



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA LA EVALUACIÓN  
HIDRÁULICA DE REDES DE SISTEMAS DE  
CONTRAINCENDIO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**MIGUEL ZACARÍAS MARTÍNEZ SANDOVAL**



MEXICO, D.F. 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

<b>Presidente</b>	<b>I.Q. José Antonio Ortiz Ramírez</b>
<b>Vocal</b>	<b>I.Q. Rodolfo Torres Barrera</b>
<b>Secretario</b>	<b>Dr. Alfonso Durán Moreno</b>
<b>1er. Suplente</b>	<b>I.Q. José Agustín Texta Mena</b>
<b>2do. Suplente</b>	<b>I.Q. Iván Frantz Blanco Hernández</b>

Sitio en donde se desarrolló el tema:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
TORRE DE INGENIERÍA.  
CUARTO PISO, ALA SUR

Asesor del tema:

---

DR. ALFONSO DURÁN MORENO

Supervisor técnico

---

I.Q. IVÁN FRANTZ BLANCO HERNÁNDEZ

Sustentante:

---

MIGUEL ZACARÍAS MARTÍNEZ SANDOVAL

## Agradecimientos

A mis padres Martha y Miguel, por ser una parte fundamental en mi desarrollo y maestros de vida. Y que día a día han estado a mi lado, mostrándome su amor, su apoyo incondicional en mi vida y la confianza que tuvieron en mí, para lograr terminar mis estudios profesionales, que es el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.

A mi hermano Arnoldo, por ser mi mejor amigo, mi confidente y un gran ser humano. Por enseñarme que siempre hay que tener optimismo, fuerza y carácter. Por mostrarme el verdadero valor de una familia. Gracias, por el apoyo brindado durante los años más difíciles y felices de mi vida.

## Agradecimientos

A mi Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme todos los recursos para mi formación profesional.

A mi Facultad de Química, mi segunda casa por todos los momentos inolvidables e imborrables en mi etapa de universitario.

A mis amigos que estuvieron conmigo en este camino, les agradezco su gran amistad y compañía; Mónica, Daniel, Marisol, Regalado, Rodrigo, Karina, Ernesto y Ulises.

## Agradecimientos

Al Ing. Mauro Aguilar, al Ing. Iván Frantz Blanco y a la Ing. Daphne Morales que me orientaron y apoyaron en la realización de este trabajo.

A los ingenieros del Grupo de Ingeniería Ambiental por la convivencia compartida y la experiencia profesional. Al Ing. Rubens Medina por sus consejos y su valiosa amistad durante la estancia de la Torre.

A mí jurado el Ing. Rodolfo Torres y el Ing. José Antonio Ortiz por su tiempo y sus valiosos comentarios en la realización de este trabajo.

**ÍNDICE**

RESUMEN .....	7
1 INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 PROBLEMÁTICA .....	13
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	14
1.3 OBJETIVOS PARTICULARES.....	15
1.4 ALCANCES.....	15
2 FUNDAMENTOS .....	17
2.1 Fundamentos hidráulicos.....	17
2.1.1 Propiedades hidráulicas del agua.....	17
2.1.1.1 Propiedades materiales .....	17
2.1.1.2 Presión.....	18
2.1.2 Teorema de Bernoulli .....	20
2.1.3 Pérdidas por fricción en flujo de fluidos .....	21
2.1.3.1 Pérdidas de energía por cambios de dirección y por accesorios	24
2.1.4 Válvulas de control de los sistemas de distribución de agua.....	26
2.1.4.1 Válvulas de retención dobles .....	28
2.1.5 Bombas .....	28
2.1.5.1 Bombas de incendios.....	30
2.1.5.2 Velocidad específica .....	32
2.1.5.3 Carga neta positiva de succión .....	33
2.1.5.4 Potencia de las bombas contra incendio.....	34
2.2 Sistemas de contra incendios .....	35
2.2.1 Detección y alarma .....	36
2.2.2 Supresión .....	36



2.2.3	Organización del sistema de contraincendio .....	37
2.2.3.1	Organización antes de que se produzca el fuego .....	38
2.2.3.2	Organización eficaz en el incendio.....	39
2.3	Funcionamiento del software (EPANET 2.0).....	40
2.4	Normatividad .....	43
3	CASO DE ESTUDIO .....	50
4	METODOLOGÍA .....	53
5	DESARROLLO.....	57
5.1	Recopilación, análisis y evaluación de la información documental .....	57
5.1.1	Filosofía de operación .....	58
5.1.2	Equipo de bombeo.....	59
5.1.3	Operación de las bombas.....	61
5.1.4	Otros componentes .....	62
5.1.5	Red de tuberías y accesorios en el sistema de contraincendio .....	63
5.1.6	Suministro y tanque de almacenamiento.....	64
5.1.7	Análisis de las curvas de operación de diseño y actuales de los equipos de bombeo.....	65
5.2	Cuantificación de pérdidas de agua en el sistema de contraincendio .....	67
5.3	Análisis de los componentes de sistemas de contraincendio.....	68
5.4	Pruebas in-situ del sistema de CI.....	72
6	EVALUACION .....	76
6.1	Criterios.....	76
6.1.1	Ubicación de las fugas y tomas parásitas.....	83
6.1.2	Cuantificación del volumen de agua que se utiliza en la red contraincendio.....	84



6.1.3	Pruebas <i>in-situ</i> (punto hidráulicamente más desfavorable) .....	85
6.1.4	Simulación del estado actual de la red contraincendio .....	86
6.2	Determinación de los requerimientos mínimos del sistema .....	90
6.3	Diagnóstico de la operación de la red contraincendio .....	90
7	PROPUESTA .....	94
7.1	Análisis hidráulico del sistema de contraincendio .....	96
7.2	Aspectos económicos .....	106
8	CONCLUSIONES .....	112
	ANEXO.....	116
	BIBLIOGRAFÍA .....	119

**FIGURAS**

Figura 1.	Balance sobre una tubería.....	22
Figura 2.	Gráfica de Moody .....	23
Figura 3.	Rugosidad relativa para tubería de diferentes materiales y factor de fricción para turbulencia completa.....	24
Figura 4.	Válvula de retención .....	27
Figura 5.	Conjunto de válvulas de retención dobles .....	28
Figura 6.	Función de la bomba .....	29
Figura 7.	Bomba de incendios centrífuga de una sola etapa, de eje horizontal con vista seccionada de la bomba. ....	31
Figura 8.	Las paletas del impulsor son curvas para asegurar el flujo suave del líquido. 31	
Figura 9.	Componentes físicos de un sistema de distribución de agua. ....	41
Figura 10.	Elementos del software .....	42
Figura 11.	Red contraincendio del Complejo Petroquímico.....	50
Figura 12.	Diagrama de flujo de la metodología .....	53
Figura 13.	Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-A .....	65



