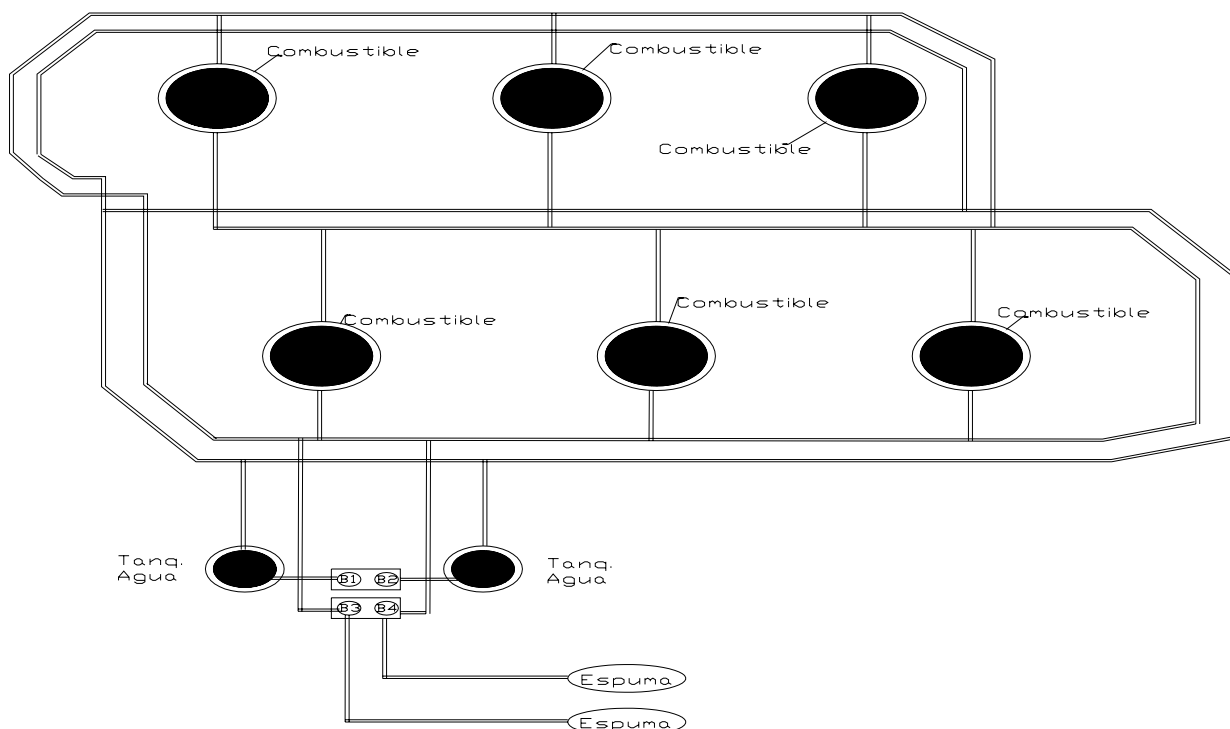


Figura 1.3 Esquema de la instalación

1.8 Conclusiones del capítulo

- En la búsqueda de trabajos precedentes, pocos tratan de temas relacionados con la implementación de redes ramificadas para el suministro de agua a instalaciones para sistemas contra incendios. Gran parte de los trabajos consultados, analizan las redes de suministro sin la implementación del Water Cad.
- Los procedimientos tradicionales reportados por la literatura especializada, utilizan métodos gráficos para la obtención de los parámetros operacionales del sistema en el punto de funcionamiento y en comparación con los modelos matemáticos implementados computacionalmente ofrecen menor precisión, rapidez y confiabilidad.

Capítulo 2. Materiales y métodos

2.1 Introducción del capítulo

En la práctica el régimen de trabajo se determina de forma gráfica, determinando los parámetros que corresponden al punto de intersección de las dos características empleando la metodología del programa Water Cad.

Por tanto el **objetivo** de este capítulo es realizar los cálculos de la instalación, o sea, la determinación del régimen de trabajo, la potencia de la bomba, la energía consumida y las curvas características de las bombas principales.

2.2 Procedimiento para el diseño y revisión de una estación contra incendios

El punto de partida para el proyecto de una estación de bombeo es el caudal y la carga dinámica total que deba suministrar. En general, el caudal total de diseño, Q_d , está perfectamente definido, pero la carga no, ya que depende del diámetro y la longitud de la tubería o tuberías, que conducen el agua desde el lugar de extracción hasta el de utilización o distribución. Por otra parte, el diámetro adecuado para la instalación, depende del costo de la tubería y de la energía consumida para vencer las pérdidas de carga que se producen al bombear el caudal establecido (Talwar, 1983), (Stepanoff, 1959).

La información básica que se necesita inicialmente para el diseño y la revisión:

- ✓ Caudal de diseño.
- ✓ Diferencia de nivel entre la toma y la descarga.
- ✓ Diferencia de carga a presión entre la toma y la descarga.
- ✓ Diferencia de carga a velocidad entre la toma y la descarga (aunque como se sabe, esta diferencia es casi siempre nula).
- ✓ Longitud y perfil de la tubería.
- ✓ Disposición general del sistema y posición de instalación de las bombas.

Para realizar la selección de las bombas se tienen tres factores esenciales a considerar:

- ✓ El caudal que debe entregar la estación de bombeo.
- ✓ La carga dinámica total que deben desarrollar las bombas.

- ✓ Las condiciones existentes de succión.

Aunque hay otros factores que se tienen en cuenta para realizar la selección óptima del tipo y tamaño de las bombas, tales como: la naturaleza del líquido que se bombea, las condiciones de operación, las condiciones de instalación, el tipo de energía disponible, entre otros.

Teniendo esto en cuenta se tomaron algunos datos para poder realizar una metodología a seguir para así saber en que condiciones está trabajando el sistema de abasto a los clientes industriales.

2.3 Características generales de la bomba principal que debe llevar un sistema contra incendios

2.3.1 Características constructivas

Los elementos que se encuentren en contacto con el agua bombeada y estén sometidos a fricción serán de material apropiado para impedir la oxidación o corrosión de las partes móviles. El impulsor será de bronce o acero inoxidable, fundido en una sola pieza.

Cuando la bomba funcione con agua de mar, sin precarga de agua dulce, los materiales de todos sus componentes serán apropiados para este servicio.

El tipo de bomba o el sistema de montaje de los grupos de bombeo permitirán la reparación y mantenimiento de la bomba sin que sea preciso desembridarla, ni desmontar el motor, excepto las que tengan potencia inferior a 5 kW y las verticales sumergidas (NC 212, 2002).

2.3.2 Características hidráulicas

1. El caudal nominal de la bomba (Q) será el especificado o calculado para el sistema.
2. La presión nominal (P) es la manométrica total (bar) de la bomba que corresponde a su caudal nominal.
3. La presión de impulsión es la presión nominal (P), más la presión de aspiración, con su signo. Será igual o superior a la presión mínima especificada o calculada para el sistema.
4. En caso de bombas verticales, la presión nominal no será inferior a la medida en la brida de impulsión del cabezal de la bomba.

5. En el caso de las redes de acueducto de uso público, la presión de aspiración es la presión más baja prevista en la red, después de deducir las pérdidas de carga en la tubería de aspiración.

6. La presión a consumo cero, no debe superar el 120 % de la presión nominal con un máximo de 12 bar, y en todo caso, los componentes de la instalación de extinción de incendios estarán provistos para soportar la presión correspondiente a dicho consumo cero.

7. El grupo de bombeo será capaz de impulsar como mínimo el 140 % del consumo nominal (Q) a una presión no inferior al 70 % de la presión nominal (P).

8. El motor de la bomba deberá dimensionarse, al menos, para cumplir el punto del 140 % del consumo nominal (Q), y en todo caso, se dimensionará para la potencia máxima absorbida para la bomba al final de su curva.

9. La presión de impulsión de la bomba caerá de forma continua a medida que aumenta el consumo (característica estable).

10. No se conectará una bomba a la red de acueducto de uso público sin antes haber realizado una prueba para demostrar que dicha red es capaz de suministrar un consumo igual al 120 % del consumo de demanda máxima, a una presión no inferior a 1 bar, medido en la entrada de la bomba. Esta prueba será realizada a una hora de máxima demanda en la red (NC 212, 2002).

2.3.3 Instalación

1. Los grupos de bombeo contra incendios se instalarán en un recinto de fácil acceso, independiente, protegido contra incendios, riesgos naturales y dotados de un sistema de drenaje adecuado. Estarán provistos y calculados los sistemas de ventilación y renovación natural de aire necesarios para la sala de bombas, en función del tipo de motores instalados y sus sistemas de refrigeración.

2. Los grupos de bombeo se ubicarán en un local con límite de resistencia al fuego no inferior a 1 hora, destinado únicamente a los sistemas de protección contra, podrá ser uno de los siguientes:

a) Un edificio independiente.

