



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
Dr. Antonio Núñez Jiménez
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis en opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: Propuesta de un sistema exterior de agua contra incendios para la base de almacenes de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara"

Autor: Alexander Columbié Matos

Tutor: Ms.C. Héctor Luís Laurencio Alfonso

*Curso académico: 2011– 2012.
"Año 54 de la Revolución"*

Moa – Holguín 2012

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Alexander Columbié Matos, autor de este trabajo de Diploma y el tutor Máster en Ciencias Técnicas Héctor Luis Laurencio Alfonso, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y a la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

Alexander Columbié Matos

Ms.C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Pensamiento

“Educar es preparar para la vida, comprenderla en sus esencias fundamentales, de manera que la vida sea algo que para el hombre tenga siempre un sentido, sea un incesante motivo de esfuerzo, de lucha, de entusiasmo”.

Fidel Castro Ruz

Agradecimientos

Quiero agradecer inicialmente a la Revolución por haberme dado la oportunidad de prepararme para el futuro en este centro de enseñanza superior.

A mi familia, por su apoyo incondicional, amor, confianza y por haberme entendido en los momentos que me necesitaron y no pude estar presente por encontrarme estudiando.

A mi tutor, Ms.C. Héctor Luís Laurencio Alfonso por su dedicación y entrega en el desarrollo de este trabajo.

A mis queridos colegas Ing. Rosa López, Ing. Hernán Leyva Viñales, Calimerio Torres Leyva e Ing. Alexis Noris Garrido por su colaboración y apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.

En fin a todo aquel compañero de trabajo, amigo, vecino que de una forma u otra siempre me dio aliento para seguir adelante.

Muchas Gracias

Resumen

El presente trabajo está motivado por la necesidad de diseñar un sistema de protección contra incendios que proteja a la base de almacenes de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara de hechos de incendios que tantas pérdidas han causado a la economía del país y a la sociedad; en la misma se almacenan recursos económicos ascendente a los 45 millones de pesos y actualmente no cuenta con un sistema que responda oportunamente a los embates de fenómeno como este. En este sentido dirigimos los objetivos del trabajo al diseño de un sistema específico de protección contra incendio que permita de forma rápida, eficiente y con viabilidad económica resolver el asunto en cuestión.

En el trabajo se realizan los cálculos necesarios y se propone un sistema exterior de agua contra incendio para la protección de los almacenes en cuestión, compuesto por una red hidráulica que varían de 0,150 a 0,101 m de diámetro, con la instalación de numerosos hidrantes, los cuales tienen dos salidas de 0,066 m de diámetro para las mangueras y 0,125 m para la conexión de los carros bomberos en todo el perímetro la tubería, así como tres bombas (ITUR), una eléctrica principal, una diesel auxiliar, y una jockey destinadas a garantizar la presión del sistema en correspondencia con los cálculos realizados. Además se consideró necesario garantizar un manual de operaciones de las bombas así como la correspondiente preparación de los trabajadores destinado a la operación del sistema.

Finalmente se realiza la valoración económica e impacto medioambiental, los cuales deben estar en correspondencia con las posibilidades económicas de la entidad en cuestión.

ABSTRACT

The current diploma paper is carried out because of the need of designing a fire protection system which protects the Plant Comandante Ernesto Che Guevara warehouses from fire incidents that bring losses to the economy of the country and the society; in such plant, economic resources valued at \$45 millions of pesos are stored in these facilities and they are currently not having a system in place which can appropriately response to the attacks of such phenomenon. In this respect goals have been set to design a specific fire protection system which would allow in a very fast, efficient way and with economic viability to solve the issue expressed herein.

This paper includes some necessary calculations and a fire extinguishing water system is proposed in order to protect the mentioned warehouses, comprised of a hydraulic grid varying from 0,150 to 0,101 m in diameter, with various hydrants, which will have two outlets of 0,066 m in diameter for hoses and 0,125 m for fire truck connections along the pipeline, as well as three pumps (ITUR), a main electric pump, an auxiliary diesel pump and a jockey pump intended to maintain the system pressure in line with the calculations made. Also considered necessary was a pump operating manual as well as the workers' training for operating the system.

Lastly an economic and environment impact assessment is presented, which must be in correspondence with the economic possibility of the entity in question.



Tabla de contenidos

	Pág.
Introducción.	1
1. Antecedentes y estado actual del diseño de sistema exterior de suministro de agua contra incendios.	6
1.1 Introducción.	6
1.2 Actualidad del tema y justificación	6
1.3 Fundamentos de la mecánica de los fluidos	8
1.3.1 Ecuación de energía en sistemas de tuberías	9
1.3.2 Pérdidas locales	11
1.4 Consideraciones generales sobre los sistemas de suministro de agua contra incendios	12
1.4.1 Descripción del sistema contra incendio existente	12
1.4.2 Sistema de suministro de agua contra incendios	13
1.4.3 Calidad del agua a utilizar en los suministros contra incendios	15
1.4.4 Clasificación de los sistemas de suministro de agua contra incendios	15
1.5 Diseño de redes de distribución de agua	17
1.5.1 Relaciones y restricciones de naturaleza hidráulica	19
1.5.2 Tuberías, materiales y dimensiones	20
1.5.3 Selección de materiales	21
1.6 Características de las máquinas hidráulicas para sistemas de suministro de agua contra incendios	22
1.6.1 Sistemas de impulsión. Características y especificaciones	22
1.6.2 Principales bombas más utilizadas para instalaciones de sistemas de agua contra incendios	23
1.6.3 Principio de funcionamiento	24
1.6.4 Curva característica de la bomba de incendios	25
1.6.5 Selección de las bombas	25
1.7 Conclusiones del capítulo	27
2. Materiales y métodos	28
2.1 Introducción.	28



	Pág.
2.2 Características técnicas de las bombas usadas en sistemas de agua contra incendios	28
2.2.1 Particularidades hidráulicas de las bombas	30
2.3 Procedimientos hidráulicos de funcionamiento de las tuberías	31
2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema	33
2.4.1 Característica del sistema; conexión en serie	34
2.4.2 Conexión en paralelo	35
2.4.3 Conexión ramificada	36
2.4.4 Característica de la red	37
2.4.5 Cavitación en bombas centrífugas	41
2.5 Técnicas e instrumentación empleada	43
2.5.1 Instrumentos principales empleados para el control de los parámetros en el sistema de distribución	43
2.6 Conclusiones del capítulo	45
3. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medioambiental	46
3.1 Introducción al capítulo.	46
3.2 Obtención de los parámetros característicos de operación del sistema contra incendios	46
3.3 Descripción y características de operación del sistema propuesto	53
3.3.1 Análisis de los parámetros característicos de altura positiva de operación del sistema contra incendios	54
3.4 Valoración económica	54
3.4.1 Costo Capital	55
3.4.2 Evaluación económico-financiera	56
3.4.3 Verificación y mantenimiento	57
3.5 Condiciones del ambiente laboral. Medidas de protección y seguridad de los trabajadores y la instalación	58
3.5.1 Condiciones medioambientales	58
3.5.2 Medidas para la protección y seguridad de los trabajadores y la instalación	59



	Pág.
3.6 Conclusiones del capítulo	60
Conclusiones generales	61
Recomendaciones	62
Bibliografías complementarias	63
Anexos	

El municipio de Moa, ubicado en el nordeste de la provincia de Holguín en Cuba, ocupa un lugar céntrico en el macizo montañoso Sagua- Moa- Baracoa, con un área total de 7,012 km² aproximadamente y una población de 72,140 habitantes. Es catalogado como emporio niquelífero localizado en una zona rica en diversos yacimientos lateríticos y serpentínicos, destacándose los minerales ferro-niquelíferos de la corteza laterítica de las rocas ultra básicas, cuyas reservas confiables superan los 800,000,000 de toneladas. Además se localizan otros yacimientos de minerales como el cromo, la zeolita, y otros no metálicos. Actualmente cuenta con dos plantas procesadoras para la producción de níquel más cobalto: la empresa mixta cubano-canadiense “Comandante Pedro Soto Alba”-Moa Nickel S.A y la “Comandante Ernesto Che Guevara”.

La "Comandante Ernesto Che Guevara" (ECG) se localiza al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, en la costa nororiental de Cuba, a 4 kilómetros de la ciudad de Moa. Desde su puesta en marcha en enero de 1986, su producción ha contribuido significativamente a la economía del país, lo que ha favorecido el desarrollo industrial de la zona y el progreso económico y social del territorio al generar fuentes de empleo e inversiones. Esta planta clasifica como empresa de “riesgo de accidente mayor” por las altas probabilidades de ocurrencia de incendios, explosiones, derrames de sustancias tóxicas peligrosas, escapes de sustancias químicas, entre otros factores de riesgos latentes dentro de sus instalaciones. La dirección de Inversiones de esta entidad trabaja en la modernización de los sistemas tecnológicos para mejorar la eficiencia productiva, llevando aparejado las mejoras a los sistemas de protección contra incendios instalados en cada una de sus áreas con el correspondiente asesoramiento de los especialistas de seguridad contra incendios del municipio.

Los sistemas de extinción de incendios existentes en la empresa llevan más de 22 años de explotación con una tecnología rusa obsoleta que actualmente no garantiza la seguridad contra incendios en las diferentes áreas, particularmente en la base de almacenes localizada en reparto Rolando Monterrey, a 3 kilómetros de

distancia de la empresa y a menos de 300 metros de los edificios multifamiliares de la referida barriada. Estos almacenes cubren una superficie de 75,000 m² y dispone de un sistema de agua contra incendios totalmente quebrantado.

En esta base se almacenan las mercancías requeridas para el mantenimiento de la fábrica, los suministros de las inversiones que se ejecutan, así como insumos y reactivos químicos por valor de 45 millones de dólares. Este espacio lo componen 8 almacenes separados entre sí a una distancia promedio de 10 metros. (**ver Anexo 1**).

En este complejo de naves se encuentran otros almacenes pertenecientes a la Empresa de Servicios a la Unión del Níquel (ESUNi) y a la Empresa de Servicios de Computación, Comunicaciones y Electrónica del Níquel (SERCONi), los que se sirven del mismo sistema de agua contra incendios totalmente quebrantado usado por la ECG, el cual no garantiza la protección de estas áreas.

Las principales causas que afectan el funcionamiento del mencionado sistema de agua contra incendios se relacionan a continuación:

1. Grupo de bombeo quebrantado.
2. Redes hidráulicas con avanzado estado de corrosión y perforaciones.
3. Reservorio de agua de 150m³ agrietado.

Teniendo en cuenta los aspectos expuestos, este trabajo tiene como objetivo el diseño de un proyecto que permita la selección de los equipos y accesorios que componen un sistema exterior de agua contra incendios para proteger los intereses económicos de la base de almacenes en cuestión.

Para ello se plantea la siguiente **Situación Problemática**:

El actual sistema exterior de agua contra incendios de la base de almacenes de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, compuesto por un grupo de bombeo, redes hidráulicas y una fuente artificial de abasto de agua, no cumple la función protectora para la cual fue diseñado: está considerablemente deteriorado y presenta un alto grado de corrosión y perforaciones en las estructuras metálicas.

Este sistema es de procedencia rusa, con más de 20 años de explotación y no se le ha podido dar el debido mantenimiento, la red de agua es usada en los servicios industriales y presenta deterioro en las tomas de agua, los equipos de bombeo no cuentan con una segunda fuente de alimentación que garantice el funcionamiento del sistema en caso de que falle la fuente de alimentación prevista,

Atendiendo la situación problemática planteada anteriormente, se definen los siguientes elementos que componen la investigación:

Problema:

Diseño de un sistema específico de protección contra incendios que permita extinguir cualquier incendio de forma rápida, eficiente y con viabilidad económica.

En correspondencia con el problema planteado se considera como ***objeto:***

El sistema exterior de agua contra incendios y su campo de acción en la base de almacenes.

Campo de acción:

La implementación de un sistema contra incendios que cumpla con los indicadores de seguridad de los trabajadores del área y los recursos almacenados en caso de incendio.

Dado el problema a resolver se plantea como ***hipótesis*** que:

El diseño e implementación de un sistema exterior de agua contra incendios, considerando el volumen y tipo de recursos, y la distancia/tiempo de la fuente de agua más próxima, permitirá seleccionar los equipos, redes hidráulicas y agregados necesarios para potenciar la protección contra incendios del factor humano, los recursos económicos y materiales en la base de almacenes, así como reducir las consecuencias ante la ocurrencia de un incendio.

El **objetivo general**:

Diseñar un proyecto que permita crear las condiciones técnicas y de seguridad, para garantizar la protección de los trabajadores, la economía y los recursos materiales en la base de almacenes, bajo criterios técnico-económicos.

Los **objetivos específicos** son:

- Describir el nivel de vulnerabilidades y de no operatividad del actual sistema contra incendios.
- Establecer la metodología de cálculo para el diseño del nuevo sistema contra incendios.
- Describir el sistema contra incendios propuesto.
- Analizar las incidencias económicas y medioambientales del diseño de la conductora del nuevo sistema.

Para darle cumplimiento a los objetivos específicos, se acometerán las siguientes **tareas**:

1. Estudio de bibliografías actualizadas y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Estudio de las variantes, para el diseño óptimo del sistema exterior de agua contra incendios.
3. Establecimiento del procedimiento de cálculo para la selección de los equipos, tuberías y agregados.
4. Valoración técnico-económica en correspondencia con el impacto ambiental.

Valor social de la tesis

El trabajo es considerado de gran aporte social al contribuir con la protección de la vecindad próxima a la instalación, minimizando los residuos gaseosos de un posible proceso de combustión, como pueden ser: aumento de la temperatura, grandes emanaciones de humo, que en el mejor de los casos, serían tóxicos dadas las características de muchos de los materiales almacenados en estas

instalaciones. Además, este sistema favorecerá en gran medida la protección del medio ambiente moense. Por consiguiente, el óptimo funcionamiento de este posibilitará el combate oportuno de los incendios que puedan ocurrir y, de esta forma, se mitigarán las consecuencias directas e indirectas resultantes.

Idea del tema

El sistema propuesto posee cierta novedad y tiene diferencias respecto a los existentes en la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara, Empresa Mecánica del Níquel y otros en el municipio. La principal ventaja son dos subsistemas que poseerá: uno eléctrico principal y otro de combustión interna. Otra ventaja es el tipo de tubería que usará.

Se distingue por ser un sistema de una tecnología de avanzada. Está diseñado para dos bombas principales: una eléctrica y otra diesel que funcionará auxiliariamente en caso de avería en la eléctrica, las tuberías propuestas son de PVC¹ de alta calidad y resistente a los esfuerzos tangenciales, las cuales serán soterradas para evitar posibles averías y protegerlas de choques mecánicos que puedan entorpecer su correcto funcionamiento. Finalmente se instalarán hidrantes de columna húmeda distribuido racionalmente por todo el perímetro de la tubería.

¹ PVC = Policloruro de vinilo, plástico clorado o simplemente vinilo, con el que se fabrican desde tuberías hasta botellas de agua mineral, añadiéndole los aditivos (la mayoría tóxicos) adecuados.

CAPÍTULO 1. Antecedentes y estado actual del diseño del sistema exterior de suministro de agua contra incendios

1.1 Introducción

El presente capítulo está fundamentado en la necesidad de diseñar y calcular el sistema de suministro exterior de agua contra incendios de la base de almacenes de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Para ello se aplicarán técnicas modernas en la búsqueda de soluciones satisfactorias que contribuyan a minimizar las pérdidas de vidas humanas, recursos económicos y materiales.

Objetivo del capítulo: exponer las leyes y normas fundamentales y estudios precedentes sobre sistemas de suministro de agua para la protección contra incendios.

1.2 Actualidad del tema y justificación

Cuba no comienza un desarrollo de los estudios hidráulicos a sistemas contra incendios hasta después del triunfo de la Revolución. Estos estudios constituyen una de las bases principales del progreso científico-técnico. Sin embargo, habría que remontarse a la época colonial cuando el ingeniero Francisco de Albear, proyectista y constructor del acueducto que surte de agua a La Habana, y algunos hidráulicos anónimos que durante dos siglos desarrollaron el sistema de regadío conocido como la comunidad de regante de Güines (Rodríguez Fonseca, 2011).