Figura 14.	Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-B .....	65
Figura 15.	Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-C .....	66
Figura 16.	Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-110-A .....	66
Figura 17.	Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-110-B .....	66
Figura 18.	Hidrante simple.....	71
Figura 19.	Hidrante monitor .....	72
Figura 20.	Medida de la presión de un lanza con un tubo Pitot .....	73
Figura 21.	Ubicación del punto más desfavorable hidráulicamente.....	74
Figura 22.	Localización de fugas y tomas parásitas en la red contraincendio del Complejo Petroquímico. ....	83
Figura 23.	Simulación de la red contraincendio del Complejo Petroquímico .....	87
Figura 24.	Mapa de isolíneas.....	88
Figura 25.	Diagrama de flujo de proceso del estado actual del sistema de de contraincendio.....	91
Figura 26.	Diagrama para la metodología de cálculo en EPANET .....	97
Figura 27.	Propuesta de optimización del sistema de contraincendio .....	101
Figura 28.	a) Presurización de nodos de la condición actual y la propuesta del sistema de contraincendio, b) Distribución de presiones .....	103
Figura 29.	Modificaciones por área.....	104
Figura 30.	Beneficios y ahorros de la propuesta.....	110

**TABLAS**

Tabla 1.	Pérdidas en accesorios.....	25
Tabla 2.	Accesorios más comunes en una red de tubería .....	26
Tabla 3.	Capacidades de bombas .....	32
Tabla 4.	Normas de la NFPA utilizadas .....	43
Tabla 5.	Normas de la NRF utilizadas .....	46
Tabla 6.	Datos de técnicos del sistema de contraincendio .....	51
Tabla 7.	Información recopilada del Complejo Petroquímico.....	57
Tabla 8.	Características de las bombas del Complejo Petroquímico.....	59
Tabla 9.	Secuencia de arranque automático de las bombas .....	62



Tabla 10.	Otros componentes que integran el sistema de contraincendio .....	63
Tabla 11.	Especificación de la tubería de acero al carbón del Complejo Petroquímico .....	63
Tabla 12.	Desgaste de la red contraincendio. ....	64
Tabla 13.	Localización y número de componentes de la red contraincendio. ...	69
Tabla 14.	Demanda de flujo y presión en el Complejo Petroquímico. ....	70
Tabla 15.	Criterios para la evaluación hidráulica del sistema de contraincendio. 76	
Tabla 16.	Criterios de evaluación conforme a normatividad .....	78
Tabla 17.	Evaluación de las características físicas actuales del sistema de contraincendio .....	82
Tabla 18.	Fugas identificadas en el sistema de contraincendio.....	84
Tabla 19.	Tomas parásitas identificadas en el sistema de contraincendio .....	84
Tabla 20.	Flujo estimado para fugas y tomas parásitas .....	85
Tabla 21.	Pruebas in situ del sistema de contraincendio.....	85
Tabla 22.	Elementos incluidos dentro de la simulación de la red contraincendio 89	
Tabla 23.	Especificaciones de los tramos rectos de tubería considerados para la simulación de la red contraincendio .....	89
Tabla 24.	Especificaciones de válvulas del Complejo Petroquímico .....	90
Tabla 25.	Comparativa de datos normativos vs pruebas in-situ .....	90
Tabla 26.	Comparativa de pruebas in-situ vs propuesta .....	98
Tabla 27.	Ahorro de agua cruda .....	99
Tabla 28.	Resultados de la simulación de la propuesta .....	102
Tabla 29.	Alcance en la reestructuración en el sistema de contraincendio .....	105
Tabla 30.	Inversión de la propuesta y proyecciones de ahorro .....	107
Tabla 31.	Equipos en mantenimiento, rehabilitación e instalación .....	108
Tabla 32.	Inversión proyectada para mantenimiento, rehabilitación y cambio de tubería 108	
Tabla 33.	Valor presente neto y recuperación de inversión.....	109
Tabla 34.	Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109A.....	117



Tabla 35. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109B..... 117

Tabla 36. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109C..... 117

Tabla 37. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-110A..... 118

Tabla 38. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109B..... 118

**RESUMEN**

El presente trabajo se enfoca a las propuestas de criterios y recomendaciones para la evaluación hidráulica de redes de sistemas de contraincendio, con la finalidad de optimizar la operación del sistema de contraincendio y ahorro de recursos. En las instalaciones industriales con más de 30 años de funcionamiento los sistemas de contraincendio pueden presentar los siguientes problemas: pérdidas de agua (ocasionadas por fugas de agua y tomas parásitas) y el inadecuado funcionamiento técnico de las redes contraincendio. La solución de estos problemas debe comenzar con un diagnóstico el cual debe consistir en la recopilación y análisis de la información documental, revisión conforme a la normatividad correspondiente, análisis de los componentes del sistema de contraincendio, prueba in situ del sistema de contraincendio en el punto hidráulicamente más desfavorable y en la zona de más alto riesgo, mediciones de flujo y presión en la salida de hidrantes de la red en el punto más desfavorable y de mayor riesgo durante el desarrollo de las pruebas, determinación de los requerimientos mínimos en el sistema para mitigar un incendio y/o explosión, de acuerdo a los resultados de las prueba. En este trabajo se aportan criterios y recomendaciones para la evaluación hidráulica de un sistema de contraincendio. Los criterios se fundamentan en las normas del National Fire Protection Association (NFPA) y del Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (NRF); las cuales proporcionan los lineamientos de operación de los sistemas de contraincendio reduciendo en gran medida el riesgo de esta coyuntura. Las recomendaciones proporcionadas por el estudio realizado, tienen como objetivo optimizar el funcionamiento del sistema de contraincendio, aumentando la rapidez de respuesta así como la confiabilidad del sistema en caso de un conato de incendio. La meta general del presente trabajo es garantizar un excelente funcionamiento operacional y eficiencia del sistema, ahorro de agua a través de la erradicación total de las tomas parásitas y fugas de agua.



# INTRODUCCIÓN



### 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de contraincendio es el nombre genérico que reciben todos los equipos, redes de tuberías, dispositivos mecánicos y electrónicos usados para la detección y/o control y/o extinción de incendios.

Los sistemas de contraincendio tienen la finalidad de proporcionar a las industrias la seguridad del personal e instalaciones, ya que previene afectaciones a la integridad y la respuesta inmediata en caso de algún conato de incendio.

Entre los problemas más comunes en la industria es la utilización de instrumentos que están en pésimas condiciones, mala instalación, reserva de agua insuficiente, sistema no adecuado para el riesgo, seccionamiento cerrado y bajo mantenimiento. En los accesorios de redes contraincendio se encuentran complicaciones como son: crecimiento biológico, oxidación y por ende falta de limpieza. Las dificultades en una red contraincendio no solamente comprenden los instrumentos y los accesorios; sino que también debe de tomarse en cuenta las bombas, los tanques y la logística de operación.