- b) Un edificio vecino a un edificio protegido y con acceso directo desde el exterior.
 - c) Un compartimento con acceso directo desde el exterior.
3. El local de las bombas se mantendrá una temperatura no superior a los 40 °C, salvo en circunstancias excepcionales, en cuyo caso se tomarán medidas excepcionales para garantizar la operatividad del local.
 4. El local de bombas para grupos diesel estará provisto de una ventilación y renovación natural de aire adecuado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
 5. La máxima temperatura del suministro de agua no superará los 40 °C.
 6. Se instalarán válvulas de cierre en las tuberías de aspiración e impulsión de las bombas y una válvula de retención o cheque en la impulsión.
 7. Si se instala una reducción en la aspiración de la bomba, será excéntrica y se instalará con la parte superior horizontal. La parte inferior tendrá un ángulo no superior a los 150 y una longitud no menor a dos veces el diámetro de la tubería de aspiración. Si se instala una reducción en la impulsión de la bomba, será concéntrica y se abrirá en la dirección del flujo con un ángulo no superior a los 150. El caso de emplear reducciones normalizadas no se admitirá que una pieza reduzca en más de un diámetro nominal.
 8. Las válvulas de impulsión se instalarán agua a bajo de la reducción.
 9. Se mantendrán libres de aire la tubería de aspiración y el cuerpo de la bomba, instalando, si es preciso, los elementos necesarios para permitir la salida del aire por la parte superior del cuerpo de la bomba.
 10. En el caso de bombas verticales se instalará agua abajo de la brida de impulsión y antes de la válvula de retención, de un purgador automático de aire de diámetro mínimo de 25 mm para consumos nominales hasta 40 l/s y de 40 mm para consumos superiores.
 11. Se instalará un sistema automático de circulación de agua para mantener un consumo mínimo que impida el sobrecalentamiento de la bomba al funcionar contra válvula cerrada. Se permite la conexión en la impulsión, entre la bomba y su válvula de retención, de una válvula de alivio, de diámetro máximo de 25 mm y de escape conducido hacia un drenaje.

12. En todos los casos, la línea de alimentación desde el cuadro general de distribución (CGD) hasta el equipo de bombeo será independiente y con un interruptor exclusivo convenientemente señalizado.

13. Poseerán doble alimentación (principal y de reserva) en caso de ser motores eléctricos; entendiéndose como alimentación de reserva lo siguiente:

a) Una segunda acometida, alimentada desde un centro de transformación diferente de la que suministra a la alimentación principal.

b) De un generador autónomo de emergencia propio del objetivo.

14. Los motores eléctricos de las bombas contra incendios, deberán conectarse al sistema eléctrico de emergencia. En todos los casos los cables eléctricos de alimentación al motor estarán protegidos de posibles puntos de incendios u otros daños y el circuito de alimentación será independiente del sistema eléctrico general de la instalación u objetivo.

15. Cuando la estación de bombeo posea dos o más bombas, se dispondrá, al menos, de dos tomas de succión interconectadas entre sí, cada una de las cuales será de suficiente capacidad para alimentar todas las bombas en operación simultánea (NC 212, 2002).

2.3.4 Características técnicas de las bombas de agua del sistema contra incendio en la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles

Las características técnicas de las bombas empleadas para el bombeo de agua y los motores acoplados del sistema contra incendio de la base de combustible se exponen en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Bombas empleadas para bombeo de agua

Descripción	
Trans	87003
Codificación:	365 – Bo- 5 A, B
Cantidad	2
País de fabricación	URSS
Presión	48 m

Tabla 2.1 Bombas empleadas para bombeo de agua...continuación

Característica de la bomba:	
Tipo	D- 320 – 50
Capacidad	320 m ³ /h
Presión	48 m

Motor eléctrico:

- ✓ Tipo : A O 2 – 91 – 4 T
- ✓ Potencia: 75 kW
- ✓ Voltaje: 440 V
- ✓ Velocidad de rotación: 1740 rev/min
- ✓ Frecuencia: 60 Hz

Tabla 2.2 Bombas empleadas para bombeo de espuma

Descripción	
Trans	87002
Codificación:	365- Bo- 4A, B
Cantidad	2
País de fabricación	URSS
Característica de la bomba:	
Tipo	H- 400 – 105
Capacidad	400 m ³ /h
Presión	150 m

Motor eléctrico:

- ✓ Tipo : A3- 315 m 4 T
- ✓ Potencia: 200 kW

- ✓ Voltaje: 440 V
- ✓ Velocidad de rotación: 1760 rev/min
- ✓ Frecuencia: 60 Hz

2.3.5 Características técnicas de la red

- ✓ Rociadores: 24
- ✓ Canalización sobre tuerca (válvulas): 38
- ✓ Válvula de vaciado: 10
- ✓ Cerrojo con mando eléctrico (válvulas): 6
- ✓ Nodos: 48

2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema de agua

La curva de un sistema de tuberías representa la energía por unidad de peso (carga) que es necesario suministrarle al sistema, para que circulen a través del mismo los caudales que se deseen. Cada punto de la curva representa la carga necesaria H_{nec} , para que circule el caudal Q , que le corresponda.

2.4.1 Metodología de cálculo según Water Cad

El método que emplea Water Cad para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de comportamiento hidráulico de las tuberías, para un instante dado, puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas. Todini y Pilati (1987) y más tarde Salgado (1988) decidieron llamarlo Método del Gradiente. Métodos similares fueron propuestos anteriormente por Hamam y Brameller (1971) (el Método Híbrido) y por Osiadacz (1987) (el Método de Nudos para Nudos y Mallas). La única diferencia entre estos métodos es la forma en que se actualizan los caudales de línea, después de haber encontrado una nueva solución provisional para las alturas en los nudos. Dado que la aproximación de Todini es la más simple, esta fue la elegida para desarrollar Water Cad.

Supongamos que tenemos una red de tuberías con N nudos de caudal y NF nodos de altura dada (embalses y depósitos). La relación entre la pérdida de carga para una tubería que va de nudo i al j , y el caudal de paso Q_{ij} , puede escribirse como:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (2.1)$$

H= altura piezométrica en el nudo,

h = pérdida de carga,

r = coeficiente de resistencia,

Q = caudal,

n = exponente del caudal,

m = coeficiente de pérdidas menores

El valor del coeficiente de resistencia depende de la fórmula utilizada para el cálculo de las pérdidas.

Para las bombas, la pérdida (esto es, la altura de la bomba cambiada de signo), puede representarse mediante una fórmula potencial del tipo:

$$h_{ij} = -w^2 \left(h_0 - r(Q/w)^n \right) \quad (2.2)$$

h_0 : es la altura a caudal nulo,

w: es la velocidad relativa de giro,

r y n: coeficientes de la curva de la bomba

El segundo sistema de ecuaciones a cumplir está configurado por la condición de equilibrio para los caudales en todos los nudos:

$$\sum Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{para } D_i = 1, \dots, N \quad (2.3)$$

D_i : caudal de demanda en el nudo i , el cual por convención se toma como positivo cuando entra al nudo. Dados los valores de las alturas en los nudos de altura prefijada, se trata de encontrar una solución para las alturas H_i en los restantes nudos, y para los caudales Q_{ij} de todas las líneas, que satisfagan las ecuaciones (2.1) y (2.3).

El método de resolución del Gradiente comienza haciendo una estimación inicial del caudal por cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. En cada iteración del método, se obtienen las alturas piezométricas en los nudos resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$AH = F \tag{2.4}$$

A= matriz jacobiana (NxN),

H= vector de incógnitas nodales (Nx1),

F= vector de términos independientes (Nx1)

Los elementos de la diagonal principal de la matriz jacobiana vienen dados por:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij} \tag{2.5}$$

y los elementos no nulos fuera de la diagonal principal, por:

$$A_{ij} = -p_{ij} \tag{2.6}$$

donde p_{ij} es la inversa de la derivada respecto al caudal, de la pérdida de carga en la línea que va del nudo i al j . Su expresión para las tuberías es:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}, \tag{2.7}$$

y para las bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{nw^2r(Q_{ij} / w)^{n-1}} \tag{2.8}$$

Los términos independientes están constituidos por el caudal residual en el nudo no equilibrado, más un factor de corrección dado por:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} \sum_f p_{if} H_f, \tag{2.9}$$

donde el último término está presente sólo para las tuberías que conectan el nudo, i con un nudo de altura conocida f ; por su parte, el factor de corrección del caudal y_{ij} tiene por expresión:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r |Q_{ij}|^n + m |Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij}), \quad (2.10)$$

para las tuberías, donde $\text{sgn}(x)$ es 1 si $x > 0$ y -1 en otro caso, e:

$$y_{ij} = -p_{ij} w^2 \left(h_0 - r (Q_{ij} / w)^n \right), \quad (2.11)$$

para las bombas (Q_{ij} es siempre positivo en este caso).

Una vez calculadas las nuevas alturas resolviendo las ecuaciones (2.4), los nuevos caudales se obtienen mediante:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j) \right) \quad (2.12)$$

Si la suma, extendida a todas las líneas, del valor absoluto de la variación relativa del caudal respecto al caudal total en la línea, es mayor que una cierta tolerancia (p.ej.0,001), las ecuaciones (2.4) y (2.12) se resuelven de nuevo. Obsérvese que la fórmula de actualización (2.12) conduce al equilibrio de caudales en los nudos, tras la primera iteración.