El proceso de producción, almacenamiento, manipulación y empleo de sustancias y materiales combustibles relaciona los riesgos de incendios a prácticamente todas las actividades productivas y de servicios que se ejecutan. En este contexto, es fundamental dentro del sistema de gestión de la protección contra Incendios en las entidades la creación de condiciones técnico-ingenieriles que permitan disminuir la magnitud de los incendios cuando se produzcan.

Las características propias y las condiciones de peligrosidad de cada entidad determinan los medios técnicos de protección contra incendios necesarios y racionales, los que deberán estar siempre disponibles y ser fiables, sometiéndolos

a un mantenimiento sistemático y una conservación segura. (Norma Cubana 212 de 2002 - Suministro de agua contra incendios).

El trabajo está motivado por la necesidad de protección de esta base de almacenes contra incendios. Debido al permanente riesgo que se corre por no contarse con un sistema eficaz, tanto de detección como de extinción de incendios, a continuación se muestra el historial de hechos importantes de incendios en la ECG, entre 2002 y 2004 y se cuantifican las pérdidas directas resultantes:

1. 29 de abril del 2002. Incendio en la estación de bombeo de la planta Potabilizadora de Agua con pérdidas ascendente a USD \$ 1,350, 000.00.
2. 27 de agosto del 2002. Incendio en la Subestación Eléctrica 1 TP-2 de la planta de Lixiviación y Lavado, con pérdidas ascendente a USD \$ 1,850,685.39.
3. 13 de junio del 2002. Explosión interior del electro filtro #3 de la planta de Calcinación y Sinter con un costo de USD \$1,500,900.00.
4. 2 de noviembre del 2004. Incendio en la Línea 1SD-4 que provocó 101 horas de afectación a la producción de níquel, con un valor estimado de USD \$293,280.
5. 20 de abril del 2004. Explosión en el gabinete 64 que alimenta el compresor 23 de la planta Termoeléctrica, con una afectación a la producción de níquel de USD \$250,898.30.

Estos hechos de incendios causaron pérdidas directas ascendentes a USD \$ 5,245,763.69.

6. El 2 de julio de 2011 a las 20 horas la ECG detuvo sus operaciones por tres días, debido a una explosión en un transformador de la subestación 048 de 6kV ubicada en la planta Termoeléctrica. Las pérdidas por este concepto ascendieron aproximadamente a medio millón de dólares estadounidenses y considerables afectaciones al medio ambiente.

A la luz de esta realidad, resulta necesario realizar acciones de coordinación para garantizar la proyección y montaje de los sistemas contra incendios necesarios, de conjunto con las autoridades competentes no sólo en la base de almacenes en cuestión, sino también en otras áreas que lo requieran, estableciendo criterios técnico-económicos que faciliten las acciones pertinentes en función de acometer la protección de estas instalaciones contra posibles hechos de incendios.

Para proyectar y explotar con efectividad el equipamiento de las instalaciones hidráulicas, es necesario seleccionar correctamente el equipamiento o la variante para las condiciones correctas de explotación de la instalación, a partir del análisis del régimen de trabajo requerido para lograr una operación económica del sistema.

Dentro de las actividades que inciden a largo plazo sobresalen:

- la información,
- el planeamiento,
- la investigación,
- la normalización, y
- la educación.

En estas actividades no está definido el objeto sobre el que se influye, ni puede precisarse con exactitud el alcance de las decisiones en cuanto al espacio o tiempo. No obstante, son de una importancia extraordinaria, por cuanto las decisiones que en ellas se toman ocupan jerárquicamente un escalón superior y, por tanto, preceden en tiempo a las decisiones que se toman en las actividades que inciden a mediano y corto plazo (Echavarría, 2009).

1.3 Fundamentos de la mecánica de los fluidos

La ciencia de la ingeniería de la mecánica de los fluidos se ha desarrollado gracias al entendimiento de las propiedades de los fluidos, a la aplicación de las leyes básicas de la mecánica y la termodinámica y a una experimentación ordenada. Sin

importar su naturaleza, todas las situaciones de flujo pueden expresarse en forma analítica a partir de las relaciones siguientes (Marks, 1982; Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Gerhart and Gross, 1992, 1995; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007):

1. Las leyes de movimiento de Newton.
2. La relación de continuidad (ley de conservación de la masa).
3. La conservación de la masa aplicada a mezclas de componentes dentro del fluido.
4. La primera y segunda leyes de la termodinámica.
5. Las condiciones de frontera.

También pueden tenerse en consideración otras relaciones y ecuaciones, tales como una ecuación de estado o la ley de viscosidad de Newton.

Un fluido newtoniano es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante sin importar qué tan pequeño sea ese esfuerzo cortante. Un esfuerzo cortante es el 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; Kuttz, 1995; Robert and McDonald, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

1.3.1 Ecuación de energía en sistemas de tuberías

La energía que aparece en todos los ámbitos de la física: mecánica, electricidad, fisicoquímica, hidráulica, entre otros, es un nexo de unión entre estos y otros campos como la economía y el medio ambiente (Cardona y Clos, 2001). La primera ley de la termodinámica establece que el calor Q_H añadido a un sistema, menos el trabajo W hecho por el sistema, depende únicamente de los estados inicial y final del sistema. La diferencia en el estado del sistema, siendo independiente de la trayectoria desde el estado inicial al final, debe ser una propiedad del sistema (Streeter et al., 2000; Faires, 2006). En cualquier sistema

cerrado, la variación de la energía es igual a la transferencia de calor entregado al sistema y el trabajo realizado, durante un cierto intervalo de tiempo.

La hidráulica es la rama de la física que estudia el comportamiento de los líquidos en reposo o en movimiento (Streeter et al., 2000). Para las aplicaciones hidráulicas, la energía es expresada en unidades de energía por unidad de peso, donde se obtiene como resultado, unidades de longitud. La utilización de estas “longitudes equivalentes” permite una representación gráfica más simple de la situación en cuestión. La energía, en un punto cualquiera de un sistema hidráulico, está definida por tres componentes (Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007):

- Elevación (z)
- Altura de presión (p/γ)
- Altura de velocidad ($v^2/2g$)

A un sistema hidráulico se le puede entregar o quitar energía, ya sea a través de la incorporación de bombas o bien mediante pérdidas por roce y singularidades respectivamente.

El trabajo aportado al volumen de control puede ser debido a las fuerzas de presión que actúan sobre la superficie de control, y a las fuerzas de arrastre sobre el fluido, por ejemplo: un pistón que actúa en un émbolo, o al par aplicado en un eje de rotación, como es el caso de bombas centrífugas. El calor disipado a través de la superficie de control engloba las pérdidas de carga por fricción y la variación de la energía interna del fluido (aumento de la temperatura del mismo) (Aguirre et al., 1996). De modo que la ecuación de Bernoulli puede expresarse en su forma más general como (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Aguirre et al., 1996a; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

El factor de fricción es función de dos parámetros adimensionales:

- Número de Reynolds (Re), que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. Está en función de la velocidad del fluido, el diámetro de la tubería y la viscosidad cinemática, que a su vez, está en

función del tipo de fluido y la temperatura, (**ver Anexo 2, tabla 1**) (propiedades físicas del agua).

- Rugosidad equivalente, está en función del diámetro y la rugosidad del material de la tubería.

Existen otras ecuaciones para determinar las pérdidas por fricción, asociadas al flujo de un líquido a través de una tubería a presión. Las más utilizadas son las ecuaciones de Hazen-Williams y Manning. Sin embargo, la ecuación de Darcy-Weisbach es aplicable a una amplia gama de fluidos incompresibles sin importar su temperatura, mientras que las ecuaciones de Hazen-Williams y Manning están basadas en un trabajo empírico y solamente son aplicables a sistemas de conducción de agua. En todos los casos el cálculo de las pérdidas por fricción es función de la velocidad del fluido y de la resistencia que presentan las paredes de la tubería al paso del flujo (rugosidad).

El factor de fricción está en función del número de Reynolds del flujo, el cual depende de la velocidad del fluido y esta a su vez de la descarga. La ecuación de Colebrook & White, implícita para f , se resuelve interactivamente por ensayo y error, con la aplicación de algún método de aproximaciones sucesivas.

1.3.2 Pérdidas locales

Las pérdidas de energías locales o singulares pueden surgir en áreas localizadas de turbulencia por variaciones en la sección transversal de las tuberías o por la presencia de elementos singulares tales como: válvulas, cambios bruscos de dirección, entre otros, (**ver Anexo 3, Figura 1**), (accesorios típicos). En ocasiones se consideran despreciables, en comparación a las pérdidas por fricción, por lo que serían descartadas del análisis. Cuando en un sistema de tuberías las pérdidas locales son numerosas, con relación a la longitud de estas, las caídas singulares de energía tendrían un impacto significativo en las pérdidas totales del sistema.

Se expresan generalmente como una fracción de altura de velocidad a diámetro nominal (caso válvulas y codos); aunque en secciones de diámetro variable

(estrechamientos y ensanchamientos) casi siempre se especifica el diámetro a que está referida dicha fracción (Ravinovich, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Streeter et al., 2000; Martínez et al., 2007).

1.4 Consideraciones generales sobre los sistemas de suministro de agua contra incendios

La Oficina Nacional de Normalización es el organismo nacional de la República de Cuba que representa el país ante las organizaciones nacionales y regionales de normalización. La preparación de las normas cubanas se realiza generalmente a través de los comités técnicos de normalización y se basa en evidencias de consenso donde ha prevalecido la participación de diferentes organismos del Estado en función de unificar criterios en bien de la seguridad de los trabajadores, recursos económicos y materiales.

En este orden se puede definir que la necesidad de instalación de los sistemas de suministros de agua contra incendios está recogida en normas cubanas, las cuales establecen los requerimientos técnicos para el diseño ubicación y montaje de estos sistemas.

La Norma Cubana 212 de 2002 establece los sistemas de suministro de agua utilizados para la alimentación de las instalaciones específicas de extinción de incendios, las necesidades de protección y los requisitos generales a cumplir por dichos sistemas.

1.4.1 Descripción del sistema contra incendios existente

En la actualidad la seguridad contra incendios de la base de almacenes de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara no está garantizada: cuenta con un sistema de tecnología rusa con más de 20 años de explotación, totalmente quebrantado donde el sistema de impulsión está conformado solamente por un motor eléctrico en muy mal estado, las tuberías e hidrantes son metálicas con un elevado grado de corrosión y daños mecánicos en todo su perímetro, El tanque de reserva de agua fue diseñado para un volumen de 150m³, construido con muros de bloque macizados y cubierta de losas prefabricadas de hormigón. Este depósito está en buen estado técnico estructuralmente, aunque presenta algunas

grietas en las paredes, las cuales no permiten la retención del agua por un tiempo prolongado.

(ver Anexo 4. Figura 1). Fotos de la bomba, tanques y tuberías del sistema exterior de agua contra incendios.

1.4.2 Sistema de suministro de agua contra incendios

Un sistema de suministro de agua contra incendios es un conjunto de elementos encargados de transportar el fluido líquido desde los puntos de suministro hasta los puntos de consumo. Está constituido por fuentes de abastecimiento de agua, medios de impulsión, tuberías y otros elementos como válvulas, elementos de unión, elementos de medición, entre otros, que deben ser dimensionados adecuadamente para suministrar los caudales demandados, en uno o varios sistemas específicos de protección contra incendios. En tal sentido será necesario mantener presiones adecuadas en la red. 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., 1996b).

- Los términos y definiciones más generales en los sistemas de suministro de agua contra incendios son:

Fuente de abasto de agua contra incendios

Suministro natural o artificial, capaz de garantizar el consumo de agua requerido por la instalación de protección contra incendios, durante el tiempo de autonomía requerido.

Sistema de impulsión

Conjunto de medios o condiciones naturales que permite mantener las exigencias de presión y consumo requeridos.



Red general de distribución de protección contra incendios

Conjunto de tuberías, válvulas, equipos y accesorios que permite la conducción del agua desde las fuentes de abastecimiento hasta los puntos de conexión de cada sistema específico.

Sistema específico de protección contra incendios

Sistema de protección contra incendios, propiamente dicho (sistema interior y exterior, sistema de rociadores, sistema de agua pulverizada, espuma, etc.), incluyendo la conexión específica a partir de la red general de distribución de agua contra incendios.

Sistema exterior de agua contra incendios

Sistema de suministro de agua contra incendios cuyas tomas están situadas en el exterior de las edificaciones, compuesto por una fuente de abastecimiento de agua, medios de impulsión, una red de tuberías para la distribución del agua y los hidrantes exteriores.

Sistema mixto de agua contra incendios

Sistema de suministro de agua contra incendios cuyas tomas están situadas en el interior y exterior de las edificaciones, compuesto por una fuente de abastecimiento de agua, medios de impulsión, una red de tuberías para la alimentación de agua y bocas de incendio equipadas e hidrantes.

Hidrante

Componente de protección contra incendios conectado a una red de suministro de agua en caso de incendio en todas las fases del mismo. Los hidrantes estarán formados por el cuerpo, mecanismo de cierre, mecanismo de accionamiento y bridas de conexión, destinado para el uso exclusivo del Cuerpo de Bomberos u otro personal debidamente entrenado.

1.4.3 Calidad del agua a utilizar en los suministros contra incendios

El agua a utilizar en las instalaciones de protección contra incendios será preferiblemente dulce y limpia. Se aceptará agua salada o de cualquier otro tipo, si se tienen en cuenta sus características químicas en la selección de los equipos, tuberías, válvulas y accesorios que componen el sistema de suministro de agua y los sistemas de protección contra incendios y sea aceptado por la autoridad competente.

Cuando se empleen aguas que puedan ser agresivas para los componentes del sistema de protección contra incendios, las tuberías en estado de reposo, se mantendrán cargadas con agua dulce no agresiva (NC 212 2002. Suministro de agua contra incendios). En este caso, la reposición de fugas también se realizará con agua de estas características desde una fuente de abastecimiento segura y fiable.

Después de cada utilización se procederá al lavado y limpieza por flujo, con agua dulce, de todo el sistema de protección contra incendios antes de dejarse en estado de reposo. Este caso se da con la utilización del agua de mar en sistemas de suministro de agua a sistemas de protección contra incendios.

1.4.4 Clasificación de los sistemas de suministro de agua contra incendios

Los sistemas de suministro de agua contra incendios se clasifican en tres clases:

- Suministro sencillo.
- Suministro superior.
- Suministro doble.

A cada tipo de instalación de protección contra incendios se le exigirá una clase de sistema de suministro mínimo aceptable (sencillo o superior). El suministro doble proporciona una fiabilidad mayor.

- a) Los sistemas exteriores de agua contra incendios serán como mínimo de la clase superior.

- b) Los sistemas interiores de agua contra incendios serán como mínimo de la clase sencillo.
- c) Las clases de suministro del resto de las instalaciones de agua y espuma (agua pulverizada, rociadores, etc.), se establecerán en sus normas específicas correspondientes.

Sistema de suministro sencillo (ver Anexo 5. Figura 1)

Se consideran como suministro de agua **sencillo** los siguientes:

- a) Red de acueducto de uso público, cuando esta red no cumpla con las condiciones del sistema de suministro superior, con equipo de bombeo automático, si es necesario.
- b) Depósito para la alimentación de bombas o fuente inagotable, con equipo de bombeo automático.
- c) Depósito de presión.

Sistema de suministro superior. (ver Anexo 5. Figura 2)

Se consideran como suministro de agua **superior** los siguientes:

- a) Red de acueducto de uso público que cumpla las siguientes condiciones:
 - Que esté alimentada por sus dos extremos, de los cuales cada uno sea capaz de asegurar el consumo y presión necesarios, instalando dos o más equipos de bombeo automático si es preciso.
 - Que se realice la conexión de toma a la red de acueducto entre dos válvulas de cierre, de manera que una avería en una parte de la red de acueducto no afecte al suministro de la otra parte.
- b) Depósito elevado tipo A, B o C.
- c) Depósito para alimentación de bombas tipo A o B, con 2 equipos de bombeo automático.

Sistema de suministro doble

Los sistemas de suministros de agua doble comprenden dos sistemas de suministro de agua sencillo (NC 212 2002. Sistema de suministro de agua contra incendios), donde cada uno es independiente del otro. Cada uno de los sistemas de suministro que forman parte de un suministro doble cumplirá con los requisitos de presión y consumo requeridos para la instalación que abastecen. **(ver Anexo 6. Figura 1, inciso a)**

Cuando se exijan dos depósitos para suministro doble se admite el uso de un depósito dividido en dos partes independientes, siempre que cada uno cumpla las condiciones de capacidad y seguridad, **(2 x b)** o **(b + c)**, especificadas para los depósitos separados. El abastecimiento del sistema debe quedar totalmente asegurado por cualquiera de las partes en el caso de que la otra parte esté fuera de servicio por limpieza, mantenimiento u otras causas.