Para una evaluación correcta y adecuada de una red contraincendio se requiere una revisión técnica, verificando de que la instalación del sistema esté acorde con el diseño original y lo representado en los planos de construcción y determinando el estado en que opera la red y la capacidad nominal de las bombas las cuales tendrán que cubrir la demanda máxima permisible; para lo cual es necesario saber si la altura piezométrica del conjunto de las conductos que conforman la red es proporcional, dado que se han encontrado problemas en la industria en que el desnivel del suelo afecta la operación del sistema.

Otro aspecto importante es verificar que no haya fugas, ya que este tipo de incidente es muy común sobre todo en la red de tubería subterránea a comparación de la red área; esto se debe primero a que el mantenimiento en una red subterránea es más difícil y las propiedades de la tierra afecta a las tuberías y



solamente se detecta que hay fugas cuando hay irregularidades en el sistema operativo y en la realización de la inspección física es muy notable.

En la inspección física se debe de evaluar el cumplimiento de la normatividad de la National Fire Protection Association (NFPA) y la normatividad generada por el Complejo Petroquímico (NRF), para sustentar este trabajo.

Los datos obtenidos en la inspección física tendrán que ser veraces, para emular las condiciones operacionales a través de software EPANET que permitirá tener un análisis hidráulico certero y sustentando.

El presente trabajo está constituido por 7 siete capítulos en los que se elabora el estudio de los sistemas de contraincendio.

En el capítulo 1 uno describe la finalidad de estudio del trabajo. En el capítulo 2 dos describe los conceptos que implica la red contraincendio y las herramientas de evaluación, en este caso son las normas y el software EPANET.

El 3 tercer capítulo trata del caso de estudio, describiendo las condiciones de operación del Complejo Petroquímico. El 4 cuarto capítulo se describe cada segmento de la metodología empleada evaluar al sistema de contraincendio.

El 5 quinto capítulo se describe las partes principales del sistema de contraincendio, el ciclo operativo y pruebas hidráulicas. En el capítulo 6 sexto y 7 séptimo, se describe los criterios empleados para realizar el análisis hidráulico, el planteamiento de la solución ante problemática identificada, realizando propuestas que erradican las anomalías operativas, indicando los beneficios y ahorros en el centro de trabajo.

Finalmente el capítulo 8 octavo se indica la conclusión del trabajo realizado para el Complejo Petroquímico, así como recomendaciones que mejorarían sustancialmente el sistema operativo y la consolidación de seguridad del Complejo Petroquímico.



### Nomenclatura

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$\omega$  = Peso específico (lb/ft<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$v$  = Velocidad alcanzada, en pies/s (m/s)

$h$  = Altura de presión en pies (m) a la que se alcanza esa velocidad.

$h_v$  = Altura de velocidad en pies

$p$  ( $p_m$ ) = Presión en libras/pie<sup>2</sup> (kPa).

$z$  ( $z_m$ ) = Altura geométrica (por encima del plano de referencia) en pies (m).

$\frac{v^2}{2g}$  ( $\frac{v_m^2}{2g}$ ) = Altura de velocidad en pies (m).

$\frac{p}{w}$  ( $\frac{p_m}{w_m}$ ) = Altura de presión en pies (m).

$h_{AB}$  ( $h_{ABm}$ ) = Pérdida de altura total entre los puntos "A" y "B", en pies (m).

$\Sigma F$  = Fuerza fricción

A= Área sobre la cual actúa la fuerza de fricción

$u$  = Velocidad del fluido.

$f_F$  = Coeficiente llamado factor de fricción de Fanning.

$K$  = Coeficiente que depende de los accesorios

$f_D$  = Coeficiente llamado factor de fricción de Darcy

$L$  = Longitud del tubo (m)

$D$  = Diámetro del tubo (m)

$Le$  = Longitud equivalente (m)

$H$  = Carga o cabeza en (m)

$M$  = Gasto másico (m)



$H_b$  = Carga de succión (m)

$H_a$  = Columna de descarga (m)

$Z_b$  = Altura de succión (m)

$Z_a$  = Altura de descarga (m)

$N_s$  = Numero correspondiente a la velocidad específica

$Q$  = Caudal (gpm)

$E$  = Rendimiento

$bhp$  = Potencia efectiva ó potencia al freno

$t_{total}$  = Tiempo (min)

$C_d$  = Coeficiente de descarga

$d_m$  = Diámetro interior en mm

$p_{vm}$  = Presión de velocidad en kPa



### 1.1 PROBLEMÁTICA

En el ámbito de laboral, el riesgo de incendio puede afectar no sólo a todo el personal que labora dentro de la Refinería, sino también a los visitantes y habitantes cercanos a los centros de trabajo. Los factores de riesgo en las empresas o industrias se asocian a distintas causas, que van desde una mala manipulación en la generación, extracción y/o producción, de productos y máquinas, hasta factores técnicos (como manipulación inadecuada, almacenamiento incorrecto o instalaciones eléctricas en mal estado).

Según estadísticas, los incendios industriales son causados por 11 fuentes de ignición, de los cuales se tienen principalmente: incendios eléctricos (24%), roces y fricciones (21%), chispas mecánicas (12%), objetos arrojados por fumadores (9%), ignición espontánea (7%), superficies calientes (7%), chispas de combustión (6%), llamas abiertas (5%), soldadura y corte (4%), materiales recalentados (3%) y electricidad estática (2%). Ante tales causas los sistemas de contraincendios ha ido tomando relevancia, considerándose esta disciplina fundamental en el ámbito industrial.

Cabe mencionar que en los últimos años los sistemas de contraincendio han tenido una relevante intervención en los conatos de incendios de la industria de refinación del petróleo, de los cuales por mencionar algunos se tienen:

- El 22 de diciembre del año del 2004, se produjo un incendio de la estación Mazumiapan del oleoducto de Nuevo Teapan-Poza Rica y poliducto de Minatitlán; en este caso el incendio fue contrarrestado.
- El 26 de diciembre del 2004, se produjo un incendio en la Refinería “Francisco I. Madero”; en este caso los sistemas de contraincendios fueron pieza clave, para salvaguardar los combustibles, y se sofocó el conato de incendio antes que este llegará al abasto de combustibles en la Ciudad de Tamaulipas.
- El 11 de enero, del 2005, se produjeron incendios en las plantas de MTBE y TAME en la Refinería de “Miguel Hidalgo” en Tula; donde las redes



contraincendio contrarrestaron en gran medida los daños por estos conatos de incendios, en los cuales se puso en riesgo el abasto de gasolinas en el Valle de México.

En los Complejos Petroquímicos no existe tal cosa como la seguridad absoluta. Es prácticamente imposible eliminar en su totalidad el riesgo de un conato de incendio; sin embargo puede ser reducido mediante la implementación de sistemas de contraincendio. En los Complejos Petroquímicos se cuentan con redes de sistemas de contraincendio las cuales tienen como objetivo que en caso de algún de conato de incendio prevenir afectaciones a las instalaciones, así como la integridad del personal que labora en los centros.