2.5 Implementación del método utilizado por Water Cad

Water Cad implementa este método realizando los siguientes pasos:

1. El sistema de ecuaciones lineales 2.4 se resuelve utilizando un método de matrices vacías, basado en la reordenación de los nudos (George y Liu, 1981). Una vez los nudos reordenados al objeto de minimizar el número de coeficientes de relleno en la matriz A , se realiza una factorización simbólica, de modo que sólo los elementos no nulos de A se almacenan en memoria para operar con ellos. A lo largo de una simulación en periodo extendido, la reordenación y factorización de la matriz se efectúa una sola vez, al comienzo del análisis.
2. Para la primera iteración del primer instante de simulación, los caudales en las tuberías se determinan con la condición de que la velocidad de circulación sea de 1 pie/seg. Por su parte, el caudal en las bombas se hace igual al caudal de diseño de la bomba

(internamente todos los cálculos se realizan con las alturas en pies y los caudales en pies³/seg - cfs).

3. El coeficiente de resistencia de una tubería (r) se calcula según se las fórmulas de la. En el caso de la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach, el factor de fricción f se calcula mediante diferentes ecuaciones, dependiendo del Número de Reynolds (Re) del flujo:

Para $Re < 2000$ se emplea la fórmula de Hagen – Poiseuille (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.13)$$

Para $Re > 4000$ se emplea la aproximación de Swamee y Jain a la ecuación Colebrook - White (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.14)$$

Para $2000 < Re < 4000$ se emplea una interpolación cúbica al Diagrama de Moody (Dunlop, 1991):

$$f = (X1 + R(X2 + R(x3 + X4))) \quad (2.15)$$

$$R = \frac{Re}{2000} \quad (2.16)$$

$$X1 = 7FA - FB \quad (2.17)$$

$$X2 = 0,128 - 17FA + 2,5FB \quad (2.18)$$

$$X3 = -0,128 + 13FA - 2FB \quad (2.19)$$

$$X4 = R(0,032 - 3FA + 0,5FB) \quad (2.20)$$

$$FA = (Y3)^{-2} \quad (2.21)$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0,00514215}{Y2 * Y3} \right) \quad (2.22)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \quad (2.23)$$

$$Y3 = -0,86859 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{4000^{0,9}} \right) \quad (2.24)$$

donde ε = rugosidad de la tubería, d = diámetro de la tubería.

4. El coeficiente de pérdidas menores K , referido a la altura de velocidad, se transforma en el factor equivalente m que multiplica al cuadrado del caudal, mediante la siguiente relación:

$$m = \frac{0,2517K}{d^4} \quad (2.25)$$

5. Los emisores aplicados en los nudos se modelizan como una tubería ficticia entre el nudo y un embalse ficticio. Los parámetros de la tubería ficticia son $n = (1/\delta)$, $r = (1/C)^n$, y $m = 0$, donde C es el coeficiente de descarga del emisor, y δ el exponente de la presión. La altura del embalse ficticio es la propia cota del nudo. El caudal de paso calculado por la tubería ficticia se interpreta como el caudal descargado por el emisor.

6. A las válvulas abiertas se les asigna un valor del coeficiente r calculado bajo el supuesto de que la válvula actúa como una tubería lisa ($f = 0,02$), cuya longitud es dos veces el diámetro de la válvula. Las líneas cerradas se supone que obedecen a una relación de pérdidas lineal con un factor de resistencia muy grande, p. ej. $h = 10^8 Q$, con lo que $p = 10^{-8}$ e $y = Q$. Para las líneas en las cuales $(r+m) Q < 10^{-7}$, entonces $p = 10^7$ e $y = Q/n$.

7. En cada instante de cálculo se comprueba, tras cada iteración hasta la décima, el estado de las bombas, válvulas de retención, válvulas de control del caudal y tuberías que conectan con depósitos llenos o vacíos. Después de la décima iteración, el estado de estos componentes se vuelve a comprobar de nuevo una vez obtenida la convergencia, excepto para las válvulas de control de la presión (VRP y VSP), cuyo estado se comprueba en todas las iteraciones.

8. Durante la comprobación del estado de los diferentes componentes, las bombas se paran si la altura requerida es superior a su altura a caudal cero (para impedir el flujo inverso). Análogamente, las válvulas de retención se cierran si la pérdida de carga

resultante es negativa (ver más adelante). Si más adelante dejan de darse estas circunstancias, dichos elementos vuelven a reactivarse. De forma similar se comprueba el estado de las líneas que conectan con depósitos que poseen limitaciones de nivel. Dichas líneas se cierran si la diferencia de alturas inducen al vaciado de un depósito que está a su nivel mínimo, o al llenado de un depósito que está a su nivel máximo; y se abren de nuevo al dejar de darse estas circunstancias.

9. La simple comprobación del signo de la pérdida ($h < 0$) para determinar si una válvula de retención (VR) debe estar cerrada o abierta, se observó que en algunas redes daba lugar a un comportamiento cíclico de la válvula entre estos dos estados, debido a los límites de precisión numérica. Finalmente se comprobó que el siguiente procedimiento conducía a un comportamiento más robusto de estas válvulas:

si $|h| > H_{tol}$ entonces

si $h < -H_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si $Q < -Q_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si no estado = Abierta

si no si $Q < -Q_{tol}$ entonces estado = Cerrada

si no estado = sin cambios

donde $H_{tol} = 0,0005$ pies y $Q_{tol} = 0,001$ pies³/seg.

10. Si la verificación del estado de una bomba, tubería o VR conduce a su cierre total, entonces el valor del caudal se fuerza a 10^{-6} pies³/seg. Cuando se reactiva de nuevo una bomba, su caudal se determina entrando en su curva característica con la altura actual. Cuando se reabre una tubería o una VR, su caudal se determina resolviendo la ecuación 2.1 para la pérdida de carga actual h , ignorando cualquier pérdida menor.

11. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas de rotura de carga (VRC) se fuerzan a los siguientes valores: $p = 10^8$ e $y = 10^8 H_{set}$, donde H_{set} es la caída impuesta como consigna en la válvula (en pies). Las válvulas de regulación (VRG) son tratadas como tuberías, cuyo coeficiente r se establece según las hipótesis y cuyo

coeficiente m se obtiene transformando el coeficiente impuesto como consigna en la válvula.

12. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas reductoras, sostenedoras y de control del caudal (VRPs, VSPs y VCQs) se calculan una vez todas las demás líneas han sido analizadas. La comprobación del estado de las VRPs y VSPs se efectúa según se ha descrito. Estas válvulas pueden estar completamente abiertas, completamente cerradas, o bien activas, imponiendo las consignas de presión o caudal establecidas.

13. La lógica empleada para comprobar el estado de una VRP es la siguiente:

- Si estado actual = Activa entonces

si $Q < -Q_{tol}$ entonces nuevo estado = Cerrada

si $H_i < H_{set} + H_{ml} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Abierta

si no, nuevo estado = Activa

- Si estado actual = Abierta entonces

si $Q < -Q_{tol}$ entonces nuevo estado = Cerrada

si $H_i > H_{set} + H_{ml} + H_{tol}$ entonces nuevo estado = Activa

si no, nuevo estado = Abierta

- Si estado actual = Cerrada entonces

si $H_i > H_j + H_{tol}$

y $H_i < H_{set} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Abierta

si $H_i > H_j + H_{tol}$

y $H_j < H_{set} - H_{tol}$ entonces nuevo estado = Activa

si no, nuevo estado = Cerrada

donde Q es el caudal actual a través de la válvula, H_i es la altura aguas arriba, H_j la altura aguas abajo, H_{set} la presión de consigna transformada en altura, H_{ml} la pérdida menor a válvula abierta ($= mQ^2$), y finalmente H_{tol} y Q_{tol} son los mismos valores utilizados para las

válvulas de retención, ya vistas en el epígrafe 9. Para las VSP se efectúa una comprobación similar, excepto que en las inecuaciones en que interviene H_{set} , los subíndices i y j aparecen intercambiados, al tiempo que los operadores $>$ y $<$.

14. El caudal que atraviesa una VRP activa es forzado a entrar por el nudo aguas abajo, mientras que el que atraviesa una VSP es obligado a salir del nudo aguas arriba. Para imponer la presión de salida de una VRP que vaya del nudo i al j , se hace:

$$p_{ij} = 0$$

$$F_j = F_i + 10^8 H_{set} \quad (2.26)$$

$$A_{ji} = A_{ji} + 10^8 \quad (2.27)$$

Con ello se fuerza a la altura en el nudo aguas abajo a tomar el valor de la altura de consigna H_{set} . Para las VSP se procede de manera análoga, excepto que los subíndices de F y A son los correspondientes al nudo aguas arriba i . Cuando las VRPs o las VSPs están totalmente abiertas o cerradas, sus coeficientes en la matriz son tratados del mismo modo que para las tuberías.

15- Para una válvula VCQ activa que vaya del nudo i al j , cuyo caudal de consigna es Q_{set} , éste es añadido al caudal que sale del nudo i y al caudal que entra al nudo j , para lo cual se resta de F_i y se añade a F_j . Si la altura en el nudo i es menor que la del nudo j , entonces la válvula no puede proporcionar el caudal y es tratada como una tubería abierta.