En sistemas con dos equipos de bombeo, solamente uno de ellos podrá ser eléctrico (NC 212 2002. Sistema de suministro de agua contra incendios), a no ser que existan dos fuentes de energía eléctrica que cumplan las siguientes condiciones:

- a) Independencia total (dos suministradores o generadores autónomos).
- b) Conmutación automática, en cuadro independiente de los de control del grupo de bombeo.
- c) Potencia en cada una igual o superior a la máxima demandada por todos los motores en consumo simultáneo, en este caso ambos pueden ser eléctricos.

1.5 Diseño de redes de distribución de agua

El propósito de la actividad de diseño de redes de distribución de agua es la concepción, cálculo y dimensionamiento de las obras que sean necesarias según los objetivos fundamentales de la tarea de ingeniería. El diseño ha de basarse tanto en los requerimientos técnicos como en los económicos, teniendo en cuenta

que la solución no debe ser tan exquisita que requiera una inversión excesiva y, por otro lado, el abaratamiento de las obras no debe hacerse a cambio de soluciones técnicas pobres (Martínez, 2000). Se hace necesario lograr la optimización de ambos criterios, en correspondencia con la tarea en estudio, según las condiciones que prevalezcan en el presente y se puedan prever en el futuro.

Para el dimensionamiento hidráulico de la red se utiliza habitualmente modelos de régimen permanente y se busca que el sistema trabaje incluso en las condiciones más críticas de servicio (Aguirre et al., 1996b), por lo que se debe realizar la prueba del sistema a plena capacidad de trabajo, para verificar su correcto funcionamiento en los puntos más críticos de este.

Dada la complejidad y variedad de circunstancias que pueden presentarse en la concepción de una red de distribución de agua, es difícil concebir una metodología general que satisfaga todas las exigencias de diseño. El tipo de proceso a seguir para el diseño estará condicionado por diversas circunstancias como las siguientes:

- a) Red de nueva implantación versus ampliación y/o rehabilitación de una red existente (González, 2007). Debido a que es usual que casi todas las instalaciones de alto riesgo están dotadas con sistemas de abastecimiento de agua contra incendios, es más frecuente el diseño de ampliaciones y mejoras de una red existente, debido al crecimiento de las instalaciones protegidas por este sistema y al deterioro de las condiciones de la red de abasto.
- b) Definición del trazado y dimensionamiento de la red. Si la trayectoria está predeterminada, el problema se limita a escoger los diámetros más apropiados para las tuberías, pero adquiere una complejidad inusitada cuando se combinan ambas fases, puesto que el trazado definitivo del sistema, sirve de base al dimensionado del mismo y es a su vez una incógnita en el diseño. El problema de optimizar la trayectoria puede ser abordado desde dos puntos de vista bien

diferentes: el primero supone una total libertad para ejecutar el trazado de la red en el espacio físico previsto (Rousset, 1971; Bhavé and Lam, 1983).

El segundo punto de vista consiste en la selección de posibles alternativas de trazado. El conjunto de alternativas suele ser discreto y el problema se limita a seleccionar la más económica durante la optimización de la trayectoria (Rowell and Barnes, 1982; Awumah et al., 1989).

c) Redes ramificadas y redes malladas: Aunque la topología no es en sí misma un condicionante para el diseño, las diferencias conceptuales entre redes ramificadas y malladas justifican la utilización de métodos diferentes. Cuando la economía en la inversión es el principal objetivo, la opción más adecuada es sin duda una configuración ramificada (Tecnología del Agua, 1994). Sin embargo, otros condicionantes no económicos pueden conducir a la elección de una configuración de tipo mallado, como puede ser la seguridad en el suministro ante eventuales averías y roturas. En este caso la formulación del problema de diseño resulta mucho más compleja que en el caso de sistemas ramificados, porque es necesario conocer el caudal que circula por la tubería para determinar su diámetro, pero este caudal es a su vez función del diámetro de la propia tubería y de los diámetros de las restantes tuberías que conforman la malla.

1.5.1 Relaciones y restricciones de naturaleza hidráulica

Desde el punto de vista topológico, una red de distribución de agua se compone de nodos y líneas. Los nodos corresponden a los puntos del sistema donde físicamente se produce una aportación o un consumo de caudal, o pueden ser simplemente puntos de conexión donde confluyen varias tuberías. Los nodos están unidos entre sí mediante líneas, que identifican elementos de transporte (tuberías) o cualquier elemento singular que provoque cambios en la energía específica del fluido (por ejemplo: bombas y/o válvulas). (Rodríguez Fonseca, 2011).

Cada línea queda caracterizada hidráulicamente por una serie de variables; en el caso de una línea que corresponde a una tubería, las cuatro variables hidráulicas

fundamentales son: velocidad v , caudal Q , diámetro D , y pérdida de carga h_f . Existen dos ecuaciones básicas que ligan obligatoriamente estos cuatro parámetros en cada línea, la ecuación de continuidad y la ecuación de pérdidas (Ravinovich, 1986; Pérez, 1986; Nekrasov, 1990; Kuttz, 1995; Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007):

Ecuación de continuidad:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \quad (1.1)$$

Donde:

Q -caudal del líquido (l/s).

D - diámetro de la tubería (m).

v - velocidad del flujo (m/s).

La ecuación de continuidad se plantea como la relación $Q = f(v, D)$ para el caso de conductos de sección circular. En el caso de la ecuación de pérdidas se recomienda utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach porque es consistente dimensionalmente y es la más utilizada con este fin.

En un modelo de análisis en régimen permanente de una red hidráulica mallada se hace uso de dos leyes generales, que se cumplen independientemente de la configuración y los elementos que componen la red y que constituyen una particularización de las ecuaciones generales de conservación de la masa y la energía aplicada al flujo de un fluido incompresible a través de un sistema de tuberías a presión. Se conocen como las Leyes de Kirchoff (Ravinovich, 1986; Pérez, 1986; Nekrasov, 1990; Fleites, 2002).

1.5.2 Tuberías, materiales y dimensiones

En este punto se definen los diferentes tipos de tuberías que se emplean de forma habitual en redes generales para sistemas exteriores de suministro de agua contra incendios.

Los datos expuestos a continuación serán aplicables a los materiales empleados en sistemas de protección contra incendios, aunque según el tipo de sistemas de que se trate, puede haber otro u otros materiales de posible utilización en los mismos, tales como el cobre en los sistemas de rociadores automáticos, y diferentes criterios de utilización o instalación.

Las tuberías empleadas en redes generales de incendio, no sufrirán colapso o rotura en condiciones de baja presión residual o de vacío. Las tuberías de fundición, en especial la gris, hormigón y fibrocemento serán capaces de soportar presiones internas comprendidas en el margen de 0,014 – 6,9 kPa con una presión exterior de 175 kPa sin sufrir daño alguno (APCI, 2010)

En ninguna parte de una red general de distribución de incendio o sistema de protección se utilizarán tuberías con diámetros inferiores a 25 mm, salvo en los casos especiales en que se acepte.

Cuando se esperen problemas de corrosión o de erosión, las tuberías empleadas tendrán un espesor de pared mayor que el requerido por las condiciones de diseño.

➤ En las redes generales de incendios pueden emplearse tuberías de los siguientes materiales:

- a) Acero
- b) Fundición.
- c) Plástico.

A continuación se relacionan las principales características de las tuberías de cada uno de estos materiales, así como algunas ventajas y desventajas que se deben seguir para que su empleo sea «adecuado» o «aceptable» en redes generales para sistemas exteriores de suministro de agua contra incendios.

1.5.3 Selección de materiales

La selección del material de una red general de distribución de incendios se hace en función de diversos factores, como, la calidad, el coste, la resistencia

mecánica, la resistencia a la corrosión, la facilidad de instalación y/o mantenimiento, entre otros.

Salvo los condicionantes específicos que puedan darse en algunas circunstancias, por ejemplo, la necesidad de que no existan fugas de ningún tipo, ambientes extremadamente corrosivos, etc., la selección debe hacerse de manera que se consiga el mejor equilibrio entre todos los factores. Se dará mayor o menor importancia a los factores de selección en función de la clasificación del riesgo, valores económicos expuestos, riesgo de incendios y las condiciones específicas que afecten a la selección del material de la red general de incendio.

1.6 Características de las máquinas hidráulicas para sistemas de suministro de agua contra incendios

Las máquinas hidráulicas para sistemas contra incendios tienen un uso aceptado en sistemas de suministro de agua, las cuales son únicamente pertenecientes a la familia de las bombas **centrífugas**, ya sean verticales u horizontales, existiendo dos clases de bombas con funciones diferentes:

Bomba principal. Es la bomba destinada a garantizar la presión y el caudal necesario en los sistemas de protección contra incendios. En una instalación pueden existir una o más bombas principales.

Bomba (jockey). Es una bomba destinada a mantener presurizada la red general de distribución de agua contra incendios y a reponer las fugas admisibles en la misma.

1.6.1 Sistemas de impulsión. Características y especificaciones

Un equipo de bombeo, empleado como sistema de impulsión en un suministro de agua para sistemas de protección contra incendios, estará compuesto por los siguientes elementos:

- Bombas principales.
- Bomba jockey.
- Cuadros de control.

- Accesorios y material diverso (tuberías, valvulerías, presostatos, manómetros, etc.)

Las bombas principales serán centrífugas horizontales o verticales aprobadas para su uso en sistemas de suministro de agua para sistemas de protección contra incendios. Dentro de las bombas centrífugas horizontales se admitirán, como adecuadas, por orden de preferencia, las de cámara partida horizontalmente y las de cámara partida verticalmente. (**ver Anexo 6, Figuras 1 y 2**).

Un equipo de bombeo de protección contra incendios siempre será capaz de satisfacer el punto de demanda (P y Q) de los sistemas de protección contra incendios más desfavorables que puedan funcionar simultáneamente.

1.6.2 Principales bombas más utilizadas para instalaciones de sistemas de agua contra incendios

Bomba centrífuga: Bomba en la que la presión se desarrolla principalmente por efecto de la fuerza centrífuga.

Bomba horizontal: Bomba centrífuga cuyo eje se encuentra normalmente en posición horizontal.

Bomba horizontal tipo caracol o de cámara partida verticalmente: Bomba horizontal en la que el desmontaje de la carcasa se realiza en un plano perpendicular al eje de la bomba. Los planos de las bridas de aspiración y de descarga son, respectivamente, perpendicular y paralelo al eje de la bomba.

Bomba horizontal de cámara partida horizontalmente: Bomba horizontal cuya cámara está dividida por un plano que contiene el eje de la bomba. Los planos de las bridas de aspiración y de impulsión son paralelos al eje de la bomba.

Bombas funcionando en paralelo: Son aquellas dispuestas de manera que suman caudales a la misma presión.

Bombas funcionando en serie: Son aquellas dispuestas de manera que suman sus presiones al caudal que circula por ellas.

1.6.3 Principio de funcionamiento

Las bombas principales no deberán arrancar de forma periódica para mantener presurizada la red. Para este uso, y la reposición de las fugas admisibles, los equipos de bombeo de abastecimiento de agua a sistemas de protección contra incendios cuentan con las bombas conocidas como «jockey». Estas bombas son de arranque y parada automática, mediante presostatos que actuarán ante la bajada de presión en la red, aunque también contarán con arranque y parada manual; serán normalmente bombas centrífugas horizontales de platos y contarán, al igual que las bombas principales, con una válvula de compuerta de husillo ascendente en el colector de aspiración, una válvula de retención y una de compuerta de husillo ascendente o de mariposa en el de impulsión.

Para el control del funcionamiento de la bomba «jockey» y para comprobar la existencia de fugas importantes en la red general de incendios, existirán un doble piloto que señale el funcionamiento de la bomba y un cuenta-arranques de la misma. También es recomendable la existencia de un cuenta horas del funcionamiento.

La presión de tarado en el presostato de arranque de la bomba «jockey» será igual a la presión nominal de la bomba principal, más la presión estática de aspiración, más 70 kPa y la presión de tarado del presostato de parada de la bomba «jockey» será la de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

La presión de tarado de los presostatos de arranque de las bombas principales será la presión nominal de la bomba 15 %, siempre que en este margen la presión sea al menos 50 kPa menor que la de tarado del presostato de arranque de la bomba «jockey». La diferencia de presión de tarado de los presostatos de arranque de las bombas «jockey» y principal estará comprendida preferiblemente en el margen de 50 a 100 kPa. Un margen similar se empleará entre las presiones de tarado de las bombas principales y las de reserva.

El caudal dado por la bomba «jockey» será capaz de reponer las fugas admisibles en la red de agua en menos de diez minutos ó $5 \text{ m}^3/\text{h}$, cualquiera que sea mayor (APCI², 2010).

1.6.4 Curva característica de la bomba de incendios

Con el fin de:

1. Asegurar un funcionamiento hidráulico estable.
2. Evitar presiones que puedan suponer el fallo mecánico de los elementos de la instalación.
3. Limitar a niveles razonables el dimensionamiento de los elementos de la instalación.
4. Limitar las presiones que puedan suponer un riesgo en el manejo de los medios manuales.

La curva característica cumplirá con las siguientes condiciones:

1. La presión será siempre decreciente con el caudal.
2. La presión a caudal cero será menor de 1,4 veces la presión nominal.
3. La presión a 1,5 veces el caudal nominal será mayor de 0,65 veces la presión nominal.

1.6.5 Selección de las bombas

El equipo de bombeo de incendio más usual, pero no el único, es el formado por 2 bombas principales, una con motor de accionamiento eléctrico y el otro diesel, capaz cada una de ellas de satisfacer las prestaciones requeridas al suministro de agua.

Las bombas principales se seleccionarán dentro del rango de operación del 90 al 150 % de su capacidad nominal.

² APCI = Agencia de Protección Contra Incendios sito en Aguiar N° 611 - Esq. Sol y Muralla, Habana Vieja, La Habana, Cuba.

En general, no se recomienda superar el punto $Q_0 = 1,4 Q$ al encontrarse en este punto muy cerca del final de la curva.

La(s) bomba(s) se seleccionará(n) de manera que el máximo caudal de demanda (Q_{DMAX}) sea:

$$0,9 Q_N \leq Q_{DMAX} \leq 1,4 Q_N,$$

Siendo el rango en el que se optimiza la relación calidad/economía:

$$1,2 Q_N \leq Q_{DMAX} \leq 1,3 Q_N,$$

En cualquier caso, el punto de demanda de cualquier supuesto de funcionamiento quedará por debajo de la curva característica de la bomba elegida. En este margen es en el que se obtiene un mejor equilibrio entre seguridad y economía.

Las variables de operación comunes de una bomba son:

- El caudal (Q),
- La carga (H),
- La velocidad de rotación (n),
- La eficiencia (η),
- La potencia (N),
- La succión neta positiva (NPSH).

La asociación o acoplamiento de bomba pueden 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 (**ver Anexo 7. Figura 3**).

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 (**ver Anexo 7. Figura 4**).



1.7 Conclusiones del capítulo

1. Se exponen las leyes fundamentales que permiten el estudio de las redes de suministro de agua, los fundamentos de su diseño y se expone de forma sintética el estado actual del sistema contra incendios existente en la base de almacenes perteneciente a la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Se describen las características más generales que exige el diseño de un sistema de suministro de agua contra incendios de forma general, por lo que en el Capítulo 3 se abordará de manera detallada el comportamiento de las máquinas, vistas desde la óptica de nuestra investigación.

CAPÍTULO 2. Materiales y métodos

2.1 Introducción al capítulo

La extinción de un incendio, desde el punto de vista físico, significa ante todo interrumpir el proceso de combustión en todas sus formas, o sea, crear en la zona de combustión, las condiciones que excluyan la posibilidad de continuación del proceso en cualquier forma.

Para el desarrollo de este trabajo se hace necesario la utilización de metodologías que permitan la aplicación de métodos científicos que dependen de un número finito de variables de entradas, las cuales pueden ser independientes unas de otras o pueden estar relacionadas por una o más restricciones.

Por tanto el objetivo de este capítulo es: identificar algunas de las características técnicas más generales al diseñar un sistema de agua contra incendios, así como exponer la metodología de los cálculos necesarios para el diseño del sistema exterior de suministro de agua contra incendios.