Los Complejos Petroquímicos en México tienen una antigüedad de más de 30 años, con lo cual la vida útil de la red de tuberías va disminuyendo; debido a esto las instalaciones necesitan de un constante mantenimiento y reestructuración para evitar presencia de fugas y tomas parásitas, con lo cual se pretende prolongar la vida útil del sistema de contraincendio; esto va a depender de cuestiones presupuestales. La evaluación técnica permite conocer cada una de las zonas de las redes contraincendio, dando a conocer mediante simulaciones las propiedades físicas y operativas existentes en la red, verificando si existe un mantenimiento periódico; lo que implica cumplimiento de la normatividad que se ejerce a nivel nacional y mundial.

### **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Proponer una serie de criterios y recomendaciones para la evaluación hidráulica de redes de sistemas de contraincendio de instalaciones industriales de una antigüedad de más de 30 años, con la finalidad optimizar y mejorar el sistema de contraincendio.



### 1.3 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Establecer la metodología para el desarrollo del diagnóstico de la operación actual en el sistema de contraincendios.
2. Plantear opciones que conlleve a la solución de la problemática identificada al Centro de Trabajo de estudio
3. Evaluar técnicamente el sistema de contraincendio del Centro de Trabajo.
4. Elaborar un estudio de las redes y recomendaciones para mejorar la operación del sistema de contraincendio (CI) y conlleve al ahorro de recursos.

### 1.4 ALCANCES

1. Analizar y evaluar el diagnóstico de la operación actual del Complejo de Petroquímico.
2. Analizar las condiciones de operación de la red mediante simulaciones en el software EPANET.
3. Realizar un estudio de criterios conforme a normatividad.
4. Realizar un estudio de recomendaciones por medio del análisis hidráulico.



# FUNDAMENTOS



## **2 FUNDAMENTOS**

La red contraincendio es un conjunto de tuberías, dispositivos y equipos de bombeo para salida de agua, que formando anillos o circuitos, sirven exclusivamente para distribuir y conducir el agua contraincendio a lo largo y ancho del Complejo Petroquímico y su finalidad primordial es la prevención y ataque de un conato de incendio, sin este recurso vital (agua) la red no cumpliría su finalidad, es importante aprovechar este recurso al máximo para el buen funcionamiento de la red contraincendio.

### **2.1 Fundamentos hidráulicos.**

La hidráulica de la red contraincendio, una parte de la mecánica de fluidos, estudia el flujo de agua que pasa por las tuberías y orificios, tales como las salidas de los hidrantes, lanzas de las mangueras o rociadores. En este capítulo se describe las propiedades físicas del agua que afecta a los cálculos hidráulicos y las fórmulas utilizadas para calcular el caudal y las pérdidas de presión en los sistemas de contraincendios (NFPA, 2001).

#### **2.1.1 Propiedades hidráulicas del agua**

En el sistema de contraincendio, el “agua dulce” se toma como referencia en los cálculos (NFPA, 2001).

##### **2.1.1.1 Propiedades materiales**

Este tema está basado en el libro de NFPA. (2001), *Manual de protección contraincendio*.

Densidad: La densidad  $\rho$  (ro) se define como la masa por unidad de volumen:



$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad \text{Ecuación 1}$$

La densidad del agua, como la de muchos otros líquidos, varía con la temperatura. La densidad del agua es máxima a 39.2 °F (4.0 °C). En vacío es de 1,000 kg/m<sup>3</sup>; a la presión normal, es de 998.7 kg/m<sup>3</sup>. La densidad media del agua del mar a 39.2°F (4,0 °C) es de 1,030 kg/m<sup>3</sup>.

Peso específico: El peso de cualquier materia ( $\omega$ ) se define como (NFPA, 2001):

$$\omega = \rho g \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

El peso específico se mide generalmente en kg de peso/m<sup>3</sup> o en lbf (libras de peso) por pie cúbico.

Viscosidad: La viscosidad es una medida de la resistencia a fluir del líquido y se mide normalmente en lb seg/pie<sup>2</sup>, en unidades USA, o en newtons s/m<sup>2</sup> en unidades SI. La viscosidad, como la densidad, varía con la temperatura.

### **2.1.1.2 Presión**

Esté tema está basado en el libro de NFPA. (2001), *Manual de protección contraincendio*.

Presión: La presión P es la unidad que mide la fuerza por unidad de superficie que causa un fluido por compresión. En la hidráulica de sistemas de contraincendios, a presión se mide normalmente en libras por pulgada cuadrada (psi) o en kilopascales (kPa) cuando se mide con un manómetro, o en altura o metros de altura de columna de agua. La presión se mide también normalmente como la altura de una columna de mercurio.



Presión de velocidad o altura de velocidad: La velocidad ( $v$ ) que adquiere una masa de agua al aplicar sobre ella una presión es la misma que si esta masa cayera libremente, desde el estado de reposo, una distancia equivalente a la altura de presión. Esta relación se representa por la ecuación de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$v$  = Velocidad alcanzada, en pies/s (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad (32.3 pies/s<sup>2</sup> o 9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  = Altura de presión en pies (m) a la que se alcanza esa velocidad.

Igual que la altura estática se puede convertir en altura de velocidad, ésta se puede convertir a su vez en una altura estática equivalente. Su relación es:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$h_v$  = Altura de velocidad en pies

$v$  = Velocidad alcanzada, en pies/s (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad (32.3 pies/s<sup>2</sup> o 9.81 m/s<sup>2</sup>)

#### Fuentes de presión

Las fuentes de presión que se encuentran normalmente en un sistema hidráulico de contraincendios son las siguientes.

Gravedad (depósitos atmosféricos, depósitos elevados, tomas de agua): La presión es la altura de la superficie del depósito de agua sobre el punto considerado, medida directamente en pies (m) o convertida a partir de la lectura de un manómetro.



Bombeo: La altura es la suma de la presión de descarga de la bomba, más/menos la diferencia de altura entre el manómetro de descarga de la bomba y el punto considerado.

Presión neumática (depósitos de presión): La altura del agua es la del aire del depósito, más/menos cualquier diferencia de altura entre la superficie del depósito de agua y el punto considerado.

### 2.1.2 Teorema de Bernoulli

El tema siguiente está basado en el libro de NFPA. (2001), *Manual de protección contraincendio*.

El teorema de Bernoulli expresa la ley física de conservación de la energía aplicada a los problemas de los flujos de los fluidos no comprimibles. El teorema se puede expresar como sigue: “En un flujo estacionario sin rozamiento, la suma de la altura de velocidad, altura de presión y altura geométrica es constante en todas las partículas del fluido a lo largo de todo su recorrido”. En otras palabras, la presión total (altura total) es la misma en todos los puntos del sistema.