16- Una vez conseguida inicialmente la convergencia (convergencia de los caudales, sin cambios en las VRPs y VSPs) se realiza una nueva comprobación del estado de las bombas, VRs, VCQs, y líneas conectadas a depósitos. También se comprueba el estado de las líneas controladas por presión (p. ej. el estado de una bomba controlada por la presión en un nudo). Si hubiera algún cambio, las iteraciones se prolongan durante al menos dos nuevas pasadas (la comprobación de las condiciones de convergencia es omitida para la primera iteración). En caso contrario, la solución se da por buena.

17- Para desarrollar las simulaciones en periodo extendido (EPS), se ha implementado el siguiente procedimiento:

a) Una vez encontrada una solución para el instante actual, el incremento de tiempo adoptado para avanzar hasta el instante siguiente será el mínimo entre:

- el instante en que comienza un nuevo periodo de demanda,
- el menor intervalo de tiempo que hace que se llene o vacíe algún depósito,
- el menor intervalo de tiempo para el cual el nivel en algún depósito alcanza el valor de referencia que provoca el cambio de estado en alguna línea (p. ej. arrancar o parar una bomba), según figura en alguna de las leyes de control simples,
- el próximo instante en que debe actuar alguna de las leyes de control simple reguladas por tiempo.
- el próximo instante en que alguna de las leyes de control basadas en reglas provoque un cambio en la red.

Para calcular el instante en que se alcanza un determinado nivel en un depósito, se supone que éste evoluciona linealmente en base al caudal actual que entra o sale del depósito.

Por su parte, el instante de activación de las leyes de control basadas en reglas, se determina del siguiente modo:

- Comenzando en el instante actual, las distintas reglas se analizan paso a paso, avanzando con un intervalo de tiempo fijo, cuyo valor por defecto es 1/10 del intervalo de cálculo hidráulico (por ejemplo, si el intervalo de cálculo hidráulico es de 1 hora, entonces las reglas se evalúan cada 6 minutos).
- En base a este intervalo de tiempo se actualiza la hora de la simulación, y al mismo tiempo los niveles de agua en los depósitos (tomando como referencia los últimos caudales entrantes o salientes calculados).
- Si en un momento dado se cumple alguna de las reglas, las actuaciones derivadas se añaden a una lista. Si la actuación propuesta entra en conflicto con otra actuación de la lista sobre la misma línea, prevalece aquella que tiene una prioridad más alta, siendo la otra eliminada. Si las prioridades son equivalentes, entonces prevalece la actuación que estaba ya en la lista.

- Después de haber evaluado todas las reglas, si la lista no está vacía se ejecutan todas las actuaciones almacenadas en ella. Si como consecuencia de dichas actuaciones cambia el estado de una o más líneas, se procede a obtener una nueva solución y el proceso de simulación continúa.

b) Una vez determinado el intervalo de avance, se actualiza el tiempo de la simulación, se calculan las nuevas demandas, se ajustan los niveles en los depósitos en base a los últimos caudales calculados, y se verifican las reglas de control para determinar qué líneas deben cambiar su estado.

c) Se desencadena un nuevo proceso iterativo para resolver el conjunto de ecuaciones (2.4) y (2.12), partiendo de los caudales actuales.

2.6 Metodología utilizada para la curva característica del sistema de espuma

Para determinar la velocidad del fluido, se emplea la ecuación 2.28.

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2} \quad (2.28)$$

En la que:

Q - caudal o gasto del fluido; (m³/s),

D - diámetro de la tubería; (m).

La característica de la red de la instalación se recomienda calcular por la ecuación:

$$H_{red} = \Delta Z + R \cdot Q^2 \quad (2.29)$$

Donde:

ΔZ - altura geométrica; (m),

R - coeficiente de resistencia.

El coeficiente de resistencia R para el régimen turbulento de corriente se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$R = \left(\sum \zeta + \lambda \cdot \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4} \quad \text{y } m = 2 \quad (2.30)$$

Donde:

$\Sigma \xi$ - pérdidas locales en la tubería,

λ - coeficiente de fricción.

Los valores de este coeficiente dependen del tipo de accesorio.

En la tabla 2.2 se muestran diferentes valores de según el accesorio (Anexo 1).

Las pérdidas en la succión se calculan empleando fórmula 2.31.

$$\Sigma h = \left(\frac{\lambda_t \cdot l_t}{d_{tub}} + \Sigma \xi_{succ} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} \quad (2.31)$$

La característica de la red de la instalación se recomienda calcular por la ecuación:

$$H_{red} = \Delta Z + R \cdot Q^2 \quad (2.32)$$

Donde:

ΔZ - altura geométrica; (m),

R - coeficiente de resistencia.

El número de Reynolds es un número adimensional y se denomina número de Reynolds en honor al sabio inglés que estableció este criterio y se designa:

$$Re = \frac{d_{tub} \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (2.33)$$

Donde:

μ - viscosidad del fluido; (Pa·s),

d - diámetro de la tubería; (m),

v - velocidad del fluido; (m/s),

ρ - densidad del fluido; (kg/m³).

2.7. Cavitación en bombas centrífugas

Con la siguiente metodología de cálculo se determinará si la bomba objeto de estudio está trabajando bajo un régimen cavitacional.

El parámetro $(NPSH)_d$ debe ser comparado contra el $(NPSH)_r$, el cual está determinado por las características del tramo de succión del sistema y se puede mejorar aumentando el diámetro de la tubería de succión, mejorando la calidad de la tubería, reduciendo la distancia de la tubería de succión y la cantidad de accesorios. Todo lo anterior con el fin de garantizar que $(NPSH)_d \geq (NPSH)_r$.

Altura neta positiva en la succión disponible

Se denomina $NPSH_d$ (altura neta positiva en la succión) a la diferencia entre la presión del líquido a bombear referida al eje del impulsor y la tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (es la presión del líquido que a esa temperatura, se halla en equilibrio con su presión de vapor en un depósito cerrado). Se deben conocer y combinar en cada caso el NPSH disponible $(NPSH)_d$ de la instalación y el NPSH requerido $(NPSH)_r$ por la bomba.

El $(NPSH)_d$ es en función de la instalación independiente del tipo de bomba.

$$(NPSH)_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} + H_{succ} - \Sigma h - H_t ; [m] \quad (2.34)$$

Donde:

P_{atm} - presión atmosférica; (Pa),

H_t - presión de vapor del agua; (m),

γ - peso específico; (N/m³),

Σh - pérdidas en la succión; (m).

Altura neta positiva en la succión requerida

El $(NPSH)_r$: es un dato básico y característico de la bomba, varía según el modelo, tamaño y condiciones de servicio, recomendada en los datos que facilita el fabricante.

Para la evaluación de la calidad del diseño, de la fabricación o de la confiabilidad de los datos técnicos referentes a la aspiración, es importante la determinación del $(NPSH)_r$, el cual es de 10.05m, este dato lo brinda el catálogo de la bomba.

2.8 Funcionamiento y utilización de la instrumentación utilizada para el trabajo del sistema contra incendios en la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles

Cinta métrica: Esta tiene gran utilización en la industria, en específico en el departamento de diseño, la cual se utiliza para la medición de tramos rectos y muy largos; en el trabajo se utilizó para los tramos largos de tubería con fácil acceso.

Manómetro:

Se utiliza para medir la presión del fluido en la succión y la descarga.

- Marca: Wika.

- Rango: 0 a 10 bar.

Calibre para mediciones en pulgadas:

Se utiliza para medir el diámetro de las tuberías. Con este instrumento fue fácil determinar los diámetros de la línea.

2.9 Conclusiones del capítulo

- Se establecieron los procedimientos de cálculo para efectuar el diagnóstico de la red del sistema contra incendios de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles
- El sistema de medición en la línea de distribución de agua es insuficiente, debido a que no se cuenta con la instrumentación adecuada, por lo cual no se puede obtener la cantidad de información que se requiere para su estudio.
- En la realización del recorrido de la línea de sistema contra incendios, se revisó el estado técnico de las tuberías, así como su geometría, accesorios y ramificaciones.

Capítulo 3. Valoración de los resultados técnico, económico e impacto ambiental

3.1 Introducción del capítulo

La evaluación final de una investigación es de primordial importancia para establecer en que medida esta ha contribuido al desarrollo político, económico o social de un país o región. El correcto análisis de esta permite además sentar las bases para futuros trabajos que sobre la temática se desarrollen, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente, en correspondencia con esto:

El **objetivo** del presente capítulo es: Analizar los resultados, así como la valoración económica y ambiental de la instalación proyectada.

3.2 Procedimientos previos propuestos a ejecutar antes de la arrancada normal de la sección del sistema automático contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Díaz Argüelles

Este sistema se pone en funcionamiento cuando ocurre un incremento de temperaturas en los depósitos de petróleo o en cualquier área o equipo de la base.

Para realizar una arrancada normal se deben realizar previamente las siguientes comprobaciones:

1. Comprobar el buen funcionamiento de la señalización lumínica y sonora.
2. Comprobar el buen funcionamiento de las electroválvulas del sistema.
3. Comprobar que los depósitos de agua y espuma tengan el nivel requerido.
4. Tener una bomba en operación y una en reserva y que ambas estén en buen estado.
5. Comprobar la existencia de agua de enfriamiento.