2.2 Características técnicas de las bombas usadas en sistemas de agua contra incendios

La serie CP (bomba horizontal de cámara partida) de bombas ITUR³, son bombas de cámara partida axialmente con las bocas de aspiración e impulsión en línea (Serie UC Equipos Contra Incendios según las Normas UNE 23.500-90 y CEPREVEN R.T.2-ABA/1999). Se emplea para grandes caudales y presiones de hasta 1500 kPa (1.5 bar). Los materiales empleados son:

- Cuerpo: GG-25
- Impulsor : GG-25 (opcional GSnBz 10)
- Anillos de desgaste: GG-25 (opcional RG-7)
- Camisa de eje: AISI-431B

³ KSB ITUR, Spain, S.A. Desde 1920 ofrecen la más moderna tecnología de bombas para todos los campos de aplicación.

El acoplamiento es flexible con membrana partida axialmente para fácil desmontaje. Estas bombas incorporan un purgador automático por aire en la parte superior. (**ver Anexo 8. Figura 1**).

Cuando la instalación no permite que las bombas horizontales estén en carga, Bombas ITUR utiliza la serie BEV, de construcción vertical sumergida, con motor en superficie. Incorporan purgador automático de aire a la salida del cabezal de DN-25 para caudales nominales de hasta 150 m³/h o DN 40 para caudales nominales superiores. Cuando bombean agua dulce, los materiales empleados para estas bombas son:

- Cuerpo y células: hierro fundido (GG-25).
- Impulsores: GG-25 (opcional GSnBz 10).
- Anillos de desgaste: bronce (RG-7).
- Eje de bomba: acero inoxidable (AISI 431B).
- Colador aspiración: acero inoxidable (AISI -316).
- Eje columna: acero (F-114).
- Camisa eje columna: acero inoxidable (AISI-431B).
- Cojinete intermedio de columna: neopreno.
- Tubo columna: acero (F-111).
- Cabezal descarga: hierro fundido (GG-25).

Para bombeos con agua de mar se emplean materiales diferentes, apropiados para este servicio (cuerpos en bronce, ejes y tuberías en acero inoxidable, etc.)

Cada grupo de bombeo será probado en banco por el fabricante, el cual expedirá una certificación en la que constará que el grupo ha funcionado ininterrumpidamente durante un mínimo de 30 minutos al 140% de su caudal nominal.

2.2.1 Particularidades hidráulicas de las bombas

El caudal nominal de la bomba (Q) será el especificado o calculado para el sistema. La presión nominal (P) es la manométrica total (kPa) de la bomba que corresponde a su caudal nominal. 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. En caso de bombas verticales, la presión nominal no será inferior a la medida en la brida de impulsión del cabezal de la bomba. 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, la presión a consumo cero, no debe superar el 120 % de la presión nominal con un máximo de 1200 kPa, y en todo caso, los componentes de la instalación de extinción de incendios estarán provistos para soportar la presión correspondiente a dicho consumo cero. 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) (**Anexo 9. Tabla 1. Aspectos generales para la selección de la bomba**). Fuente ITUR 1999.

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. La presión de impulsión de la bomba caerá de forma continua a medida que aumenta el consumo (característica estable) (Figura 2.1).

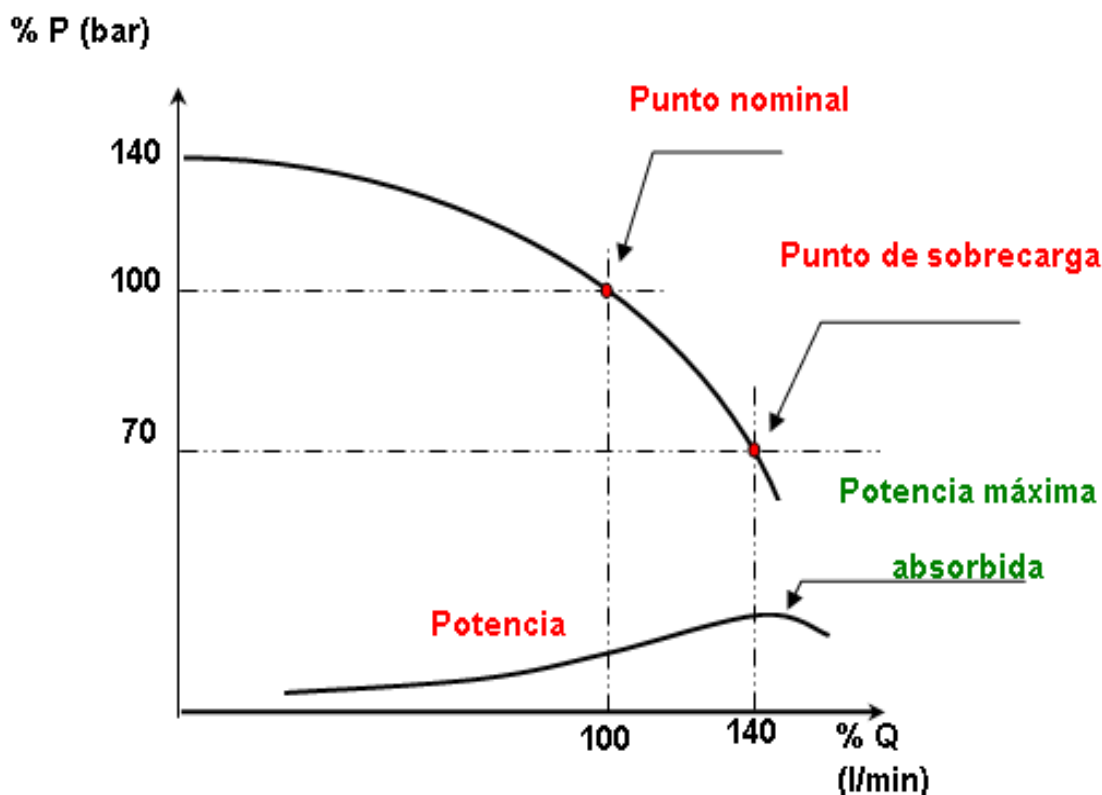


Figura 2.1. Curva característica de bomba centrífuga. Fuente: ITUR (1999).

2.3 Procedimientos hidráulicos de funcionamiento de las tuberías

La red general de distribución será de uso exclusivo de incendios, no permitiendo tomas para ninguna otra utilización. El diámetro de la red general de distribución de incendios será calculado para garantizar los consumos y presiones de las redes específicas que alimente. Se tendrá en cuenta la conveniencia de dimensionar la red previendo eventuales ampliaciones de todo el sistema de protección.

Cada derivación de la red general de distribución de incendios para alimentar una red específica estará provista de una válvula de seccionamiento.

La conexión entre la fuente de abastecimiento y la red general de distribución estará provista de una válvula de cierre y una de retención. En el caso de depósitos con bombas, serán las válvulas de cierre y retención de impulsión las

que cumplirán este requisito. Toda conexión a la red general de distribución de incendio se realizará instalando una válvula de cierre.

La red general de distribución se proyectará en circuito cerrado en forma de anillo o malla, para que permita, además de conseguir un mejor equilibrio hidráulico, disponer de válvulas de control de flujo o seccionamiento de tramos (lo más corto posible) para que, en caso de averías o ejecución de trabajos de reparación y mantenimiento no se interrumpa el servicio de más de 5 bocas de incendios equipadas o hidrantes. Si la red posee 5 ó menos tomas, la afectación no podrá ser nunca superior al 50 % de los equipos de extinción del sistema.

Las válvulas de control de flujo o seccionamiento se ubicarán en lugares de fácil acceso y deberán permanecer normalmente abiertas para el correcto funcionamiento del sistema. Estas válvulas deberán llevar un dispositivo que permita verificar visualmente que están en posición abierta. Si dicho dispositivo permanece oculto será preciso un sistema de supervisión eléctrica.

La velocidad de cierre de las válvulas debe ser tal que evite el riesgo de golpe de ariete, debiéndose aplicar un mínimo de dos vueltas de volante para producir el cierre.

Cuando varios sectores contra incendios son alimentados por un sistema en anillo cerrado se garantizará que, en caso de avería, se mantenga la capacidad de conducción del anillo para facilitar las labores de extinción en todos los sectores contra incendios protegidos.

En los sistemas anillados de agua contra incendios, se permite proyectar ramificaciones independientes, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

Sistema exterior:

- El ramal está alimentado directamente desde el anillo del sistema o desde la tubería de alimentación del anillo.
- La longitud del ramal no excede los 200 m en los objetivos socioeconómicos.

- La cantidad de hidrantes en el ramal no excede de 3 en los objetivos socioeconómicos. **Fuente:** NC 212 (2002).

2.4 Metodología para obtención de la curva característica del sistema

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.

La curva característica de la bomba debe cubrir el punto nominal de diseño, caudal nominal (Q_n) y altura nominal (H_n), y también otros puntos y consideraciones de la curva, tal y como indica la Norma 212 y la regla técnica de CEPREVEN R.T.2-ABA Edición 1999. Es decir la bomba proporcionará el **140%** del caudal nominal, a una altura superior al **70%** de la altura nominal. La potencia neta de los motores será igual o superior a la máxima absorbida por la bomba en cualquier punto de toda la curva.

El punto de partida para el proyecto de un sistema de suministro de agua 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 conductora, 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 del sistema exterior de agua contra incendios está fundamentado por:

- ✓ Tipo de riesgo. (RO III).
- ✓ Superficie construida en m^2 .
- ✓ Volumen del almacén en m^3 .
- ✓ Consumo necesario de agua de acuerdo al tipo de riesgo en l/s

Fuente: NC 212 (2002).

Se tomaron algunos datos para poder realizar una metodología para saber en qué condiciones debe trabajar el sistema exterior de suministro de agua contra incendios a proponerse.

El consumo necesario para el sistema exterior de agua contra incendios será el exigido por la tabla 2.1 para la edificación o para el sector contra incendios que mayor consumo requiera.

Tabla 2.1. Consumos necesarios para el sistema exterior de agua contra incendios en dependencia de las características de las edificaciones o áreas de procesos.

Volumen del edificio o sector contra incendios en m ³	Consumo mínimo para el edificio o sector contra incendios, de acuerdo al tipo de riesgo, l/s				
Hasta 10 000	10	15	20	20	25
Más de 10 000 hasta 20 000	15	20	25	30	35
Más de 20 000 hasta 50 000	20	25	30	40	50
Más de 50 000 hasta 100 000	25	30	40	50	60
Más de 100 000 hasta 200 000	30	35	50	60	70
Más de 200 000	35	40	60	70	80
Nota: Los valores de consumo se aumentarán en 5 l/s para los edificios o sectores contra incendios con grado de resistencia al fuego IV y V.					

Fuente: NC 212 (2002).

2.4.1 Característica del sistema. Conexión en serie

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_{sis} , para que circule el caudal Q , que le corresponda.

Están formadas por varias tuberías, una a continuación de la otra.

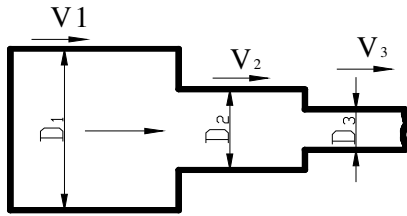


Figura 2.2. Tuberías en serie.

En el caso de tuberías en serie se aplican las fórmulas siguientes:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$H_f = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} + \dots H_{fn} \quad (2.1)$$

$$V_1 \cdot D_1^2 = V_2 \cdot D_2^2 = V_3 \cdot D_3^2 \quad (2.2)$$

En efecto:

- El caudal que circula por los tramos 1, 2, 3, n de diámetros D_1 , D_2 , D_3 , D_n es el mismo.
- La pérdida total es igual a la suma de las pérdidas parciales.
- Se cumple la ecuación de continuidad.

2.4.2 Conexión en paralelo

Una combinación de dos o más tuberías conectadas, de tal manera que la corriente fluida se divida en dos o más tuberías y después se junten de nuevo, es un sistema de tubería en paralelo.

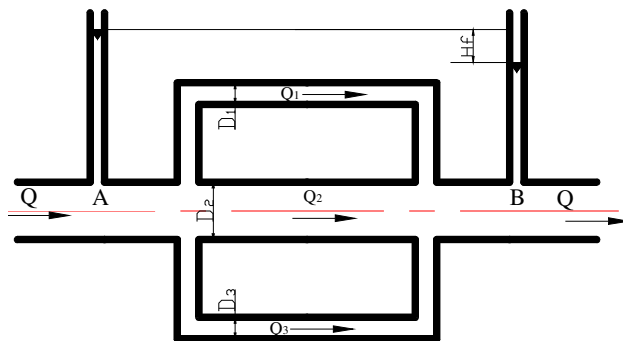


Figura 2.3. Tuberías en paralelo.

Para estos casos se aplican las siguientes fórmulas:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.3)$$

$$H_f = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \quad (2.4)$$

En efecto:

- El caudal total Q se reparte entre todas las tuberías.
- La presión al comienzo p_A y al final p_B de cada rama es la misma para todas las ramas, luego la caída de altura de presión (diferencia de lecturas en los tubos piezométricos), H_r será también la misma en todas las ramas.

2.4.3 Conexión ramificada

Se le denomina tubería ramificada a un conjunto de tubos con una sección común: el lugar de ramificación o convergencia de los mismos. Son redes que para una situación definida de consumos en los nodos, pueden calcularse los caudales circulantes por las tuberías aplicando la ecuación de continuidad.

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. Este tipo de red presenta dos inconvenientes principales: en primer lugar, que una rotura interrumpa el servicio a todos los lugares que quedan aguas abajo del mismo y en segundo lugar, que las pérdidas de carga resultan mayores ya que el líquido tiene un solo camino para llegar a un lugar determinado.

Para estos casos se aplican las siguientes fórmulas:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_M \quad (2.5)$$

Donde:

Q_1 , Q_2 y Q_3 son los gastos en las diferentes tramos de tuberías.

$$\sum h_1 = \sum h_2 = \sum h_3 \quad (2.6)$$

Donde:

$\sum h_1$, $\sum h_2$ y $\sum h_3$ no es más que la suma de las pérdidas de altura en cada tubería.

2.4.4 Característica de la red

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

$$H_{red} = \Delta Z + R \cdot Q^2 \quad (2.7)$$

Donde:

ΔZ - altura geométrica; (m),

R - coeficiente de resistencia.

El coeficiente de resistencia R para los distintos regímenes de corriente se calcula empleando las siguientes fórmulas:

Para el régimen laminar se emplea la ecuación 2.8.

$$R = \frac{128 \cdot \nu \cdot (l + l_{eq})}{\pi \cdot g \cdot d^4} \quad \text{y} \quad m = 1 \quad (2.8)$$

Para el régimen turbulento se utiliza la ecuación 2.9.

$$R = \left(\sum \zeta + \lambda \cdot \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{8}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4} \quad \text{y} \quad m = 2 \quad (2.9)$$

Donde:

$\sum \xi$ - 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 según el accesorio.

Tabla 2.2. 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).

Para el cálculo de pérdida de carga en accesorios, se utiliza la siguiente expresión 2.10.

$$h_{loc} = \sum \xi \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g} \quad (2.10)$$

Donde:

g - aceleración de la gravedad; (m/s²).

El factor ξ es adimensional y su valor depende del tipo de accesorio y diámetro del mismo; se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio.

Generalmente algunos fabricantes pueden proporcionar su factor ξ , por lo tanto, deberá utilizarse ese valor, pero en el caso de no contar con esta información es conveniente utilizar las fórmulas para el cálculo del factor ξ .

En el régimen de circulación laminar de fluidos de naturaleza newtoniana preexiste plena correspondencia entre los ensayos de Moody en tuberías comerciales y la siguiente ecuación.

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.11)$$

El coeficiente λ debe estar en función del criterio principal de semejanzas, es decir, del número de Reynolds que incluye viscosidad, diámetro y velocidad:

$$\lambda_t = \lambda_l = f(R_e).$$

Históricamente, la ecuación de Colebrook ha sido la más cotizada y representativa de la forma funcional del factor de fricción para flujo turbulento ($\text{Re} \geq 2300$); desafortunadamente, el factor de fricción está implícito con respecto al número de Reynolds y la rugosidad relativa en la representación de Colebrook. (Aguirre et al., 1996a; R.C., 1998; Streeter et al., 2000; Haestad, 2003; Martínez et al., 2007). La expresión de Colebrook & White expresa:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.12)$$

Donde:

λ - factor de fricción de Darcy – Weisbach (adimensional),

ε - coeficiente de rugosidad de la tubería; (m).