Sin embargo, los sistemas reales tienen rozamiento, por lo que en la práctica hay que tener en cuenta las pérdidas debidas a éste y otros factores. Expresado matemáticamente, el teorema Teoremas de Bernoulli aplicado a los puntos “A” y “B” es:

$$\frac{v_A^2}{2g} + \frac{p_A}{w} + z_A = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{p_B}{w} + z_B + h_{AB} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$v$  ( $v_m$ ) = Velocidad en pies/s (m/s).

$g$  ( $g_m$ ) = Aceleración de la gravedad (32.2 pies/s<sup>2</sup>, 9.81 m/s<sup>2</sup>).

$p$  ( $p_m$ ) = Presión en libras/pie<sup>2</sup> (kPa).



$z (z_m)$  = Altura geométrica (por encima del plano de referencia) en pies (m).

$w (w_m)$  = Peso específico del fluido en libras/pies<sup>3</sup> (kN/m<sup>3</sup>). Para el agua, 64.4 y 9.81 respectivamente.

$\frac{v^2}{2g} \left( \frac{v_m^2}{2g} \right)$  = Altura de velocidad en pies (m).

$\frac{p}{w} \left( \frac{p_m}{w_m} \right)$  = Altura de presión en pies (m).

$h_{AB} (h_{ABm})$  = Pérdida de altura total entre los puntos "A" y "B", en pies (m).

### 2.1.3 Pérdidas por fricción en flujo de fluidos

El siguiente tema está basado en el libro de Barderas, M. C. (2007). *Problemas de flujo de fluidos*.

Para obtener la forma en que influye la fricción en la caída de presión se deben examinar las variables que influyen en el flujo de fluidos. Entre ellas figuran:

- Caída de presión  $[\Delta P]$
- Velocidad media  $[u]$
- Diámetro del tubo  $[D]$ .
- Longitud del tubo  $[L]$ .
- Rugosidad del tubo  $[\epsilon]$
- Viscosidad del fluido  $[\mu]$ .
- Densidad del fluido  $[\rho]$

Si se define la fricción en las paredes de la tubería en términos de la cantidad de momento transferido, puede deducirse que:

$$\frac{\Sigma F}{M} = f_D \left( \frac{\rho u^2}{2 \cdot g_c} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$\Sigma F$  = Fuerza fricción

$A$  = Área sobre la cual actúa la fuerza de fricción

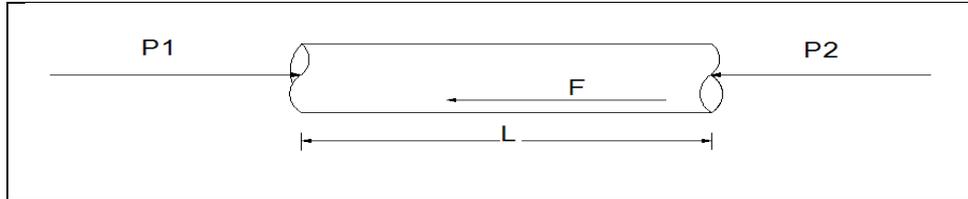
$\rho$  = Densidad del fluido.

$u$  = Velocidad del fluido.



$f_F$  = Coeficiente llamado factor de fricción de Fanning.

Efectuando un balance de energía sobre una longitud de tubería horizontal y recta y de diámetro D (ver Figura 1).



**Figura 1. Balance sobre una tubería**

La fuerza requerida para sobreponerse a la fricción debe suministrarse por la presión.

$$\frac{\Sigma F \pi D L}{M} = \Delta P \cdot \text{área de flujo} = \Delta P \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 7}$$

La fuerza de fricción es:

$$\frac{\Sigma F}{M} \cdot \pi D \cdot L = f_F \left( \frac{\rho u^2}{2 \cdot g_c} \right) \pi D \cdot L \quad \text{Ecuación 8}$$

Por lo tanto:

$$\Delta P \cdot \frac{uD^2}{4} = f_F \left( \frac{\rho u^2}{2 \cdot g_c} \right) \pi D \cdot L \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\Delta P = 4 \frac{L}{D} \left( \frac{\rho u^2}{2 \cdot g_c} \right) f_F \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\Delta P = (P_1 - P_2) = \frac{4 \cdot f_F \cdot \rho \cdot u^2 \cdot L}{2 \cdot g_c} \cdot \frac{L}{D} \quad \text{Ecuación 11}$$

La ecuación anterior es muy importante y se conoce como ecuación de Fanning, y se utiliza para calcular la caída de presión que se produce cuando un fluido circula por el interior de una tubería.

El coeficiente  $f_F$  se conoce como factor de Fanning y depende del número de Reynolds y de la rugosidad de la tubería.



Otro factor usado con frecuencia es el factor de Darcy.

$$f_D = 4f_F \tag{Ecuación 12}$$

Para ser procesado por medio de computadoras el factor  $f_D$  puede calcularse mediante:

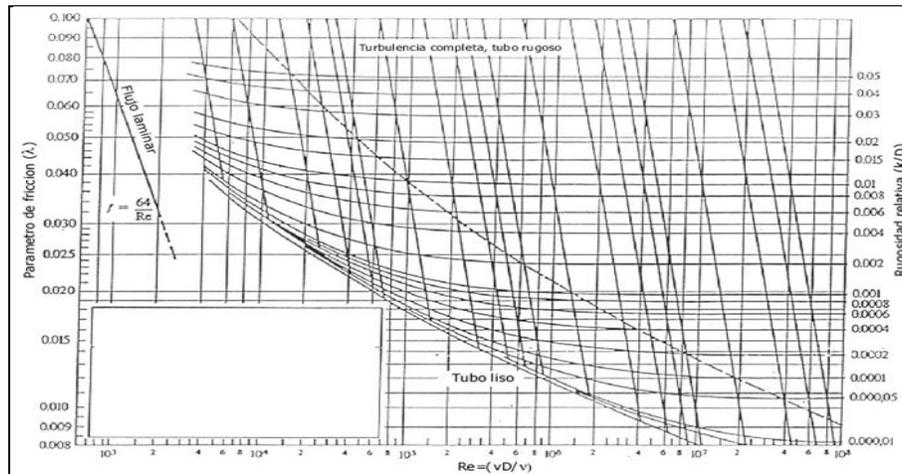
$$f_D = 8 \cdot \left[ \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A + B)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{Ecuación 13}$$

En donde:

$$A = \left[ 2.457 \ln \frac{1}{\left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \frac{0.27\epsilon}{D}} \right]^{16} \tag{Ecuación 14}$$

$$B = \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16} \tag{Ecuación 15}$$

Moody presentó una gráfica basada en las correlaciones anteriores, la que permite obtener rápidamente el valor de factor de fricción  $f$  de Darcy en función del número de Reynolds y de  $\epsilon/D$  ver Figura 2.



**Figura 2. Gráfica de Moody**

El valor de  $\epsilon/D$  se puede obtener fácilmente a partir de la gráfica como se puede observar en la Figura 3.