3.2.1 Arrancada normal de la sección del sistema automático contra incendio

1. Abrir la válvula de entrada de agua del tanque o los tanques seleccionados.
2. (Las válvulas de descarga de las bombas VA 105 o 110 espuma VA 114 o 119 agua se mantienen abiertas).
3. (Las válvulas de succión VAS-104 o119 (espuma) VA-113 o118 (agua) se mantienen abiertas).

4. Abrir las válvulas de salida hacia los depósitos de Fuel Oil: VA 106 o 111 (espuma) VA 115 o 120 (agua).
5. Abrir las válvulas de salida de los TK de agua: VA 112 o 117.
6. Abrir las válvulas de entrada a los TK de agua de la Red Fluvial.
7. Abrir las válvulas que se encuentran en la línea de espuma hacia los TK de Fuel Oil: VA 133, 134, 135, 136,137, 138,147 y 164.
8. Abrir las válvulas que se encuentran en la línea de agua a los TK de Fuel Oil: VA 115, 120, 148, 156, 163 y de las 149 a la 155.
9. Poner en funcionamiento el motor eléctrico de la bomba BO 4-A o 4-B (espuma) BO-5-A ó 5-B (agua).

3.2.2 Parada normal de la sección del sistema automático contra incendio.

Una vez apagado el incendio se procede a normalizar el sistema como sigue:

1. Parar el motor eléctrico de la bomba BO-4 a o 4b (espuma) BO-5 a o 5b(agua)
2. La válvula de succión VAS-104 o119 (espuma) VA-113 o118 (agua) permanecen abiertas.
3. Cerrar las válvulas de salida hacia los depósitos de Fuel Oil: VA 106 o 111 (espuma) VA 115 o 120 (agua).
4. Cerrar las válvulas que se encuentran en la línea de espuma hacia los depósitos de Fuel Oil seleccionados: (VA 133, 134,135, 136,137, 138,147 y o 164).
5. Cerrar las válvulas que se encuentran en la línea de agua a los depósitos de Fuel Oil seleccionados:(VA 115, 120, 148, 156, 163 y o de las 149 a la 155).

3.3 Resultados obtenidos a partir del Water Cad

Luego de introducir los datos necesarios por los que está constituido la red hidráulica del sistema contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Días Argüelles se la ejecución del programa Water Cad, el mismo arrojó los siguientes resultados, luego de 8 ensayos cada 4 horas:

- Flujo suministrado: 2208,2 m³/h.
- Flujo demandado: 430 m³/h.
- Flujo guardado: 1706,2 m³/h.
- Los tanques de agua están a un nivel de 7 m.

3.3.1 Resultados de las bombas

La bomba centrífuga en una instalación es de vital importancia ya que esta es la que realiza el proceso de bombeo del fluido a las distancias que se requieren.

Según los resultados obtenidos a partir de la simulación con el programa Water Cad, las bombas empleadas en la instalación trabajan como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados de las bombas

Etiqu	Elevación (m)	Calidad de succión (m)	Calidad de descarga (m)	Descarga (m ³ /h)	Cabeza de bomba (m)	Potencia empleada (kW)
PMP-3	1	7,96	65,05	210,3	57,09	32,64
PMP-2	1	7,96	65,09	209,7	57,13	32,58

En la figura 3.1 se puede observar que la bomba tiene disponible para su funcionamiento una altura de 65,05 m para un caudal de 320 m³/h, sin embargo los resultados de la simulación arrojados por el Water Cad muestra que la bomba solo utiliza 57,09 m de altura con un caudal correspondiente de 210,3 m³/h.

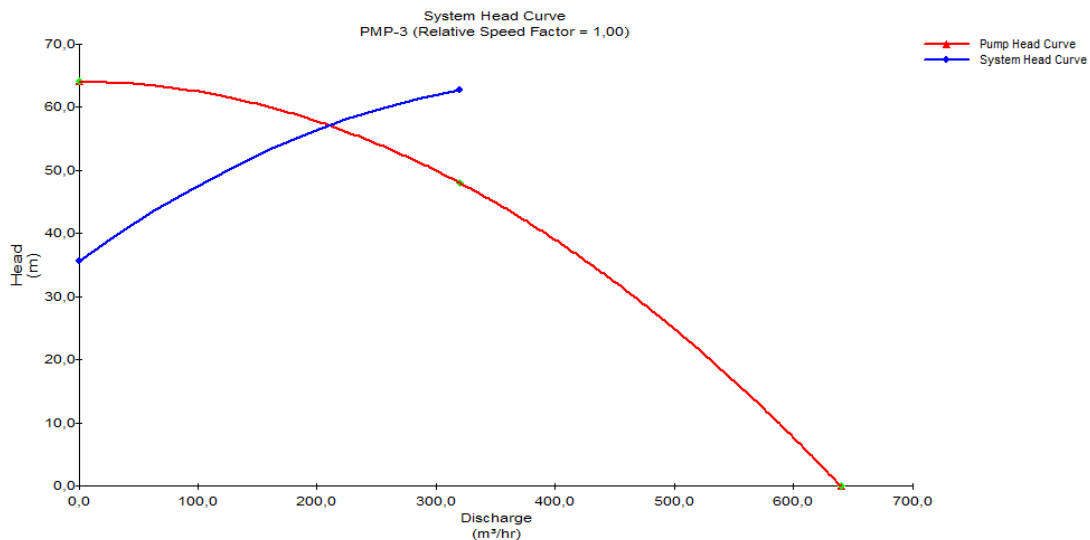


Figura 3.1 Curva característica de la red de agua

3.3.2 Resultados de la simulación de las válvulas

En la red hidráulica del sistema contra incendio de la base de combustible de la empresa Raúl Días Argüelles existen válvulas de regulación con el objetivo de darle paso o no al

flujo para la extinción de incendios, los parámetros de trabajo de las mismas se exponen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Resultados de las válvulas

Etiqueta	Diámetro (mm)	Estado	Descarga (m³/h)
PRV-1	219	Abierta	209,7
PRV-2	219	Abierta	210,3
PRV-3	219	Abierta	209,7
PRV-4	219	Abierta	210,3
PRV-5	219	Abierta	123,2
PRV-6	219	Abierta	96,2
PRV-7	219	Cerrada	0
PRV-8	219	Abierta	40
PRV-9	219	Abierta	56,2
PRV-10	219	Abierta	0,6
PRV-11	219	Abierta	30
PRV-14	219	Abierta	39,4
PRV-15	219	Abierta	70
PRV-16	219	Abierta	254
PRV-18	219	Abierta	214
PRV-19	219	Abierta	163,2

En la tabla 3.2 se muestran las descargas correspondientes a cada válvula empleada en la red hidráulica, mostrando que las mayores descargas le corresponden a las válvulas PRV-16 y PRV-18 con 254 y 214 m³/h respectivamente. Mientras que las menores descargas le corresponden a las válvulas PRV-7 y PRV-10 con 0 y 0,6 m³/h respectivamente, es importante señalar que la válvula de 0 m³/h está cerrada.

3.3.3 Resultados de la simulación en las tuberías

Las tuberías en la instalación son de acero y las uniones entre las mismas conforman la amplia red del sistema contra incendio en análisis, por lo que es de vital importancia conocer la presión fundamentalmente en las mismas, estos datos se encuentran en la tabla 3.3.

Esta tabla muestra que la mayor presión existe en la línea de tubería P-21 y P-34 con un valor de 100 Pa y 65,09 Pa respectivamente, mientras que la presión más baja se encuentra en la tubería P-40 y P-42 las dos líneas con un valor de 7,98 Pa.

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-2	219	Acero	64,56
P-3	219	Acero	64,56
P-4	219	Acero	64,56
P-6	219	Acero	64,39
P-7	219	Acero	64,39
P-8	219	Acero	64,82
P-9	219	Acero	64,39
P-10	219	Acero	64,39
P-11	219	Acero	64,27
P-13	219	Acero	63,73
P-15	219	Acero	63,37
P-16	219	Acero	63,28
P-17	219	Acero	63,37

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías...continuación

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-21	219	Acero	100
P-22	219	Acero	12,41
P-23	219	Acero	12,41
P-24	219	Acero	9,22
P-29	219	Acero	65,02
P-31	219	Acero	64,94
P-32	219	Acero	65,01
P-34	219	Acero	65,09
P-36	219	Acero	65,05
P-37	219	Acero	65,06
P-38	219	Acero	65,02
P-39	219	Acero	8
P-40	219	Acero	7,98
P-41	219	Acero	8
P-42	219	Acero	7,98
P-43	219	Acero	64,62
P-44	219	Acero	64,59
P-45	219	Acero	64,56
P-46	219	Acero	64,59
P-47	219	Acero	64,56
P-48	219	Acero	64,56
P-49	219	Acero	64,56
P-50	219	Acero	64,56