Por su parte, Blasius propuso una relación empírica para tubos hidráulicamente lisos, válida en el rango de $2\,300 < \text{Re} < 100\,000$.

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad (2.13)$$

El factor de fricción está en función del número de Reynolds del flujo, el cual depende de la velocidad del fluido y esta a su vez de la descarga. La ecuación de Colebrook & White, implícita para λ , se resuelve iterativamente por ensayo y error, con la aplicación de algún método de aproximaciones sucesivas.

Como primera aproximación para determinar el factor de fricción de Darcy – Weisbach puede utilizarse la ecuación de Swamee & Jain (Haestad, 2003).

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.14)$$

Donde:

k - coeficiente de rugosidad de la tubería; (mm).

El valor del coeficiente de rugosidad de la tubería se puede encontrar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Coeficientes de rugosidad aproximados de las tuberías.

Características de las tuberías	K, mm
Plástico	0,01 a 0,02
Acero	0,045 a 0,5
Fundición	0,26 a 1,0
Metal, muy vieja con incrustaciones	1,0 a 3,0

Fuente: Fernández (2003).

- Número de Reynolds

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

$$Re = \frac{d_{tub} \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (2.15)$$

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).

2.4.5 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 $(NPSH)_R$ 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 (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.

$$(NPSH)_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} + H_{succ} - \Sigma h - H_t ; [m] \quad (2.16)$$

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).

Las pérdidas en la succión se calculan empleando fórmula 2.17.

$$\Sigma h = \left(\frac{\lambda_t \cdot l_t}{d_{tub}} + \Sigma \zeta_{succ} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4 \cdot g} \quad (2.17)$$

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 se calcula por la expresión 2.18.

$$(NPSH)_R = 10 \cdot \left(\frac{n \sqrt{Q}}{C} \right)^{3/4} ; [m] \quad (2.18)$$

Donde:

C - coeficiente de velocidad específica en la succión; (rev/min).

En el diseño de nuevas máquinas el valor del coeficiente de velocidad específica en la succión se determina mediante cálculo y posteriormente se comprueba con los ensayos correspondientes. En la práctica el coeficiente puede ser afectado por deficiencias del proyecto o de su ejecución. Para la realización de un análisis que permita una evaluación práctica y rápida de una bomba, el coeficiente de velocidad específica en la succión se obtuvo en función de la velocidad específica, ($C = f(n_s)$). Su valor corresponde a las siguientes correlaciones empíricas:

- Bombas con el rodete en voladizo:

$$C = 880 \log n_s^{3/4} \quad (2.19)$$

- Bombas con el rodete entre apoyos:

$$C = 800 \log n_s^{3/4} \quad (2.20)$$

2.5 Técnicas e instrumentación empleada

Una forma práctica de medir la caída de presión en un sistema de bombeo de agua para casos de incendio es mediante la utilización de bombas jockey, ya que es la encargada de mantener presurizada la red general de distribución y a reponer las fugas admisibles en la misma, todo ello controlado por presostato de arranques que se le instalan tanto a esta bomba como a las bombas principales. Además instalándole manómetro en la descarga de la bomba (inmediatamente después de la brida) y al final de la línea de suministro.

En general los sistemas de bombeo requieren gasto variable, lo cual significa que una bomba trabaja con diferentes puntos de operación (carga, gasto). El punto de operación se establece en la intersección de la curva característica de la bomba (carga y gasto) y la curva del sistema. Adicionalmente, en cada punto de operación se puede determinar el **NPSH** requerido y la eficiencia de la bomba.

2.5.1 Instrumentos principales empleados para el control de los parámetros en el sistema de distribución

1. Presostato de arranque.
2. Reductor, preferiblemente excéntrico y con la generatriz horizontal hacia arriba.
3. Acumulador hidroneumático.
4. Válvula de retención.
5. Manómetro.
6. Conos difusores en impulsión.
7. Conjunto de prueba opcional.

Funcionamiento y utilización de cada material

Presostato de arranque: De alta calidad, regulados desde la fábrica para el arranque de cada bomba principal y la bomba **jockey**, se utilizan dos presostatos conectados en serie, el arranque de la bomba se realiza por apertura de contacto, además se instalan otros presostatos en cada bomba principal para controlar que haya presión con la bomba en marcha.

Acumulador hidroneumático: Timbrado según la presión máxima del equipo, dispone de válvula de aislamiento.

Válvula de retención: En impulsión de las bombas, aguas abajo del cono-difusor, para obtener una mínima pérdida de carga.

Manómetro: De alta calidad, con glicerina en su interior, se utiliza para medir la presión del fluido en la succión y la descarga.

Cono difusores en impulsión: De tipo concéntrico, diseñados para reducir la velocidad del agua sin cambios bruscos de sección, con un ángulo de apertura de 15°.

Conjunto de prueba opcional: Costa de derivación curvada, válvula de husillo ascendente, curva amplia de 90 y flujómetro. Este último se suministra para ser instalado en un tramo recto de longitudes mínimas de la tubería de pruebas que retorna al depósito principal de abastecimiento.

2.6 Conclusiones del capítulo

- Se particularizan las principales características de las bombas centrífugas utilizadas para sistema de suministro de agua contra incendios., así como se exponen las gráficas que las identifican.
- Los métodos y técnicas propuestos permiten la identificación de las características generales que deben tener los sistemas de suministro de agua contra incendios.
- Se realizó el recorrido pertinente para identificar las posibles irregularidades en el terreno al proyectar el sistema de tuberías y ubicación de la casa de bombas.

CAPÍTULO 3. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medioambiental

3.1 Introducción al capítulo

En este capítulo se exponen los resultados del diseño de un sistema de agua contra incendios que responde a la protección de la base de almacenes en cuestión, estableciendo como premisa fundamental la importancia que reviste la instalación de este sistema para la protección de los trabajadores, los recursos materiales y económicos de la empresa Comandante Ernesto che Guevara y el país. El correcto análisis de este permite sentar las bases para futuros trabajos que se desarrollen sobre la temática, porque no sólo requiere de este sistema sino de otros que con su diseño y montaje contribuirán a una mejor seguridad de los trabajadores y recursos almacenados; de ahí su ineludible relación con la protección a la economía, la sociedad y el medio ambiente, en correspondencia con esta temática definimos que:

El **objetivo** del capítulo es: analizar los resultados derivados del diseño del sistema de agua contra incendios, así como la valoración económica y medioambiental de la instalación proyectada.

3.2 Obtención de los parámetros característicos de operación del sistema contra incendios.

Para obtener la curva característica de la bomba, se cuenta con los parámetros nominales brindados por el fabricante, ITUR 1999 (altura, potencia, número de revoluciones y flujo volumétrico). A partir de los cálculos realizados, se obtiene el punto de operación de la bomba con el sistema, la cual es útil para los parámetros de bombeo. Para el análisis se seleccionaron los dos hidrantes más críticos (10 y 11) instalados en la red de operación en función de garantizar el funcionamiento simultáneo de estos, así como se comprobó la operación del sistema para todos los hidrantes abiertos, a partir de la simulación con el programa WaterCAD.

Hidrante crítico número 11:

Para la evaluación de este, se hizo el cálculo con los demás hidrantes cerrados, contando con siete codos de 90 ° y cuatro válvulas en el perímetro de la tubería, para una longitud de 817 m. Se pudo realizar el análisis de la curva característica en la bomba en función de la curva de la red, arrojando los siguientes resultados representados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados fundamentales obtenidos en el hidrante número 11.

Q (m ³ /s)	v (m)	Re (adim.)	Hred (m)	Hb (m)
0,001	0,0566	8492,57	0,08	115,00
0,003	0,1699	25477,71	0,71	114,00
0,005	0,2831	42462,85	1,97	111,00
0,007	0,3963	59447,98	3,85	109,00
0,009	0,5096	76433,12	6,37	107,00
0,011	0,6228	93418,26	9,52	105,00
0,013	0,7360	110403,40	13,29	103,00
0,015	0,8493	127388,54	17,69	101,00
0,017	0,9625	144373,67	22,73	99,00
0,019	1,0757	161358,81	28,39	97,00
0,021	1,1890	178343,95	34,68	95,00
0,023	1,3022	195329,09	41,60	93,00
0,025	1,4154	212314,23	49,15	91,00
0,027	1,5287	229299,36	57,33	89,00
0,029	1,6419	246284,50	66,13	87,00
0,031	1,7551	263269,64	75,57	85,00
0,033	1,8684	280254,78	85,64	83,00
0,035	1,9816	297239,92	96,33	81,00
0,037	2,0948	314225,05	107,65	79,00
0,039	2,2081	331210,19	119,61	77,00

Una vez que se obtienen estos resultados, se puede representar la curva de la bomba en función de la curva de la red, la cual queda ilustrada en la figura 3.1.

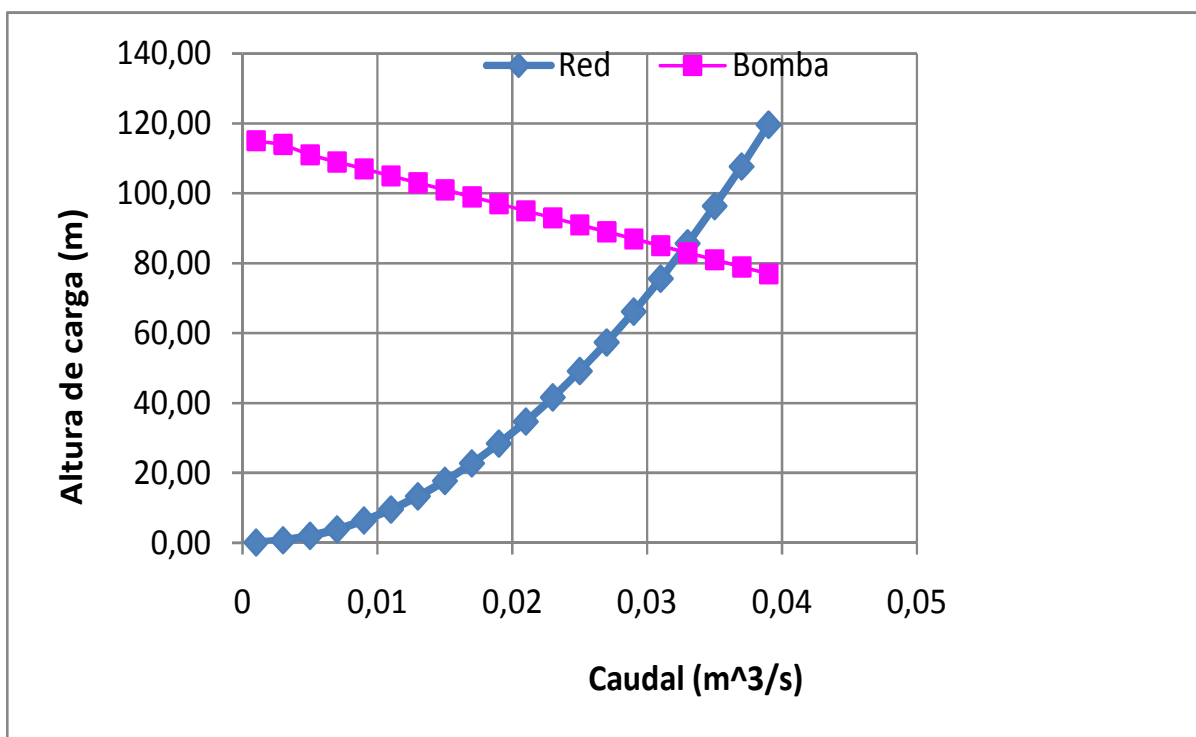


Figura 3.1. Curva característica de la bomba en función de la curva de la red

En la figura 3.1 se muestra que cuando el hidrante número 11 es el único que está en operación, existe un gasto volumétrico de 0,032 m³/s con una altura de presión de 83 m.

Hidrante crítico número 10:

Una vez realizados los cálculos para este, con los restantes hidrantes cerrados, contando con seis codos de 90 ° y cuatro válvulas, y una longitud en la tubería de 785 m, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Resultados fundamentales obtenidos en el hidrante número 10.

Q (m³ /s)	v (m)	Re (adm.)	Hred (m)	Hb (m)
0,001	0,0566	8492,57	0,08	115,00
0,003	0,1699	25477,71	0,70	114,00
0,005	0,2831	42462,85	1,94	111,00
0,007	0,3963	59447,98	3,81	109,00
0,009	0,5096	76433,12	6,30	107,00
0,011	0,6228	93418,26	9,41	105,00
0,013	0,7360	110403,40	13,14	103,00
0,015	0,8493	127388,54	17,50	101,00
0,017	0,9625	144373,67	22,47	99,00
0,019	1,0757	161358,81	28,07	97,00
0,021	1,1890	178343,95	34,29	95,00
0,023	1,3022	195329,09	41,14	93,00
0,025	1,4154	212314,23	48,60	91,00
0,027	1,5287	229299,36	56,69	89,00
0,029	1,6419	246284,50	65,40	87,00
0,031	1,7551	263269,64	74,73	85,00
0,033	1,8684	280254,78	84,69	83,00
0,035	1,9816	297239,92	95,26	81,00
0,037	2,0948	314225,05	106,46	79,00
0,039	2,2081	331210,19	118,28	77,00

A partir de estos resultados y los de la bomba antes expuesta, se pudo obtener el régimen de trabajo del hidrante número 10, el cual queda representado en la figura 3.2 debajo.

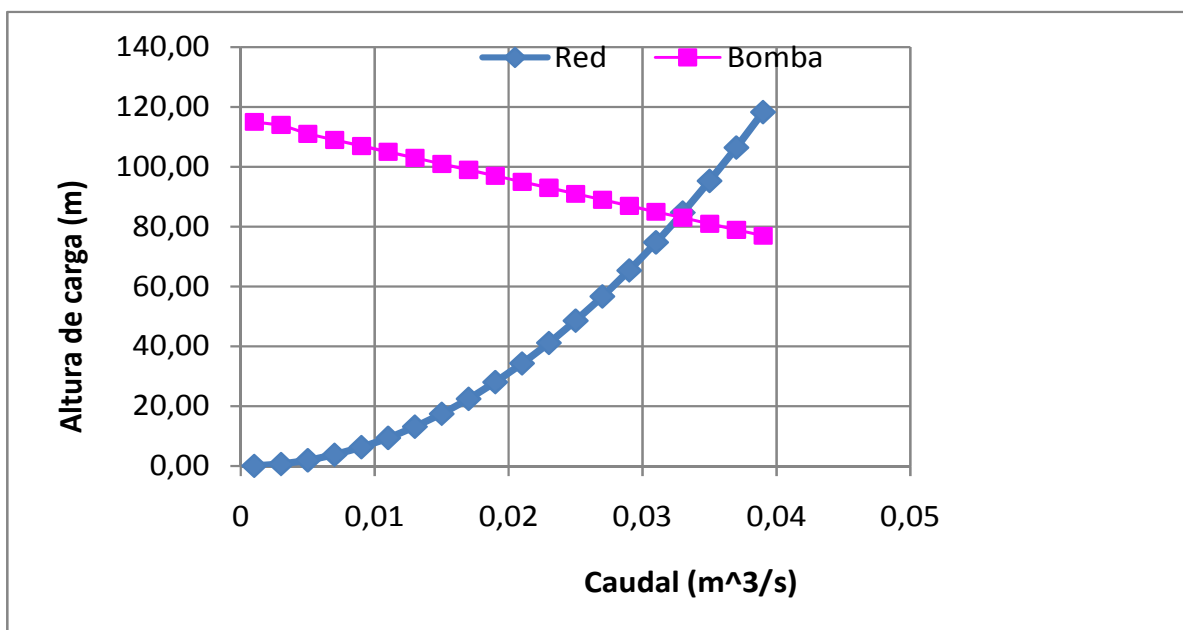


Figura 3.2. Régimen de trabajo de la instalación para el segundo hidrante crítico

De los resultados mostrados en la figura 3.2 se puede determinar que solamente para la operación con el hidrante 10, la instalación entrega un gasto de $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ a una altura de carga de 85 m.

Variante para todos los hidrantes abiertos

Debido a la complejidad del sistema en general, por ser un sistema ramificado abierto, se utilizó la herramienta de cálculo que brinda el programa WaterCAD, para conocer el comportamiento de las diferentes variables en numerosos puntos de la red cuando se abren todos los hidrantes.