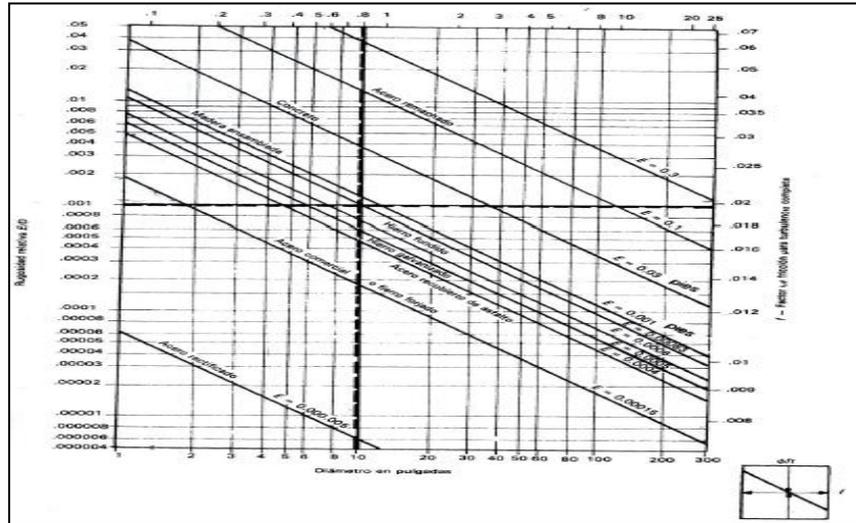


Figura 3. Rugosidad relativa para tubería de diferentes materiales y factor de fricción para turbulencia completa.

2.1.3.1 Pérdidas de energía por cambios de dirección y por accesorios

El siguiente tema está basado en el texto de Valiente, 2007.

Cuando la dirección de flujo se altera o distorsiona, como ocurre en serpentines, codos o a través de reducciones y válvulas, se producen pérdidas de fricción que no se recuperan.

Las pérdidas en los accesorios son proporcionales a la velocidad. Con frecuencia estas pérdidas se encuentran en forma de tablas basadas en datos experimentales, aunque en ciertos casos pueden calcularse.

Una forma de obtener estas pérdidas por fricción es mediante la siguiente relación:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = K \frac{u^2}{2gc}$$

Ecuación 16

Donde *K* es un coeficiente que depende del accesorio y se obtiene por tablas, ver la Tabla 1.



**Tabla 1. Pérdidas en accesorios**

ACCESORIO	K	Le/D	ACCESORIO	K	Le/D
Válvula de globo abierta	7.5	350	Codo de 90° largo	0.4	20
Válvula de ángulo abierta	3.8	170	Codo de 45°	0.35	15
Válvula de compuerta abierta	0.15	7	Te salida lateral	1.5	67
Válvula de compuerta abierta (3/4)	0.85	40	Te paso derecho	0.4	20
Válvula de compuerta medio abierta	4.4	200	Curvatura de 180°	1.6	75
Válvula de compuerta abierta (1/4)	20	900	Válvula de retención de bola	70	350
Codo de 90°	0.7	32	Válvula de retención de bisagra	2	100
Codo de 90° corto	0.9	41	Medidor de agua, disco	7	350

Otra manera de calcular estas pérdidas es por longitud equivalente, de manera que:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = f_D \frac{u^2}{2gc} \frac{Leq}{D} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde *Leq* es la longitud equivalente, siendo la longitud del tubo recto que provocaría una caída de presión semejante a la causada por el accesorio estudiado.

Las pérdidas de fricción total en un sistema de bombeo estarán dadas por:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = \frac{f_D \cdot u^2 (L + Leq)}{2gc \cdot D} \quad \text{Ecuación 18}$$

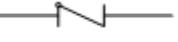
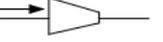
$$\Sigma F = \Sigma F \text{ tubo recto} + \Sigma F \text{ de accesorios} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

L = Longitud del tubo recto (=) L

Entre los accesorios más comunes se encuentran los siguientes (ver Tabla 2):

**Tabla 2. Accesorios más comunes en una red de tubería**

TIPO DE VÁVULA	FORMA	TIPO DE VÁVULA	FORMA
Válvula de globo (asiento)		Codo 90°	
Válvula de compuerta (atajadera)		Codo 45°	
Válvula de retención (check)		Ensanchamiento brusco	
Válvula de mariposa		Contracción brusca	

#### 2.1.4 Válvulas de control de los sistemas de distribución de agua

Los sistemas de distribución de agua deben disponer de válvulas situadas en puntos estratégicos y a ciertos intervalos para regular el caudal, según lo exijan las circunstancias. Se emplean las válvulas de compuerta, con o sin poste indicador, las válvulas de retención, las de mariposa y las reductoras de presión (NFPA, 2001).

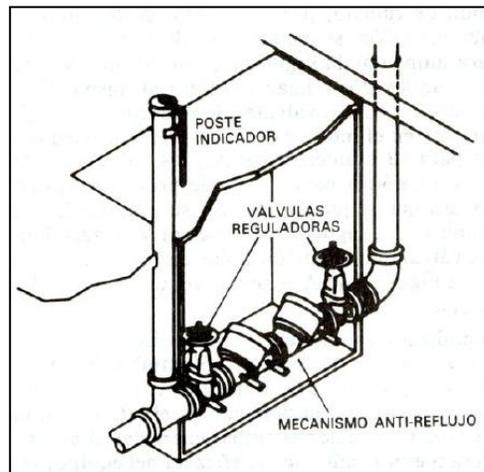
El siguiente tema está basado en el texto de NFPA, 2001.

Las válvulas de compuerta no indicadoras se instalan en los sistemas de distribución para poder cortar el paso de agua y así poder realizar reparaciones o extensiones en pequeños tramos de tendido, sin reducir el grado de protección en una gran zona. La práctica aconseja la instalación de estas válvulas de forma que ningún accidente, rotura o reparación, exija el cierre de un tramo del tendido superior a 500 pies (150 m) en los distritos con edificaciones de gran valor, o mayor de 800 pies (245 m) en otras partes de la ciudad.

En los sistemas de contraincendios debe evitarse el tipo de válvula de compuerta subterránea, comúnmente empleado en las conducciones de agua domésticas e industriales, que requiere el empleo de una llave de tuercas para abrirla o cerrarla.



La válvula principal de control, en el interior de la propiedad, se instala una válvula de retención. Salvo que la válvula de retención pueda ponerse en el interior del edificio, deberá instalarse en el interior de un pozo, aunque la válvula de control principal sea del tipo convencional enterrada con poste indicador. La válvula de retención también debe ser accesible, por lo que la dimensión del pozo y el tamaño de la trampa de registro y de la escalerilla y el espacio libre alrededor de la válvula o válvulas en el interior del pozo, deben ser suficientes para un fácil acceso (Véase la Figura 4).