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías...continuación

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-51	219	Acero	64,61
P-52	219	Acero	64,61
P-53	219	Acero	64,61
P-54	219	Acero	64,61
P-55	219	Acero	64,13
P-56	219	Acero	64,11
P-57	219	Acero	64,10
P-58	219	Acero	64,11
P-59	219	Acero	63,26
P-60	219	Acero	63,26
P-61	219	Acero	63,26
P-62	219	Acero	63,26
P-63	219	Acero	63,35
P-64	219	Acero	63,35
P-65	219	Acero	63,35
P-66	219	Acero	63,35
P-68	219	Acero	63,33
P-71	219	Acero	64,21
P-73	219	Acero	63,27
P-74	219	Acero	63,27
P-77	219	Acero	63,37
P-79	219	Acero	63,71
P-80	219	Acero	63,38

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías...continuación

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-86	219	Acero	64,61
P-88	219	Acero	64,56
P-89	219	Acero	64,56
P-91	219	Acero	64,82
P-92	219	Acero	64,82
P-95	219	Acero	64,56
P-97	219	Acero	64,95
P-98	219	Acero	64,63
P-100	219	Acero	64,08
P-101	219	Acero	64,05
P-102	219	Acero	64,10
P-103	219	Acero	64,07
P-104	219	Acero	63,35
P-105	219	Acero	63,37
P-106	219	Acero	63,26
P-107	219	Acero	63,37
P-108	219	Acero	63,26
P-109	219	Acero	63,26
P-110	219	Acero	63,35
P-111	219	Acero	63,34
P-112	219	Acero	64,56
P-113	219	Acero	64,56
P-114	219	Acero	64,61

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías...continuación

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-115	219	Acero	64,61
P-116	219	Acero	64,56
P-117	219	Acero	64,56
P-118	219	Acero	64,61
P-119	219	Acero	64,62
P-120	219	Acero	64,62
P-121	219	Acero	64,71
P-122	219	Acero	64,56
P-123	219	Acero	64,50
P-124	219	Acero	64,42
P-125	219	Acero	64,39
P-126	219	Acero	64,21
P-127	219	Acero	64,13
P-128	219	Acero	64,17
P-129	219	Acero	64,59
P-130	219	Acero	64,56
P-131	219	Acero	64,59
P-132	219	Acero	64,62
P-133	219	Acero	64,61
P-134	219	Acero	64,61
P-135	219	Acero	64,61
P-136	219	Acero	64,61
P-137	219	Acero	64,56

Tabla 3.3 Resultados de las tuberías...continuación

Etiqueta	Diámetro (mm)	Material	Presión (Pa)
P-138	219	Acero	64,56
P-139	219	Acero	64,56
P-140	219	Acero	64,56
P-141	219	Acero	63,26
P-142	219	Acero	63,26
P-143	219	Acero	63,26
P-144	219	Acero	63,26
P-145	219	Acero	64,13
P-146	219	Acero	64,11
P-147	219	Acero	64,10
P-148	219	Acero	64,11
P-149	219	Acero	63,35
P-150	219	Acero	63,35
P-151	219	Acero	63,35
P-152	219	Acero	63,35

3.4 Resultados de la curva característica del sistema de espuma

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones (2.28 – 2.33) para la construcción del sistema de espuma se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Resultados para la construcción de la curva característica del sistema

Q (m ³ /s)	V (m/s)	Re	H (m)	H _{bom} (m)
0,11	0,01	367,96	75,14	123,46
0,25	0,02	836,26	82,08	120,34

Tabla 3.4: Resultados para la construcción de la curva característica del sistema...continuación

Q (m ³ /s)	V (m/s)	Re	H (m)	H _{bom} (m)
0,33	0,02	1103,87	87,81	117,96
0,41	0,03	1371,47	94,70	115,16
0,55	0,03	1839,78	109,41	109,24
0,61	0,04	2040,48	116,69	106,30
0,75	0,05	2508,79	135,87	98,51
0,81	0,05	2709,49	144,99	94,77
0,95	0,06	3177,80	168,33	85,12
1,01	0,06	3378,50	179,19	80,58
1,05	0,06	3512,30	186,71	77,42
1,01	0,06	3378,50	179,19	80,58
1,02	0,06	3411,95	181,05	79,80
1,02	0,06	3411,95	181,05	79,80
0,99	0,06	3311,60	175,52	82,12
1,21	0,07	4047,51	218,99	63,72
1,25	0,08	4181,31	227,59	60,03
1,28	0,08	4281,66	234,19	57,19
1,31	0,08	4382,02	240,90	54,29
1,35	0,08	4515,82	250,04	50,33

Los resultados arrojados por el sistema de espuma dieron como resultado a la curva característica del sistema de espuma la cual se muestra en la figura 3.2.

En la figura se muestra que la bomba trabaja a una altura de H_b=110 m con un caudal correspondiente Q=0,55 m³/h.

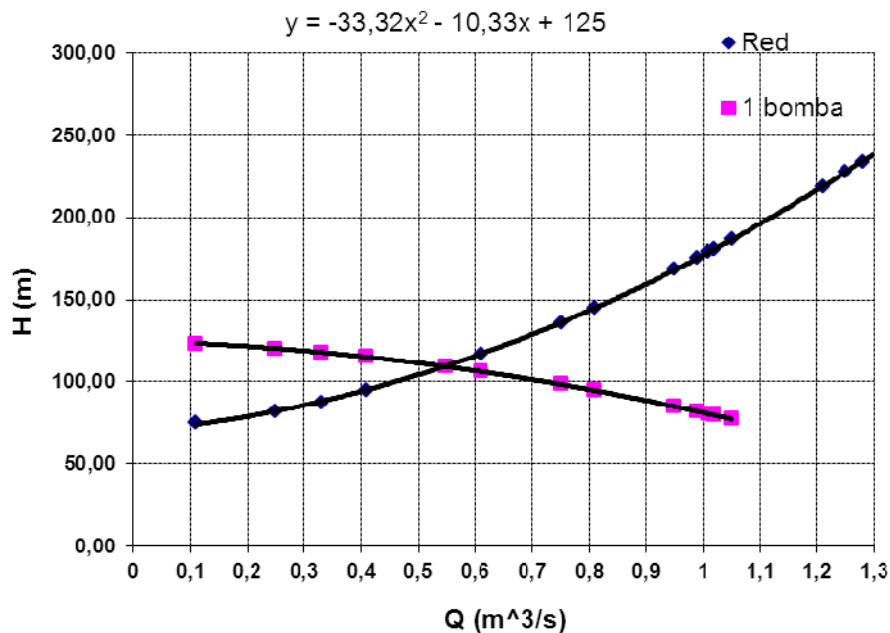


Figura 3.2 Curva característica del sistema de espuma

Para evaluar la bomba centrífuga horizontal, se hicieron algunas mediciones, las cuales deben llevarse a cabo cuando la planta o proceso estén en operación normal. Deberán registrarse las diferentes condiciones de operación, representando por lo menos dos ciclos de trabajo en condiciones estándar de producción, ya que de esto dependerá la precisión y confiabilidad de la evaluación.

Los parámetros fundamentales arrojados por la bomba de espuma son los siguientes:

- Gasto, ($Q=0,55 m^3/s$): la medición de gasto es de fundamental importancia para la evaluación de la bomba.
- Carga o presión ($P=110 m$): la medición de carga o presión en la succión y descarga de la bomba es igualmente importante para la evaluación de la bomba.
- Temperatura ($T=25 \text{ }^\circ\text{C}$): la temperatura del fluido de trabajo es importante para identificar problemas de cavitación en la bomba.

Simultáneamente a la realización de las mediciones al sistema de bombeo y al levantamiento de los datos de la bomba, es importante medir los parámetros eléctricos del motor acoplado a ésta.

- Parámetros eléctricos del motor: para poder evaluar un motor es necesario medir sus parámetros eléctricos.

El instrumento de medición recomendado para evaluar los motores en un diagnóstico energético es el analizador de redes eléctricas.

3.4.1 Recomendaciones generales previas

Antes de iniciar cualquier medición es recomendable observar los siguientes puntos.

- Identificar los componentes del sistema de bombeo, tales como: la ubicación del conjunto motor-bomba, tuberías, equipos y el recipiente de succión y descarga.
- Identificar las fugas en el sistema y corregirlas (por ejemplo, en los puntos de unión en tuberías, en los empaques -goteo excesivo- o sello mecánico, en la bomba o equipos).
- Desairar la tubería de descarga, con el fin de evitar la presencia de aire. Para tal efecto, se abre la válvula de desairación durante un tiempo suficiente para eliminar por completo el aire en la tubería.
- Verificar la alineación del conjunto motor-bomba, o la alineación de poleas y tensión de bandas.
- Determinar mediante observaciones físicas o de acuerdo a la experiencia si la bomba está cavitando. Algunas recomendaciones para detectar la cavitación son:
 - Ruido intenso y continuo al trabajar la bomba (parecido al de un molino de bolas).
 - Vibración.
 - Calentamiento de valeros y del fluido.
 - Frecuente mantenimiento (erosión por cavitación en el impulsor).
 - Gasto menor al de operación.

3.5 Resultados de la cavitación para las bombas de agua

Luego de haber obtenidos los resultados del sistema de agua a partir de Water Cad se hicieron los cálculos de cavitación correspondientes a las bombas del sistema.