Una vez realizados los cálculos de los parámetros del sistema, a partir del modelo geométrico mostrado en el **Anexo 10. Mapa de la Red**, se pueden observar los resultados mostrados en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3. Resultados obtenidos para el sistema general. (WaterCAD)

Punto	Longitud (m)	Diámetro	Gasto l/s	Altura (m)
P-2	5,79	15,2	54,01	45,112 85

Punto	Longitud (m)	Diámetro	Gasto l/s	Altura (m)
P-4	12,19	15,2	52,01	88,08288
P-6	10,36	15,2	22,98	14,64693
P-7	4,57	15,2	0,00	0,00
P-9	19,20	15,2	20,99	22,65917
P-10	19,20	15,2	51,01	33,45192
P-12	7,92	15,2	0,00	0,00
P-14	18,90	15,2	19,00	18,28049
P-16	10,97	15,2	50,01	73,30040
P-18	3,66	15,2	1,00	10,40
P-17	7,32	15,2	48,01	45,04011
P-20	3,96	15,2	0,99	11,06
P-21	18,90	15,2	1,00	53,84
P-22	11,89	15,2	53,01	89,20572
P-23	3,66	15,2	53,01	27,44981
P-24	6,10	15,2	21,99	7,89337
P-25	8,84	15,2	21,99	11,44564
P-26	8,23	15,2	18,00	7,14683
P-27	7,01	15,2	18,00	6,08809
P-29	3,96	15,2	1,00	11,29
P-28	12,19	15,2	16,00	8,37107
P-30	9,45	15,2	14,00	4,97101
P-31	4,27	15,2	1,00	12,15
P-32	14,63	15,2	1,00	41,68
P-33	15,54	15,2	12,00	6,01469
P-35	3,96	15,2	2,00	43,85
P-36	2,44	15,2	1,00	6,94
P-37	29,87	15,2	2,00	330,58
P-38	6,10	15,2	1,00	17,36
P-39	12,80	15,2	5,00	867,54
P-40	7,62	15,2	6,00	742,22
P-41	7,32	15,2	1,00	20,84
P-42	5,79	15,2	4,00	252,33
P-43	21,34	15,2	4,00	928,75
P-44	3,96	15,2	48,01	24,39760
P-45	9,45	15,2	46,01	53,43738
P-46	5,18	15,2	1,00	14,78
P-47	5,18	15,2	1,00	14,71
P-48	8,84	15,2	55,01	71,42758
P-49	5,18	15,2	55,01	41,87134
P-50	19,51	15,2	44,01	00,94922
P-55	9,45	15,2	19,08	9,20572
P-57	4,27	15,2	1,00	12,19
P-56	14,33	15,2	17,07	11,18906
P-59	4,57	15,2	1,00	13,03
P-58	3,05	15,2	15,07	1,085669

Punto	Longitud (m)	Diámetro	Gasto l/s	Altura (m)
P-60	4,57	15,2	15,07	2,78526
P-62	3,96	15,2	21,94	5,10692
P-63	10,97	15,2	23,94	16,83243
P-64	3,66	15,2	10,00	10,44
P-65	19,20	15,2	19,93	20,43791
P-66	2,44	15,2	21,93	3,14096
P-67	4,27	15,2	1,00	12,12
P-68	17,37	15,2	14,07	9,22973
P-69	19,20	15,2	12,07	7,51469
P-70	3,05	15,2	1,00	8,69
P-71	5,18	15,2	11,07	1,70680
P-73	3,05	15,2	3,00	75,06
P-74	1,52	15,2	1,00	4,34
P-75	1,52	15,2	1,00	4,34
P-76	5,79	15,2	7,07	781,28
P-78	3,05	15,2	1,00	8,69
P-79	3,96	15,2	1,00	11,35
P-80	16,46	15,2	5,07	1,14689
P-81	3,96	15,2	3,07	102,11
P-82	3,05	15,2	1,00	8,69
P-84	11,28	15,2	20,00	12,08281
P-85	9,75	15,2	19,00	9,43326
P-86	16,76	15,2	21,00	19,80598
P-87	15,85	15,2	21,00	18,71777
P-88	5,49	15,2	1,00	15,64
P-89	8,53	15,2	2,00	94,46
P-90	5,79	15,2	1,00	16,50
P-92	50,29	15,2	11,00	16,35625
P-94	8,53	15,2	1,00	24,31
P-95	31,39	15,2	2,00	347,47
P-98	4,57	15,2	4,00	199,03
P-99	6,10	15,2	3,00	150,11
P-101	37,49	15,2	4,00	1,63198
P-102	6,10	15,2	3,00	150,19
P-103	3,35	15,2	1,00	9,53
P-104	6,71	15,2	10,00	1,80373
P-105	26,82	15,2	8,00	4,62664
P-106	5,18	15,2	1,00	14,71
P-107	25,60	15,2	14,00	13,46614
P-108	6,10	15,2	12,00	2,35801
P-109	6,10	15,2	1,00	17,37
P-110	2,74	15,2	1,00	7,77
P-111	3,05	15,2	1,00	8,69
P-112	2,74	15,2	1,00	7,85
P-113	6,10	15,2	1,00	17,37

3.3 Descripción y características de operación del sistema propuesto

En correspondencia con los resultados obtenidos, donde se analizó el comportamiento de los dos hidrantes más críticos, se puede determinar que este requiere un sistema de bombeo compuesto por una bomba, un motor eléctrico y otra bomba con motor de combustión interna (diesel), (**ver Anexo 11**). Ambas unidades de bombeo deben garantizar un gasto nominal (Q_n) de $120 \text{ m}^3 / \text{h}$ y una altura manométrica nominal (H_n) de 90m, con una potencia de 55/ 75 (kW / HP), las cuales serán de arranque automático y parada manual. Tendrá también una bomba secundaria (jockey) que garantizará automáticamente que la red esté presurizada, reponiendo las fugas admisibles en la misma (NC 212, 2002).

El diseño del sistema exterior de agua contra incendios propuesto consiste en la proyección de una red hidráulica en forma de malla, con tubería de PVC de alta resistencia a la rotura y al medio agresivo (corrosión) predominante en la base de almacenes. De aquí se obtiene el coeficiente C igual a 140, que depende del tipo de material seleccionado, se conoce que el diámetro de la tubería es 0,150 m y una longitud total de 1155,5 m, en el perímetro de esta se instalan 14 hidrantes exteriores de columna húmeda con una toma de 0,125m para la conexión de los carros bomberos en caso de incendios y dos de 0,066 m de diámetro para la conexión de las mangueras que se utilizarán en el control del posible incendio.

El diseño del montaje de estos hidrantes viene concebido para una distancia no mayor de 100 m uno del otro, así como se colocan válvulas de seccionamiento para garantizar los trabajos de mantenimiento programados y por averías. El sistema requiere, según establece la NC 212 de 2002 en apartado 12. 1, tabla 5, la ampliación del tanque apoyado existente para almacenar 66 m^3 más de agua, y responder a la demanda exigida por la instalación en dos horas de trabajo. Teniendo en cuenta lo planteado, y según la tabla 2.1, se determinó que el volumen total de la reserva de agua es de 220 m^3 , el cual fue calculado sobre la base de un tiempo mínimo de 2 horas tomando como base de cálculo el consumo de 30 l/s en el sector de incendio más crítico. (**ver Anexo 12**)

Todas las bombas trabajarán siempre en carga, succionando solo del tanque para alimentar la red, y se garantizará una reposición de la reserva de agua contra incendios en 24 horas (NC 212, 2002).

A los hidrantes de mayor cobertura para la protección contra incendios deben instalárseles gabinetes equipados con sus respectivos accesorios para el combate de los incendios originados en las áreas que protegen. (mangueras planas de 66mm de diámetro y 25m de largo, válvula de cierre manual, manómetros y lanza boquillas).

3.3.1 Análisis de los parámetros característicos de altura positiva de operación del sistema contra incendios.

El NPSH requerido es un dato básico y característico de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio, que facilita el propio fabricante; pero al no contarse con el catálogo de la bomba, se hizo necesario determinarlo por la metodología de cálculo antes expuesta por la ecuación (2.18). Una vez realizado el cálculo se obtuvo un valor equivalente a 5,5 m. Si este valor se compara con el del NPSH disponible (ecuación 2.16), de 9,2 m, se puede llegar a la conclusión de que la bomba no se encuentra bajo el fenómeno de la cavitación, la cual viene dada por la perturbación de la continuidad del flujo debido al desprendimiento de vapores por el cambio de fase del agua, lo que provoca un ruido característico producido por los choques hidráulicos al condensarse las burbujas de vapor, disminuyendo así el suministro, la altura y el rendimiento de la bomba.

3.4 Valoración económica

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

3.4.1 Costo Capital

El costo capital de la inversión del sistema contra incendios en la base de almacenes de ECG en Rolo Monterrey se estima en \$1,506,050.03, de ellos \$899,561,65 pesos convertibles cubanos (CUC) y \$606,488.39 pesos cubanos (CUP). El estimado de costo capital incluye:

Como **costos directos**:

- el sistema de detección y extinción,
- el sistema de pararrayos, y
- el sistema de aterramiento.

Como **costos indirectos**:

- Proyectos, Dietas, Hospedaje y Otros,
- Gastos de Construcción,
- Certificación, y
- Puesta en Marcha.

* 5% de contingencia según la precisión del estimado.

La siguiente tabla muestra el resumen del estimado de la inversión.

Tabla 3.4. Resumen del estimado en CUC + CUP.

TOTAL			
Parámetros	CUC+CUP	CUP	CUC
Costo Capital Total	1,506,050.03	603,488.38	902,561.65
Equipamiento y Materiales	1,097,409.25	375,545.02	721,864.22
Construcción y Montaje	302,140.23	178,836.71	123,303.52
Otros Gastos	44,610.35	25,684.28	18,926.07
Contingencia	61,890.20	23,422.37	38,467.83

3.4.2 Evaluación económico-financiera

El modelo está montado sobre un escenario de 10 años basado en el supuesto de una pérdida anual por siniestros de solamente un aproximado de un 27 %, 23 % y 20 % de un día de producción en los tres primeros años (según comportamiento de la tendencia actual); y a partir del año 2013 con la inversión ya concluida, una pérdida anual de un 8% de un día de producción, hasta concluir el decenio en el 2019 (se considera que esta última cifra de un 8 % se mantenga permanentemente, aún bajo condiciones óptimas, por el hecho de que más del 85 % del equipamiento de producción se acciona bajo alimentación de energía eléctrica.

El modelo fue utilizado para elaborar un análisis del flujo de caja neto descontado, considerando las posibles pérdidas como ingresos (asumiendo la ejecución del proyecto) y determinar la economía del proyecto después de impuestos a través de la tasa interna de rendimiento (TIR), el valor actual neto (VAN) y el período de retorno del capital de la inversión.

El modelo considera un 35 % de impuestos sobre utilidades. Los resultados indican una TIR de 27,19 % y un VAN de 124,0 (CUC+CUP) a una tasa de descuento promedio de interés del crédito del 15 %, el período en que retorna el capital invertido es de 6 años y 1 mes.

Evaluación del costo de funcionamiento del sistema en dos horas de operación

Para calcular el costo de funcionamiento del sistema, se comenzó evaluando como aspecto fundamental, el costo requerido para bombear el agua en un incendio de considerables proporciones, donde tendrían que usarse al menos dos hidrantes simultáneamente para garantizar el éxito de las acciones concebidas dentro del supuesto plan de emergencia de la instalación en el cual se planifican, teóricamente, el desarrollo de las acciones combativas a llevar a cabo en este evento, por lo que; para efectuar el cálculo se empleó la ecuación 3.1.

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

Donde:

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

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

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

η_m - rendimiento del motor eléctrico (adimensional),

N_{motor} - 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, el rendimiento del motor es de 0,62 y la potencia de 55 kW, se concluye que el costo de bombeo de agua del sistema en un incendio es de 0.159 CUC, en el supuesto de que se realicen correctamente y sin complicaciones mayores las acciones teóricas previstas en el plan de emergencia de la entidad en cuestión,

3.4.3 Verificación y mantenimiento

La verificación y mantenimiento de las instalaciones de los sistemas exteriores e interiores de agua contra incendios (hidrantes y bocas de incendios equipadas), serán necesarios para asegurar sus perfectas condiciones de funcionamiento en todo momento, sin deterioro y sin obstáculos que dificulten la visibilidad, acceso y utilización, con el fin de explotarlos eficazmente. En este sentido la revisión de los sistemas, medios y equipos de extinción deben estar integrados en el plan general de mantenimiento de la red de agua contra incendios y los defectos encontrados deben corregirse inmediatamente. Para ello se debe tener en cuenta la frecuencia de las operaciones de verificación y mantenimiento del sistema, la cual está claramente definida en el acápite 19 de la NC 212, además se propone realizar su verificación por lo establecido en el anexo D de la norma referenciada.

3.5 Condiciones del ambiente laboral. Medidas de protección y seguridad de los trabajadores y la instalación

3.5.1 Condiciones medioambientales

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, amoníaco 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 10cm correctamente nivelado y compactado, luego de colocar el tubo debe rellenarse la zanja con arena o material fino seleccionado de la excavación, hasta 30cm 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. (**ver Anexo 13**)

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. El tanque apoyado debe limpiarse y dársele una correcta impermeabilización interior, se deben colocar tapas en los registros de limpieza ubicados en el techo.

3.5.2 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 manual(es) de instrucción para la instalación, el uso y el mantenimiento.

Además de esta información, las prácticas seguras de trabajo deberán ser descritas con claridad. Si 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. Es por ello que una vez implementado el diseño y puesto en operación el sistema contra incendios, se debe garantizar la previa capacitación y adiestramiento de los trabajadores con la operación de este. Las medidas de protección estarán encaminadas a la reducción del riesgo mediante la seguridad intrínseca, dispositivos de protección, equipos de protección personal, información para la utilización, marcas y símbolos de acuerdo con las exigencias de las normas, instalación y adiestramiento. En este sentido se debe confeccionar y ubicar en la estación de bombeo el manual de operaciones del sistema, así como todas las reglas y medidas de seguridad exigidas según NC ISO/IEC 51:2000 y NC 19.00.04.

3.6 Conclusiones del capítulo

1. En correspondencia con la curva de la red se construyó la curva de la bomba en la cual se puede apreciar que, cuando el hidrante número (11) es el único que está en operación, existe un gasto volumétrico de $0,032 \text{ m}^3/\text{s}$ con una altura de presión de 83 m.; y cuando el hidrante número (10) es el único que se encuentra en operación, la intalación entrega un gasto de $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ a una altura de carga de 85 m.
2. Se realizó la descripción del sisetma de protección contra incendios propuesto.
3. Se realizó una breve valoración del sistema de mantenimiento a la instalación, el cual debe estar dirigido a garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

Conclusiones generales

1. Se demostró que se requiere un sistema contra incendios compuesto por dos bombas, una principal eléctrica y una auxiliar diesel, con un gasto nominal (Q_n) de $120\text{m}^3/\text{s}$ y una altura manométrica nominal (H_n) de 90m, con una potencia de 55/75 (kW/HP), así como una bomba secundaria (jockey) que garantizará automáticamente que la red esté presurizada, reponiendo las fugas admisibles en la misma.
2. Se realizaron los cálculos del costo de bombeo de la instalación en un incendio; (CUC/incendio), arrojando como resultado 0.159 CUC en dos horas de operación del sistema contra incendios.
3. El costo capital de la inversión del sistema contra incendios de la base de almacenes de ECG en Rolo Monterrey se estima en \$1,506,050.03, de ellos \$899,561.65 CUC y \$606,488,39 CUP. Por lo que el modelo considera un 35 % de impuestos sobre utilidades y los resultados indican una TIR de 27,19 % y un VAN de 124,0 (CUC+CUP) a una tasa de descuento promedio de interés del crédito del 15 %, y el período en que retorna el capital invertido es de 6 años y 1 mes.
4. 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 sugiere realizar una norma y procedimiento para garantizar la seguridad de los trabajadores y del sistema propuesto.



Recomendaciones

1. Una vez que se haya ejecutado el ajuste y puesta en marcha del sistema, se deben confeccionar los procedimientos requeridos para la operación de este.
2. Deben Implementarse cursos de capacitación periódica a los trabajadores que operen el sistema.
3. Se debe confeccionar e implementar el correspondiente plan de mantenimiento según lo establecido en el acápite 19 de la NC 212.