**Figura 4. Válvula de retención**

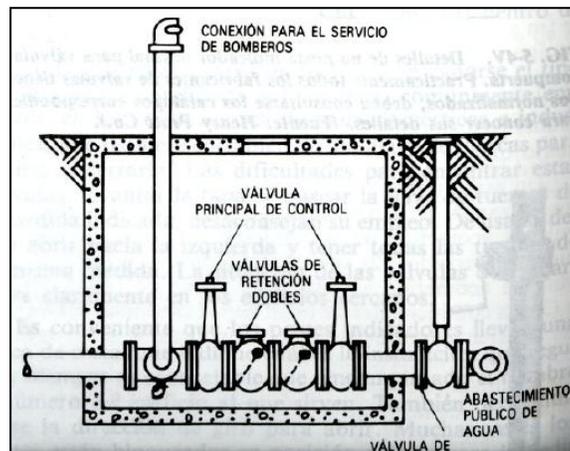
El objeto de la válvula de retención es dejar pasar el agua del sistema público al privado pero no a la inversa. Esta disposición también permite tener el agua en el sistema privado a presiones más altas que las existentes en el sistema público al que esté conectado. También se instalan válvulas de retención en la base de los depósitos de gravedad y en las conexiones de las bombas de los servicios contraincendios, públicos o privados. Las válvulas de retención en estos puntos aseguran que el agua corra solamente en una dirección.



### 2.1.4.1 Válvulas de retención dobles

El siguiente tema está basado en el texto de NFPA, 2001

Cuando existan dudas sobre la importancia de las pérdidas del sistema privado, puede utilizarse válvulas de retención dobles. Las válvulas de retención dobles están hechas con las partes móviles de bronce y las caras de unión de caucho, para que sean totalmente estancas. Las dos válvulas de retención se instalan entre válvulas en el interior de un pozo de registro con fácil acceso para su examen. En la Figura 5 se puede ver una válvula de retención doble.



**Figura 5. Conjunto de válvulas de retención dobles**

Cuando se conectan entre sí dos válvulas de retención, se deja un espacio de 18 in (450 mm) entre las charnelas, que es suficiente para impedir que cualquier material que se encuentre ordinariamente en el interior de una tubería pueda tener abiertas ambas charnelas al mismo tiempo.

### 2.1.5 Bombas

Esté tema está basado en el libro de Barderas, M. C. (2007). *Problemas de flujo de fluidos*.

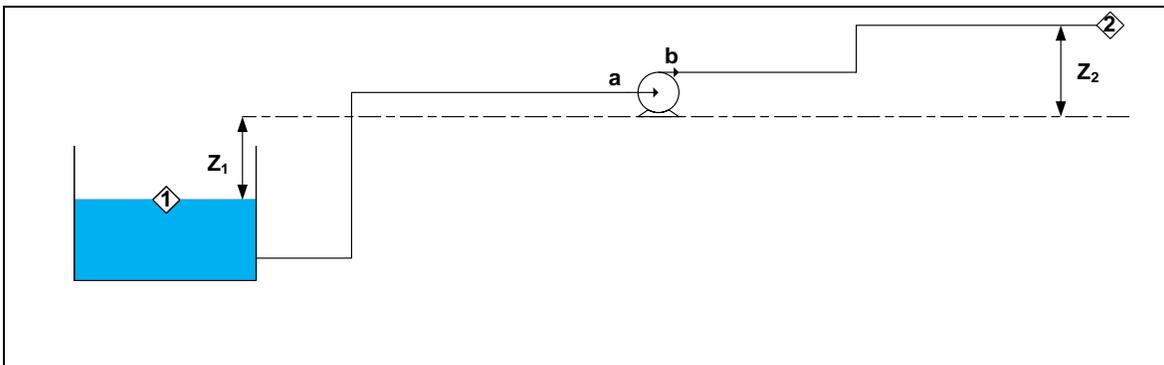


Los fluidos son impulsados a través de las tuberías y equipos por bombas, ventiladores, sopladores y compresores. Los aparatos más utilizados son los que proporcionan energía por desplazamiento positivo o los que lo hacen por fuerza centrífuga.

Al usar bombas la densidad del fluido es constante; pueden utilizarse para subir un líquido, forzarlo a entrar a un recipiente o simplemente darle suficiente presión para que fluya por la tubería.

No importa cuál sea el servicio requerido para utilizar la bomba; en todos los casos se deben tomar en cuenta las diferentes formas de energía para favorecer su trabajo.

En la Figura 6, representa la bomba instalada en el sistema provee energía para extraer el líquido del recipiente 1 y descargarlo a flujo constante en 2.



**Figura 6. Función de la bomba**

El líquido entra a la conexión de succión de la bomba en el punto a y llega al punto b. Se puede plantear una ecuación de Bernoulli entre los puntos a y b. Como en este caso la única fricción es la que se produce dentro de la bomba, ésta se mide con la eficiencia de la misma.

$$(ub^2 - ua^2) \frac{1}{2gc} + (Zb - Za) \frac{g}{gc} + (Pb - Pa) \frac{1}{\rho} = -\frac{\mathcal{P}}{M} \quad \text{Ecuación 20}$$

Las cantidades entre paréntesis se denominan cabezas, cargas o columnas. Hay cargas de velocidad, de altura o de presión. La carga total está definida por:



$$H = \frac{P}{\rho} + Z \frac{g}{gc} + \frac{u^2}{2gc} \quad \text{Ecuación 21}$$

En las bombas la diferencia de altura entre la succión y la descarga es despreciable, por lo que  $Z_a$  y  $Z_b$  pueden no tomarse en consideración. Inclusive la diferencia entre  $u_b$  y  $u_a$  suelen ser despreciables:

Si  $H_a$  es la carga de succión y  $H_b$  es la columna de descarga:

$$(H_b - H_a) = \Delta H = \frac{P_b - P_a}{\rho} \quad \text{Ecuación 22}$$

La carga o cabeza se expresa en metros o pies de líquido (cúbicos).

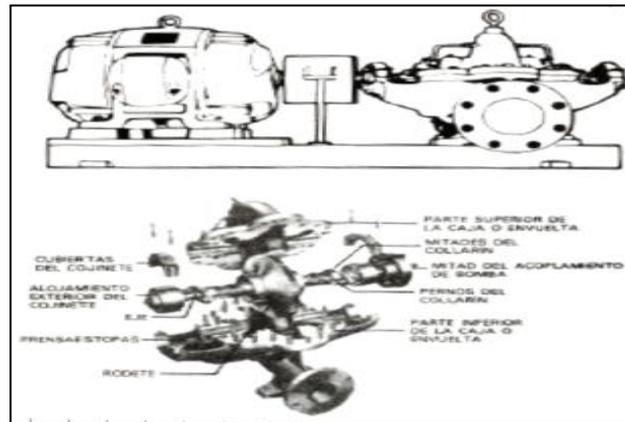
### **2.1.5.1 Bombas de incendios**

Esté tema está basado en el libro NFPA. (2001). *Manual de protección contraincendio*.

Las bombas de incendios se emplean frecuentemente para complementar la aportación de los sistemas de conducción públicos, depósitos de gravedad, embalses, depósitos a presión u otras fuentes.