El **NPSH requerido** es un dato básico y característico de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio, por tanto es un dato a facilitar por el

fabricante; con un valor equivalente a 5,05m. Si este valor se compara con el valor del **NPSH disponible** (fórmula 2.28), el cual dio como resultado 11,764 m. Se puede llegar a la conclusión de que la bomba no se encuentra bajo el fenómeno de cavitación ya que se cumple la condición $(NPSH)_d \geq (NPSH)_r$.

3.6 Valoración económica

Para poder efectuar una correcta valoración económica, es necesario siempre tener en cuenta que la evaluación final de una investigación es de primordial importancia para establecer en que medida esta ha contribuido al desarrollo político, económico o social de un país o región. El correcto análisis de esta permite además sentar las bases para futuros trabajos que sobre la temática se desarrollen, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente.

Para calcular el costo de bombeo se comenzará evaluando primeramente el costo que se emplearía para bombear el agua a la instalación, por lo que para efectura el cálculo se emplea la fórmula 3.1.

$$C_{bom} = \frac{t_{el} \cdot t_t \cdot N_m}{\eta_m} \quad (3.1)$$

Donde:

C_{bom} - costo de bombeo de la instalación; (CUC/incendio),

t_{el} - tarifa eléctrica; (CUC/kW.h),

t_t - tiempo de trabajo del equipo; (h/incendio),

η_m - rendimiento del motor eléctrico; (%),

N_m - potencia del motor; (kW).

Teniendo en cuenta que el valor de la tarifa eléctrica equivale a 0,09 CUC/kW.h, el tiempo de trabajo del equipo es de 2 h/incendio (la instalación no a sido expuesta a incendios), el rendimiento del motor es de 0,85 y la potencia del motor es de 75 kW, según la fórmula 3.1 el costo de bombeo es de 0,159 CUC/incendio, suponiendo de que se realicen

correctamente y sin complicaciones mayores las acciones teóricas previstas en el plan de emergencia de la entidad en cuestión.

También es de vital importancia tener en cuenta que en caso de incendio toda la espuma almacenada se depositaría en los tanques de combustible y esta tiene un precio de 2560,098 CUC/m³, el precio del combustible almacenado en la instalación del 20 de mayo de 2012 es de 639,09 CUC, la reparación de los TK es de 28000 CUC. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Costos en caso de incendio

Portadores	Costos CUC	%
Espuma	51158,16	64,1100515
TK	28000	35,0888586
Combustible	639,09	0,80089067
Bombeo	0,159	0,00019925
Total	79797,409	100

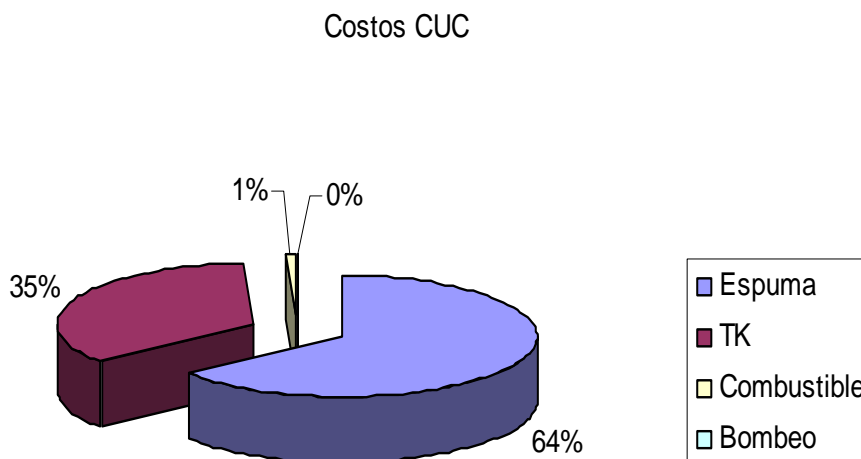


Figura 3.3: Costos en %

En la figura 3.5 se muestran los costos en % de los componentes de la base de combustible en caso de incendio. Estos resultados expuestos serían las pérdidas que ocasionaría un incendio en la base de combustible, siendo la espuma el factor de mayor pérdida dentro de la entidad representando el 64 % de pérdida con un valor de 51158,16 CUC, la reparación de los TK sería el parámetro de mayor pérdida después de la espuma con el 35 % de las pérdidas y un valor de 28000 CUC, el combustible y el costo de

bombeo son las menores pérdidas con 1 % del total de pérdidas y un precio de 639,09 CUC y 0,159 CUC respectivamente.

3.7 Impacto medio ambiental en caso de incendios

Los incendios implican un cambio importante en los factores ecológicos que rigen el funcionamiento de los ecosistemas y dada la importancia que han adquirido en las últimas décadas, constituyen uno de los problemas ecológicos más graves a los que han de enfrentarse los gestores del medio ambiente en nuestro país.

3.7.1 Efecto del fuego sobre los suelos

Calor: La degradación de los suelos tras el incendio va a depender de la intensidad del calentamiento experimentado por aquel y por su duración. Durante un fuego intenso se pueden alcanzar temperaturas de 1200 °C – 1400 °C dentro de la masa en ignición. La superficie del suelo puede alcanzar 1000 °C. A más de 2,5 cm de profundidad nunca se superan los 200 °C. En cualquier caso se trata de temperaturas lo suficientemente altas como para modificar las propiedades del suelo. Estos procesos de calentamiento solo tienen en las capas superficiales del suelo (0 a 5 - 10 cm) ya que este es un mal conductor del calor.

Destrucción de los microorganismos del suelo: En los 2,5 cm superficiales del suelo, afectados por el fuerte incremento térmico, la microflora y microfauna son destruidas en su casi totalidad. Parece ser que los microorganismos fijadores de nitrógeno proliferan durante los cuatro años posteriores al incendio (AHLGREN, 1974). Asimismo, los actinomicetos presentan un estímulo generalizado, mientras que el resto de los hongos presentan una tendencia a disminuir su actividad.

Exposición directa a los agentes ambientales al desaparecer la cubierta vegetal: El suelo desnudo, en tanto no se produzca la colonización vegetal postincendio va a quedar a merced de agentes erosivos como el agua y el viento. Dichos efectos erosivos se van a incrementar como consecuencia de la destrucción de la materia orgánica y de la estructura del suelo.

Cambio en las propiedades del pH: En general se observa que un incendio incrementa el pH del suelo. Las cenizas procedentes del mismo, contienen gran cantidad de carbonato

potásico (CO_3K_2), sal que por proceder de un ácido débil y de una base fuerte, presenta reacción básica cuando se hidroliza, con el consiguiente aumento del pH. Así en suelos ácidos de Galicia se observan incremento de 1 a 2 puntos tras el incendio, para volver a los valores iniciales se necesitan dos años. En suelos básicos, los incrementos son menores y no suele pasarse de los 0,5 puntos.

3.7.2 Condiciones ambientales en la entidad analizada

Las condiciones del ambiente laboral son buenas. No obstante se deben tomar las siguientes medidas de seguridad ambiental:

1. En la estación de bombeo debe colocarse la puerta y las ventanas, para lograr la seguridad del local y prevenir la incidencia directa del medio agresivo predominante en este territorio (salitre, ácido sulfúrico, sulfato de amonio, sosa, amoniaco y azufre, etc.)
2. El grupo de bombeo debe colocarse sobre una base de hormigón y fijarse con expansiones mecánicas para evitar roturas o desperfectos mecánicos motivados por vibraciones.
3. El área perimetral de los tanques y la estación de bombeo debe permanecer limpia de desechos sólidos y malezas para evitar un posible surgimiento de incendio o propagación de este al menos 5m perimetrales a la estación.
4. Se deben pintar las paredes exteriores de los tanques de reserva de agua, así como las paredes interiores y exteriores de la estación de bombeo para protegerlas del medio agresivo.
5. Colocar iluminación externa en la casa de bombas para facilitar las inspecciones visuales reglamentarias del local.
6. La red exterior se deberá soterrar, sobre un lecho de arena de 10 cm correctamente nivelado y compactado, luego de colocar el tubo debe rellenarse la zanja con arena o material fino seleccionado de la excavación, hasta 30 cm por encima de la corona del tubo, este material deberá estar mojado y compactado manualmente. El resto de la zanja debe rellenarse con el material de la excavación y la compactación se hará mecanizadamente. No se verterá material grueso en la zanja.

7. Se deberán colocar refuerzos de hormigón dentro de la zanja, en las inflexiones de la tubería soterrada, así como en el codo de 90° que alimenta los hidrantes exteriores para evitar roturas.

8. Realizar una educación ambiental sobre cómo trabaja el sistema.

9. Los tanques deben limpiarse y dársele una correcta impermeabilización interior, se deben colocar tapas en los registros de limpieza ubicados en el techo.

3.7.3 Medidas para la protección y seguridad de los trabajadores y la instalación

Las reglas y recomendaciones dadas a continuación se aplican para la redacción de documentos normativos de seguridad y siempre que sea aplicable, para la inclusión de los aspectos de seguridad en normas de otro tipo. Ellos son más específicos, siendo adicionales o complementarios, que las reglas y recomendaciones contenidas en la norma ISO / IEC, Parte 3.

La norma especificará toda la información necesaria para el uso seguro que deberá proveerse a las personas involucradas con el proceso o servicio (por ejemplo: instaladores, operadores, usuarios, personal de servicio).