Bibliografías complementarias

1., Tecnología del Agua, "Abastecimiento de Agua. Redes de distribución", Terrassa-Barcelona, España, 1994.
2. Aguirre, A. et al., "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, 1996.
3. Aguirre, A. et al., "Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua", Vol. II, eds. U.D. Mecánica de Fluidos - Universidad Politécnica de Valencia - Aguas de Valencia S.A., Valencia, España, 1996.
4. APCI, Curso de proyectos, instalaciones y servicios técnicos de los sistemas de suministros de agua contra incendios, 2010.
5. Awumah, K., Bhatt, S.K. and Goulter, I.C., "An Integer Programming Model for Layout Design of water Distribution Networks", Engineering Optimization, Vol.15, 1989.
6. Bhave, P.R. y Lam, C. F., "Opimal Layout for Branching Distribution Networks", Journal of Transportation Engineering (ASCE), Vol.109, No. 4, Julio, 1983.
7. Cardona, S. y Clos, D., "Teoría de Máquinas", ed. Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, España, pp 231-220, 2001.
8. Echavarria J., Optimización del diseño de redes de distribución de agua bajo criterios técnico-económicos, Tesis de Doctorado, universidad de Holguín, 2009.
9. Fairees, V. , "Termodinámica", Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2006.
10. Fleites, A., "Modelación Matemática de redes de distribución de agua potable", Conferencia para Maestría en Gestión Integral del Agua. Aguas de La Habana, Cuba, 2002.
11. Gerhart, M. y Gross J., "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", eds. Addison-Wesley Iberoamericana, España, 1992.
12. Gerhart, M. y Gross J., "Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos", eds. Addison-Wesley Iberoamericana, España, 1992.

13. Gerhart, M. y Gross J., “Fundamentos de la Mecánica de los Fluidos”, Hochstein, 2 ed, eds. Addison-Wesley, USA, 1995.
14. González, J., “Trabajos en la rehabilitación de redes y conductoras”, Revista Aguas de La Habana, Cuba, No. 10 enero-junio, pp. 16-17, 2007.
15. Haestad ,“WaterGEMS for GIS User’s Guide”, Geospatial Water Distribution Modeling Software, Haestad Methods. <http://www.haestad.com>, 2003.
16. Kuttz, M., “Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica”, Vol. 6, ed. Océano, España, 1995.
17. Kuttz, M., “Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica”, Vol. 6, ed. Océano, España, 1995.
18. Marks, B., “Manual del Ingeniero Mecánico”, Vol. 1, Ed. Mc Graw- Hill, México, 1982.
19. Martínez, J.B., “Economía de los recursos hidráulicos”, Segunda Edición, Editorial CIH – ISPJAE, Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba, 2000.
20. Martínez, V., Monteagudo, J. y Jáuregui, S., “Mecánica de los Fluidos y Máquinas de Flujo”, Editorial UniversoSur, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2007.
21. NC 19.00.04, Sistema de protección e higiene del trabajo organización de la capacitación a los trabajadores sobre PHT, 2004.
22. NC 212. , Suministro de agua contra incendios, ICS: 13.220.20 1. Edición Junio, 2002.
23. NC., ISO/IEC 51, Aspectos de seguridad y salud del trabajo, 2000.
24. Nekrasov, B., “Hidráulica”, ed. Mir, Moscú, Rusia, 1990.
25. Pérez, D., “Introducción al estudio de los sistemas de tuberías”, ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, 1986.
26. R.C., “Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico”, Republica de Colombia 1998.
27. Ravinovich, E.Z., “Hidráulica”, Editorial Mir, Moscú, Rusia, 1986.



28. Robert, W. y McDonald, A. , “Introducción a la Mecánica de Fluidos”, Cuarta Edición, ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA, 1995.
29. Robert, W. y McDonald, A., “Introducción a la Mecánica de Fluidos”, Cuarta Edición, ed. McGraw Hill, Interamericana S. A., USA, 1995.
30. Rodríguez F., Evaluación del sistema de abasto en la central termoeléctrica lidio Ramón Pérez para un uso eficiente del agua, 2011.
31. Rousset, “Tracé de réseaux d'irrigation ramifiés”, 8va Jornada Europea del ICID. Aix-en-Provence, 1971.
32. Rowell, W. y Barnes, W., “Obtaining layout of water distribution systems”, Journal of the Hydraulic Division (ASCE), Vol.108, HY1, January, 137-148, 1982.
33. Stepanoff, A., “Centrifugal and axial flow pumps”, Editorial, John Willey & Sons. New York. 1959.
34. Streeter, V., Benjamin, E. and Bedford, K., “Mecánica de Fluidos”, Novena Edición. McGraw-Hill. Best Seller International, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia. <http://www.mhhe.com>, 2000.
35. Talwar, M., “Analyzing centrifugal-pump circuit”. Chemical Engineering, vol. 90, No. 17. 1983.



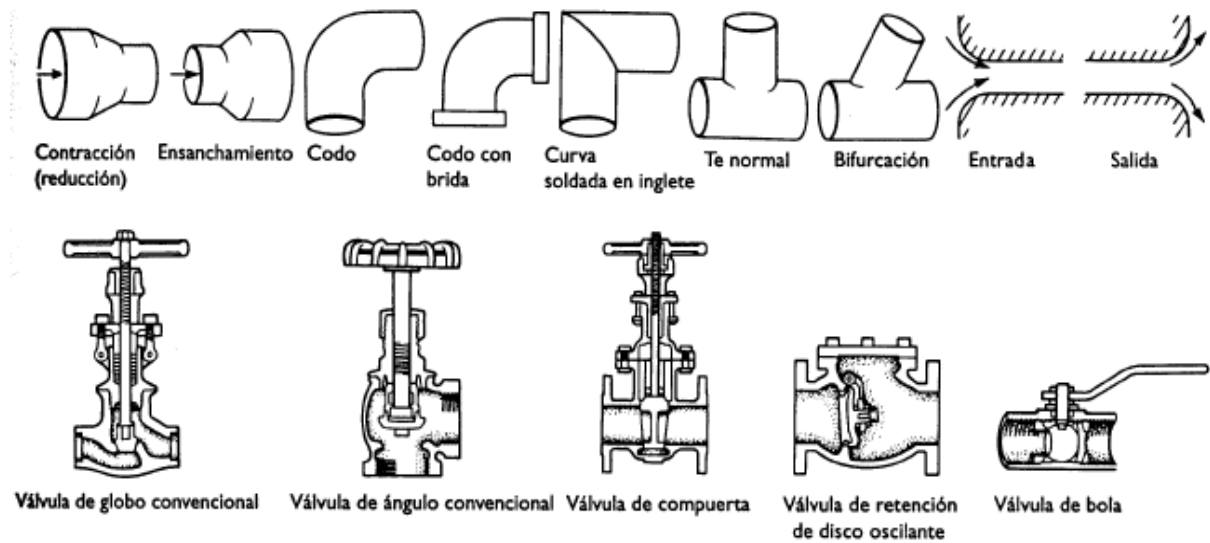
Anexo 1. Vista de la base de almacenes de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara en el reparto Rolo Monterrey.

ANEXOS CAPÍTULO 1

Anexo 2: Tabla de las propiedades físicas del agua

Tabla 1. Propiedades físicas del agua en unidades SI.			
Temperatura (°C)	Peso específico γ , (N/m ³)	Densidad ρ , (kg/m ³)	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^{-6}$, (m ² /s)
0	9806	999,9	1,792
5	9807	1000,0	1,519
10	9804	999,7	1,308
15	9798	999,1	1,141
20	9789	998,2	1,007
25	9778	997,1	0,897
30	9764	995,7	0,804
35	9749	994,1	0,727
40	9730	992,2	0,661
45	9711	990,2	0,605
50	9690	988,1	0,556
55	9666	985,7	0,513
60	9642	983,2	0,477
65	9616	980,6	0,444
70	9589	977,8	0,415
75	9560	974,9	0,390
80	9530	971,8	0,367
85	9499	968,6	0,347
90	9466	965,3	0,328
95	9433	961,9	0,311
100	9399	958,4	0,296

Anexo 3: Figura 1. Accesorios típicos que producen pérdidas singulares o locales.



Anexo 4: Figuras del estado del sistema contra incendios existente en la base de almacenes



Sistema de bombeo quebrantado



Casa de bombas



Tuberías y válvulas con alto estado de corrosión



Tanque de reserva de agua contra incendios en mal estado físico

Anexo 5: Figura 1. Ejemplos de sistemas de suministro de agua contra incendios sencillo

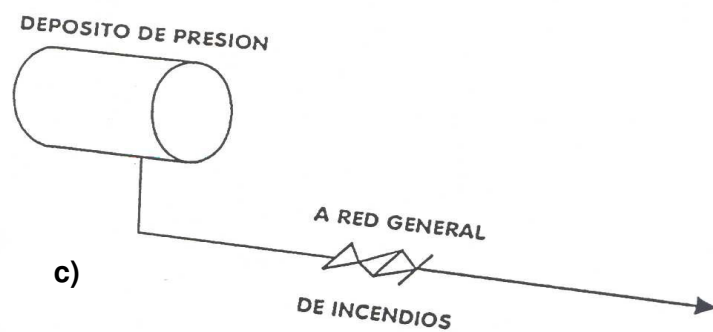
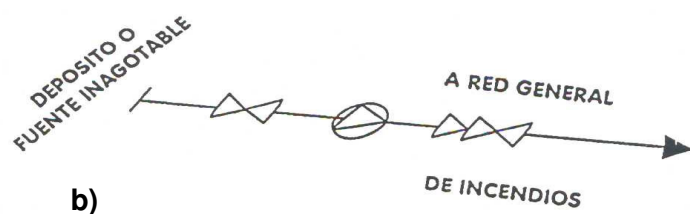
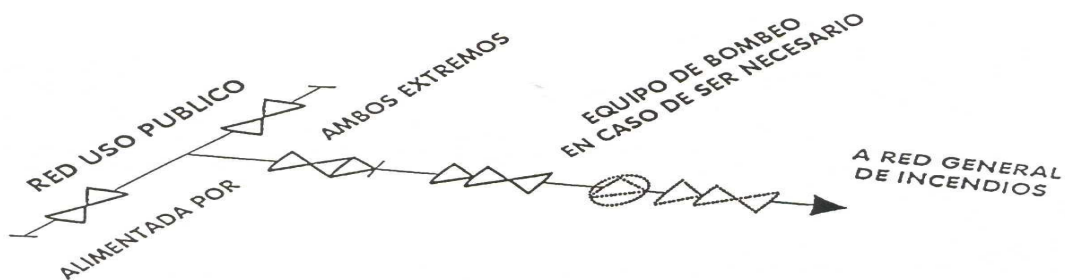
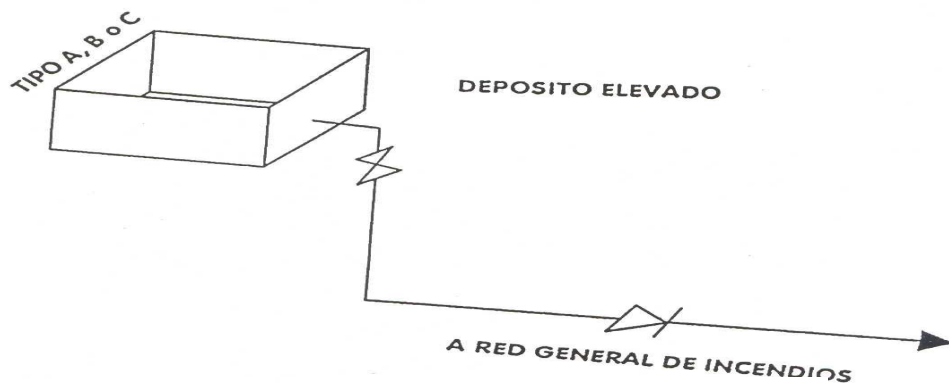


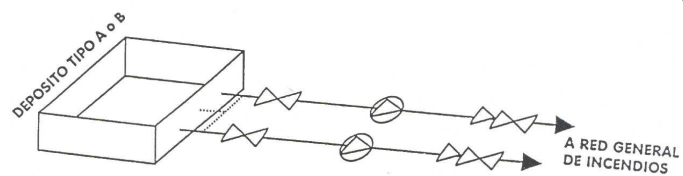
Figura 2. Ejemplos de sistemas de suministro de agua contra incendios superior



a)

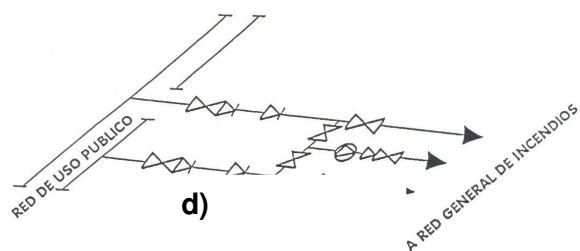


b)



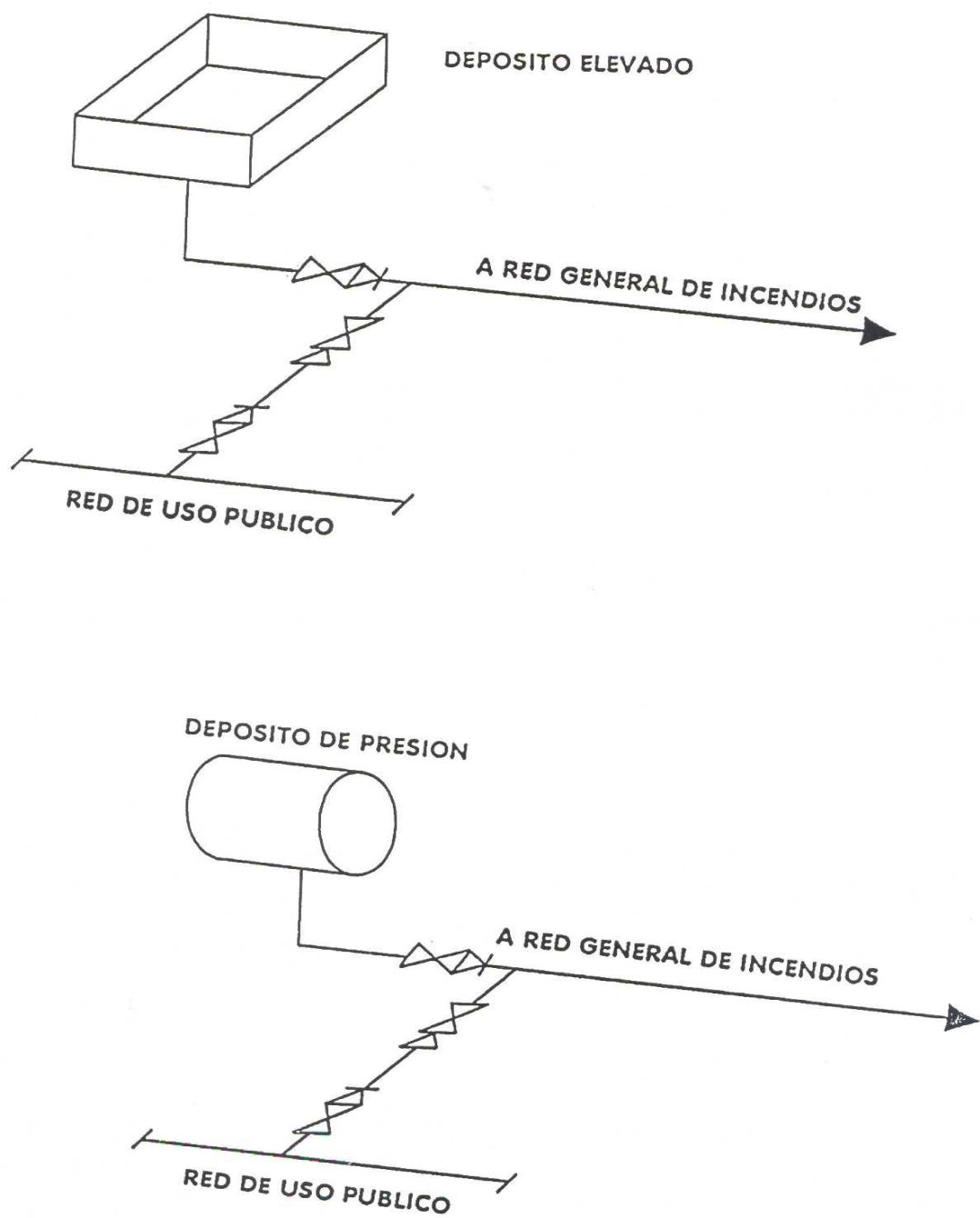
Nota: Se admitirá la variante indicada en línea discontinua como solución alternativa

c)



d)

Anexo 6: Figura 1. Sistema de suministro doble



Anexo 7: Figura 3. Esquema de 2 bombas en paralelo

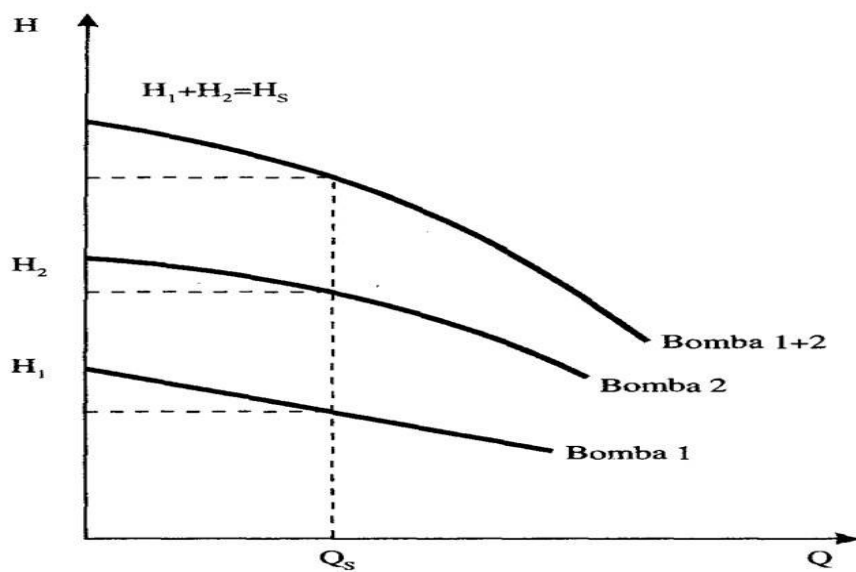
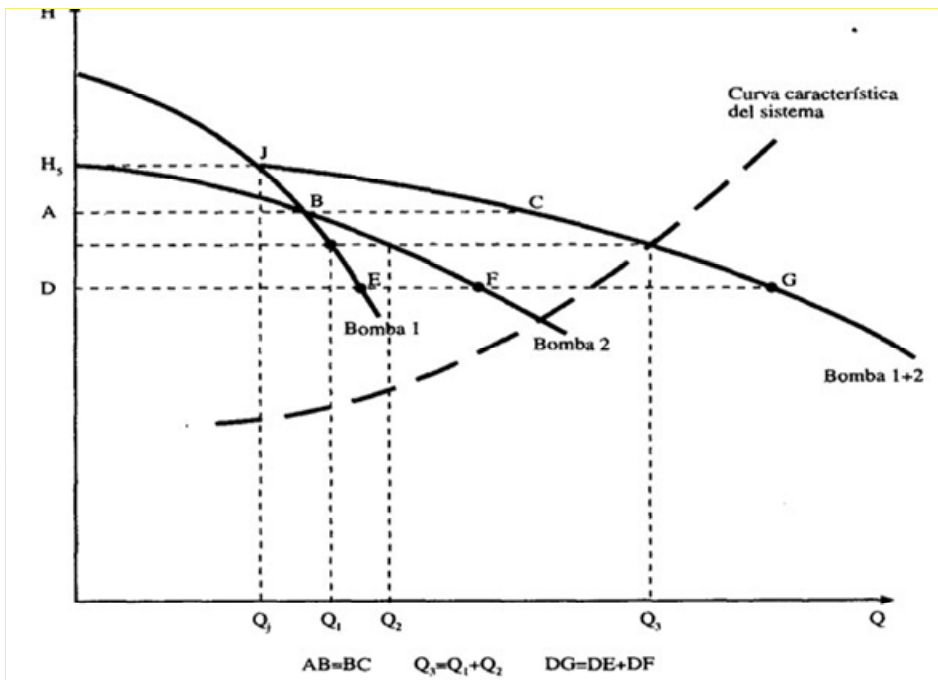
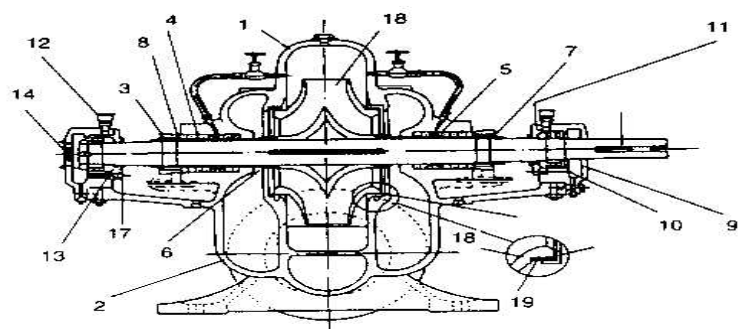


Figura 4. Esquema de 2 bombas en serie.



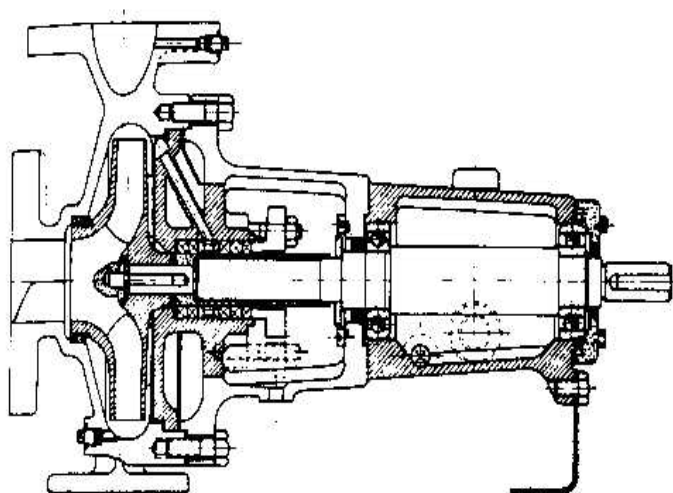
ANEXOS CAPÍTULO 2

Anexo 8: Figura 1. Bomba centrífuga horizontal de cámara partida horizontalmente



REF.	DESCRIPCION
1	Cuerpo bomba superior
2	Cuerpo bomba inferior
3	Prensaestopas
4	Aro empaquetadura
5	Medio anillo cierre hidráulico
6	Camisa eje
7	Tuerca aprieto camisa
8	Junta tórica
9	Caja rodamiento
10	Rodamiento
11	Tapa rodamiento l/acoplamiento
12	Engrasador
13	Tapa rodamiento l/c. acoplamiento
14	Placa características
15	Eje
16	Aro rozante impulsor
17	Deflector
18	Impulsor
19	Aro protección impulsor

Figura 2. Bomba centrífuga horizontal de cámara partida verticalmente.



Anexo 9: Tabla 1. Aspectos generales para la selección de la bomba

Qn nominal (Q sobrecarga)	Hn (altura manométrica nominal, en m)										
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
12 m ³ /h (17)	UC-12/45 5,5/7,5	UC-12/50 5,5/7,5	UC-12/55 5,5/7,5	UC-12/60 7,5/10	UC-12/65 11/15	UC-12/70 11/15	UC-12/75 11/15	UC-12/80 11/15	UC-12/85 11/15	UC-12/90 11/15	UC-12/95 15/20
18 m ³ /h (25)	UC-18/45 5,5/7,5	UC-18/50 7,5/10	UC-18/55 7,5/10	UC-18/60 11/15	UC-18/65 11/15	UC-18/70 11/15	UC-18/75 11/15	UC-18/80 11/15	UC-18/85 11/15	UC-18/90 15/20	UC-18/95 15/20
24 m ³ /h (34)	UC-24/45 7,5/10	UC-24/50 7,5/10	UC-24/55 11/15	UC-24/60 11/15	UC-24/65 11/15	UC-24/70 11/15	UC-24/75 15/20	UC-24/80 15/20	UC-24/85 15/20	UC-24/90 18,5/25	
30 m ³ /h (42)	UC-30/45 7,5/10	UC-30/50 7,5/10	UC-30/55 11/15	UC-30/60 11/15	UC-30/65 11/15	UC-30/70 15/20	UC-30/75 15/20	UC-30/80 15/20	UC-30/85 15/20	UC-30/90 18,5/25	
36 m ³ /h (51)	UC-36/45 7,5/10	UC-36/50 11/15	UC-36/55 11/15	UC-36/60 15/20	UC-36/65 15/20	UC-36/70 15/20	UC-36/75 18,5/25	UC-36/80 18,5/25	UC-36/85 22/30	UC-36/90 22/30	UC-36/95 30/40
40 m ³ /h (56)	UC-40/45 11/15	UC-40/50 11/15	UC-40/55 11/15	UC-40/60 15/20	UC-40/65 15/20	UC-40/70 18,5/25	UC-40/75 18,5/25	UC-40/80 22/30	UC-40/85 22/30	UC-40/90 22/30	UC-40/95 30/40
50 m ³ /h (70)	UC-50/45 11/15	UC-50/50 15/20	UC-50/55 15/20	UC-50/60 18,5/25	UC-50/65 18,5/25	UC-50/70 22/30	UC-50/75 22/30	UC-50/80 22/30	UC-50/85 30/40	UC-50/90 30/40	
60 m ³ /h (84)	UC-60/45 15/20	UC-60/50 15/20	UC-60/55 15/20	UC-60/60 22/30	UC-60/65 22/30	UC-60/70 22/30	UC-60/75 22/30	UC-60/80 30/40	UC-60/85 30/40	UC-60/90 30/40	
70 m ³ /h (98)	UC-70/45 18,5/25	UC-70/50 18,5/25	UC-70/55 18,5/25	UC-70/60 22/30	UC-70/65 22/30	UC-70/70 30/40	UC-70/75 30/40	UC-70/80 30/40	UC-70/85 30/40	UC-70/90 44/60	UC-70/95 55/75
80 m ³ /h (112)	UC-80/45 18,5/25	UC-80/50 18,5/25	UC-80/55 22/30	UC-80/60 30/40	UC-80/65 30/40	UC-80/70 30/40	UC-80/75 37/50	UC-80/80 37/50	UC-80/85 44/60	UC-80/90 44/60	UC-80/95 55/75
90 m ³ /h (126)	UC-90/45 18,5/25	UC-90/50 22/30	UC-90/55 22/30	UC-90/60 30/40	UC-90/65 30/40	UC-90/70 37/50	UC-90/75 37/50	UC-90/80 37/50	UC-90/85 44/60	UC-90/90 44/60	UC-90/95 55/75
100 m ³ /h (140)	UC-100/45 18,5/25	UC-100/50 22/30	UC-100/55 22/30	UC-100/60 30/40	UC-100/65 30/40	UC-100/70 37/50	UC-100/75 37/50	UC-100/80 44/60	UC-100/85 44/60	UC-100/90 55/75	UC-100/95 55/75
110 m ³ /h (154)		UC-110/50 30/40	UC-110/55 30/40	UC-110/60 30/40	UC-110/65 37/50	UC-110/70 37/50	UC-110/75 37/50	UC-110/80 44/60	UC-110/85 44/60	UC-110/90 55/75	UC-110/95 55/75
120 m ³ /h (168)	UC-120/45 30/40	UC-120/50 37/50	UC-120/55 44/60	UC-120/60 44/60	UC-120/65 44/60	UC-120/70 44/60	UC-120/75 44/60	UC-120/80 44/60	UC-120/85 44/60	UC-120/90 55/75	UC-120/95 55/75
130 m ³ /h (182)	UC-130/45 30/40	UC-130/50 37/50	UC-130/55 44/60	UC-130/60 44/60	UC-130/65 44/60	UC-130/70 44/60	UC-130/75 55/75	UC-130/80 55/75	UC-130/85 75/100	UC-130/90 75/100	UC-130/95 75/100
140 m ³ /h (196)	UC-140/45 30/40	UC-140/50 37/50	UC-140/55 44/60	UC-140/60 44/60	UC-140/65 44/60	UC-140/70 55/75	UC-140/75 55/75	UC-140/80 75/100	UC-140/85 75/100	UC-140/90 75/100	UC-140/95 75/100
150 m ³ /h (210)	UC-150/45 30/40	UC-150/50 37/50	UC-150/55 44/60	UC-150/60 44/60	UC-150/65 44/60	UC-150/70 55/75	UC-150/75 55/75	UC-150/80 75/100	UC-150/85 75/100	UC-150/90 75/100	UC-150/95 75/100
160 m ³ /h (224)	UC-160/45 30/40	UC-160/50 37/50	UC-160/55 44/60	UC-160/60 44/60	UC-160/65 44/60	UC-160/70 55/75	UC-160/75 55/75	UC-160/80 75/100	UC-160/85 75/100	UC-160/90 75/100	UC-160/95 90/125
170 m ³ /h (238)	UC-170/45 37/50	UC-170/50 37/50	UC-170/55 44/60	UC-170/60 44/60	UC-170/65 55/75	UC-170/70 55/75	UC-170/75 55/75	UC-170/80 75/100	UC-170/85 75/100	UC-170/90 75/100	UC-170/95 90/125
180 m ³ /h (252)	UC-180/45 37/50	UC-180/50 44/60	UC-180/55 44/60	UC-180/60 55/75	UC-180/65 55/75	UC-180/70 55/75	UC-180/75 55/75	UC-180/80 75/100	UC-180/85 75/100	UC-180/90 75/100	UC-180/95 90/125
190 m ³ /h (266)	UC-190/45 37/50	UC-190/50 44/60	UC-190/55 44/60	UC-190/60 55/75	UC-190/65 55/75	UC-190/70 55/75	UC-190/75 75/100	UC-190/80 75/100	UC-190/85 75/100	UC-190/90 75/100	UC-190/95 90/125
200 m ³ /h (280)	UC-200/45 44/60	UC-200/50 44/60	UC-200/55 55/75	UC-200/60 55/75	UC-200/65 55/75	UC-200/70 75/100	UC-200/75 75/100	UC-200/80 75/100	UC-200/85 75/100	UC-200/90 90/125	UC-200/95 90/125
210 m ³ /h (294)	UC-210/45 44/60	UC-210/50 44/60	UC-210/55 55/75	UC-210/60 75/100	UC-210/65 75/100	UC-210/70 75/100	UC-210/75 75/100	UC-210/80 90/125	UC-210/85 90/125	UC-210/90 90/125	UC-210/95 90/125
220 m ³ /h (308)	UC-220/45 44/60	UC-220/50 44/60	UC-220/55 55/75	UC-220/60 75/100	UC-220/65 75/100	UC-220/70 75/100	UC-220/75 75/100	UC-220/80 90/125	UC-220/85 90/125	UC-220/90 90/125	UC-220/95 110/150
230 m ³ /h (322)	UC-230/45 44/60	UC-230/50 55/75	UC-230/55 55/75	UC-230/60 75/100	UC-230/65 75/100	UC-230/70 75/100	UC-230/75 75/100	UC-230/80 90/125	UC-230/85 90/125	UC-230/90 90/125	UC-230/95 110/150
240 m ³ /h (336)	UC-240/45 44/60	UC-240/50 55/75	UC-240/55 55/75	UC-240/60 75/100	UC-240/65 90/125	UC-240/70 90/125	UC-240/75 90/125	UC-240/80 90/125	UC-240/85 90/125	UC-240/90 110/150	UC-240/95 110/150
250 m ³ /h (350)	UC-250/45 55/75	UC-250/50 55/75	UC-250/55 55/75	UC-250/60 90/125	UC-250/65 90/125	UC-250/70 90/125	UC-250/75 90/125	UC-250/80 90/125	UC-250/85 90/125	UC-250/90 110/150	UC-250/95 110/150
260 m ³ /h (364)	UC-260/45 55/75	UC-260/50 55/75	UC-260/55 55/75	UC-260/60 90/125	UC-260/65 90/125	UC-260/70 90/125	UC-260/75 90/125	UC-260/80 90/125	UC-260/85 90/125	UC-260/90 110/150	UC-260/95 110/150

ANEXOS CAPÍTULO 3

Anexo 11: Figura 1. Ejemplo característico del equipo de bombeo formado por dos bombas principales, una eléctrica y otro diesel.



Scenario: Base