En el caso del sistema contra incendios, las normas indicarán claramente:

- qué información para la seguridad se visualizará en el sistema;
- qué información para la seguridad es esencial hacerlas claramente visibles en la estación de bombeo.
- qué información para la seguridad se darán en manuales de instrucción para la instalación, el uso y el mantenimiento.

Además de esta información, las prácticas seguras de trabajo deberán ser descritas con claridad. Sí se siguen por las personas involucradas, se reducirán significativamente los riesgos.

La seguridad es tratada en la elaboración de las normas de muchas formas diferentes en todas las áreas de la tecnología y para la mayoría de los productos, sistemas, procesos y servicios. El aumento de la complejidad de los términos mencionados, exige que los aspectos de seguridad tengan la más alta prioridad.

3.8 Conclusiones del capítulo

- Se obtuvieron los parámetros fundamentales para la construcción de la curva de la bomba para el sistema de agua por Water Cad (figura 3.1) y la curva de la bomba de espuma se obtuvo en Excel (figura 3.2).
- Quedó demostrado que la mayor pérdida en caso de incendio en la empresa lo causa la espuma para incendio con el 64 % de los gastos totales que tienen un valor de 79797,409 CUC.

Conclusiones generales

- Se obtuvo la curva característica de la bomba del sistema de agua a partir del software Water Cad con un $Q=210,3 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura de bomba de 57,09 m, mientras que para la bomba del sistema de espuma se utilizaron las ecuaciones (2.28 - 2.33) y se obtuvo un $Q=0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ con una altura de 110 m.
- Se determinó que la bomba del sistema de agua trabaja con un caudal de $210,3 \text{ m}^3/\text{h}$, caracterizándose como una bomba rápida, encontrándose divergencia entre los datos brindados por el fabricante al igual que la bomba para el sistema de espuma que trabaja con un caudal de $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$.
- En el análisis de cavitación de la bomba se obtuvo que la bomba no cavita porque se cumple la condición $(NPSH)_d \geq (NPSH)_r$.
- El costo total de las pérdidas en la base de combustible en caso de incendio es de 79797,409 CUC, en los que se incluye la espuma para incendio, los TK, el combustible almacenado y el costo de bombeo.
- Se realizó el análisis medioambiental, como resultado se detalla un grupo de recomendaciones a tener en cuenta para la operación del sistema, así como se un procedimiento para garantizar la seguridad de los trabajadores y del sistema.

Recomendaciones

- Tomar como referencia los resultados expuestos en el trabajo de manera que contribuya positivamente en la toma de decisiones por parte de los operarios y el personal administrativo de la entidad.
- Incluir en el sistema contra incendio de la planta de combustible un equipamiento auxiliar de bombas diesel (**Anexo 2**) o un sistema auxiliar de baterías (Grupo Electrónico) en caso de que no halla fluido eléctrico y exista un incendio.
- Realizar un estudio más a fondo sobre la red de espuma ya que la espuma es el producto de costo más elevado del sistema contra incendio
- Realizar nuevos proyectos con bombas de menor potencia que las actuales ya que estas solo utilizan una parte de su capacidad para el bombeo correspondiente.

Referencias Bibliográficas

1. Aguirre, A. et al. (1996a): "Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua", Vol. I, eds. U. D. Mecánica de Fluidos – Universidad Politécnica de Valencia – Aguas de Valencia S.A., Valencia, España.
2. Alberson, F. (1955): "Reducción de las incrustaciones de magnesio mediante el tratamiento de agua cruda", Nicaro. pp. 7.
3. Bandala, M. (2001): "Pérdidas por fricción en fluidos no newtonianos". Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México , 2001.
4. Bienvenido, J. (1973): "Modelo de un sistema de bomba, tanque y red". Voluntad Hidráulica, No 28.
5. Charm, S. (1971): "Fundamentals of Food Engineering". AVI Pub. Co. WestportConn.pp. 54-93.
6. Cherkasski, V.M. (1986): "Bombas, Ventiladores, Compresores", Editorial Mir, Moscú, Rusia.
7. Columbié, O. M. (2006): "Estudio del transporte de fuel oil desde Mazut hasta la planta de Preparación Mineral perteneciente a la empresa "Ernesto Che Guevara", Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico. ISMMM, p.70.
8. Farrill, G. (1967): "Recirculación del agua de enfriamiento de los tanques de Lixiviación y Lavado", Nicaro.
9. Fernández, H. K. (2003): "Uso del software Epanet 2.0 para el diseño de redes hidráulicas", Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Stgo de Cuba.
10. Gerhart, M. and Gross, J. (1992): "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", eds. Addison – Wesley Iberoamericana, España.
11. Gerhart, M. and Gross, J. (1995): "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", Hochstein, 2 ed, eds. Addison – Wesley, USA.

12. Ibarz, A.; Vélez, J. y Barbosa, G. (2001): "Transporte de alimentos fluidos a través de tuberías". Inéditos: 60 hojas. Universidad de las Américas, Puebla, México.
13. Juregui, S. y Valdés, Y. (1993): "Evaluación de sistemas de bombeo por métodos computacionales". Memorias del 1er. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madrid.
14. Karassik, I. y Carter, R. (1968): "Bombas centrifugas. Selección, operación y mantenimiento", editorial Revolucionaria. La Habana.
15. Karelin, B. (1987): "Fenómeno de cavitación en bombas centrífugas y axiales". Moscú. Construcción de Maquinarias.
16. Kasatkin, A. G. (1985): "Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química". Tomo II, Editorial educación.
17. Kutz, M. (1995): "Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica", Vol. 6, ed. Océano, España.
18. Labarte, G. (2011). "Evaluación del suministro de agua suavizada en la empresa "Cmdte. René Ramos Latour". Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico. ISMMM.
19. Macedo, R. C. (2001): "Manual de Prácticas de Operaciones Unitarias I", Universidad de las Américas, Puebla. México. Inéditos.
20. Martínez y Barreto (2007): "Diseño de un Sistema contra Incendio para una Empresa productora de Cereales". Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil, Ecuador.
21. Martínez, L.; Monteagudo, J. y Jáuregui, S. (2007): "Mecánica de los Fluidos y Máquinas de Flujo", Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos, Cuba.
22. Mastrapa, M. (2006): "Manual de operaciones de planta tratamiento de agua", Nicaro. pp. 88.
23. Nekrasov, B. (1986): "Hidráulica", editorial PAZ, Moscú.
24. Pérez, F. D. (1981): "Equipos de bombeo", editorial Pueblo y Educación. La Habana.

25. NC 212, (2002): "Protección Contra Incendios. Suministro de Agua Contra Incendio. Requisitos Generales.
26. Pérez, M. (2001): "Introducción a la Ingeniería Hidráulica y Ambiental", editorial "Félix Varela". La Habana.
27. Pérez, R. (2000): "Equipos de bombeo". 3ra Edición, Tercera Reimpresión, editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana.
28. Rabinóvich, E. Z. (1987): "Hidráulica", editorial MIR, Moscú.
29. Ramos, N. (1989): "Bombas, ventiladores y compresores", editorial ISPJAE. La Habana.
30. Robert, W. and McDonald, A. (1995): "Introducción a la Mecánica de Fluidos", Cuarta Edición, ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA.
31. Santos, F. y Martín, M. (1999): "Modelos matemáticos para la determinación aproximada de la forma de la característica de trabajo de una bomba centrífuga"; Centro azúcar, N 1.
32. Stepanoff, A. (1959): "Centrifugal and axial flow pumps", editorial, John Willey & Sons. New York.
33. Streeter, L. Victor, (1978): "Mecánica de los fluidos", editorial Ciencia y Técnica, Ciudad de la Habana.
34. Streeter, V.; Benjamin, E. y Bedford, K. (2000): "Mecánica de Fluidos", Novena Edición. McGraw-Hill. Best Seller International, S.A., Santa Fé de Bogotá, Colombia.
35. Talwar, M. (1983): "Analyzing centrifugal-pump circuit". Chemical Engineering, vol. 90, No. 17.
36. Turiño, I. M. (1994): "Determinación aproximada de la característica de funcionamiento de una bomba centrífuga". Centro azúcar, No.1.
37. Turro, B. A. (2002): "Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal", Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM, Moa, 2002. p.154.

38. Vélez, J. (2003): "Apuntes de Ingeniería de Alimentos I", Universidad de las Américas, Puebla, México, Inéditos.
39. Vennard, J.K. y Street, R.L. (1986): "Elementos de mecánica de los fluidos", editorial Revolucionaria. La Habana.
40. Welty, J. R. (1976): "Wicks Fundamentals of momentum, Heat and Mass Transfer". Ed. J. Wiley and Sons. Nueva York, EUA."

ANEXOS

Anexo 1

Valores de los coeficientes de resistencias locales.

Accesorio	ξ
Codo de 90°	0,9
Codo de 45°	0,24
Válvula de cuña	0,11
Válvula de globo	1,06
Coeficiente a la entrada	0,78
Coeficiente a la salida	1
Boquilla	0,89

Fuente: Kasatkin, (1985).

Anexo 2:

Ejemplo característico del equipo de bombeo formado por dos bombas principales, una eléctrica y otro diesel.



Anexo 3

Red hidráulica en Water Cad