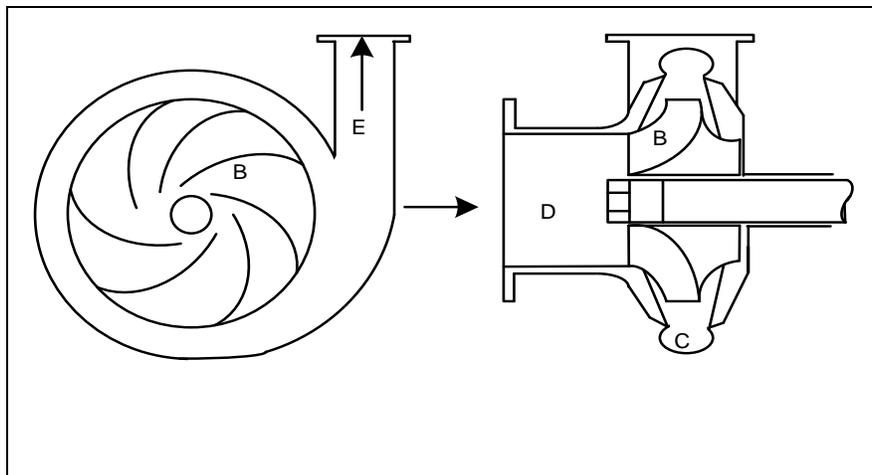
Al extenderse el empleo de la protección por medio de rociadores automáticos, se necesitó la mejora del sistema de suministro de agua, y el tipo de bombas antes descrito fue sustituido por bombas rotativas de desplazamiento movidas por una transmisión por fricción de ruedas hidráulicas horizontales que suministra energía a la planta. Al quedar sustituida la fuerza hidráulica por el vapor, se adoptaron las bombas alternativas, para el suministro de agua de contraincendios.

Hoy en día la bomba de incendios normal es centrífuga (ver Figura 7). Su solidez, fiabilidad, fácil mantenimiento y características hidráulicas, así como la variedad de formas de accionamiento (motores eléctricos, turbinas de vapor y motores de combustión interna) han dejado la bomba Underwriter anticuada, aunque no totalmente extinguida.



**Figura 7. Bomba de incendios centrífuga de una sola etapa, de eje horizontal con vista seccionada de la bomba.**

En estas bombas la energía o cabeza se le aplica al líquido por medio de fuerza centrífuga. El tipo más común es el de las bombas con carcasa de caracol (véase Figura 8); el líquido entra cerca del eje impulsor, que gira a alta velocidad, y es arrastrado radialmente a través de una espiral que se va haciendo cada vez más amplia (Barderas, 2007)



**Figura 8. Las paletas del impulsor son curvas para asegurar el flujo suave del líquido.**

La eficiencia de esta conversión es función del diseño del impulsor, la carcasa y las propiedades del fluido (Barderas, 2007)



Un elemento importante de la bomba centrífuga horizontal o vertical es la relación entre descarga y presión a velocidad constante, es decir, cuando se aumenta la altura piezométrica se reduce la descarga. En las bombas de desplazamiento, la capacidad puede mantenerse contra cualquier altura si la energía es la adecuada para poner en marcha la bomba a una velocidad establecida y si la bomba, sus ajustes y conductos pueden soportar la presión (NFPA, 2001).

Se dispone de bombas contraincendios verticales y horizontales con capacidades de 5.000 gpm (18.925 L/min). Las presiones varían de 40 a 400 psi (276 a 2.758 kPa) en bombas horizontales, y de 75 a 500 psi (517 a 3.448 kPa) en bombas verticales de turbina. Las bombas contraincendios de gran capacidad se relacionarán más adelante. Ver la Tabla 3 (NFPA, 2001).

**Tabla 3. Capacidades de bombas**

	PRESIONES		CAPACIDADES	
De carcasa partida	40-294	276-2.717	150-5000	9.5-315.4
De turbina vertical	26-510	179-3.516	250-5000	15.8-315.4
En líneas	40-186	276-1.282	25-499	1.6-31.5
Horizontal con succión en el extremo	40-186	276-1.282	25-499	1.6-31.5
Tipo de bomba	Psi	kPa	gpm	L/s

El tamaño de una bomba centrífuga horizontal es, generalmente el diámetro de la salida de descarga; sin embargo, algunas veces viene indicado por los diámetros de las bridas del conducto de descarga y aspiración. (NFPA, 2001).

### **2.1.5.2 Velocidad específica**

Velocidad específica (Ns). La velocidad específica es un número que combina, para fines de cálculo, la presión, el caudal y la velocidad de las bombas centrífugas. Realmente, la velocidad de un bomba es igual al número de revoluciones por minuto de un rodete geoméricamente semejante que descargue un galón por minuto (3.8 L/min) con una altura total de un pie (0.3 m). La fórmula



para el cálculo de la velocidad específica de una bomba centrífuga es (NFPA, 2001):

$$N_s = \frac{rpm \cdot \sqrt{gpm}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Ecuación 23}$$

En donde:

$N_s$  = Numero correspondiente a la velocidad específica

$H$  = Altura en pies (m)

La velocidad específica es un índice para el tipo de bomba. Los rodetes para altas presiones generalmente tienen velocidades específicas bajas, mientras que los empleados para bajas presiones tienen velocidades específicas altas (Greene, 1989).

Las bombas de baja velocidad específica funcionan mas satisfactoriamente con mayores alturas de aspiración que las bombas de igual presión y capacidad pero de mayor velocidad específica. La experiencia demuestra que la velocidad específica es una guía útil para determinar la altura máxima de aspiración o la presión mínima de aspiración (Greene, 1989).

### **2.1.5.3 Carga neta positiva de succión**

Esté tema está basado en el libro de Kenneth, J. (1989). *Bombas selección, uso y mantenimiento* .

Todas las bombas requieren determinada carga neta positiva de succión, NPSH (Net Positive Suction Head), para permitir que el líquido fluya a la carcasa de la bomba. Este valor lo determina el diseñador de bombas y se basa en la velocidad de rotación, la superficie de admisión o del ojo del impulsor en una bomba centrífuga, el tipo y número de álabes en el impulsor, por mencionar entre los más importantes. En la bomba reciprocante está en función de la velocidad y del tipo



de válvulas. En la mayor parte de las curvas de las bombas se indica la NPSH requerida a una velocidad dada, pero puede variar de acuerdo con el caudal.

En una bomba dada, de dimensiones fijas, se requiere más NPSH con altos volúmenes de flujo. Sin embargo, cuando se reduce el flujo y se aproxima a cero, empieza a aumentar la NPSH requerida, el aumento en la NPSH en estas condiciones se explica porque la bomba funciona en condiciones “fuera de diseño”, lo cual disminuye mucho la eficiencia y se nota por un funcionamiento ruidoso o aumento excesivo de temperatura con flujos bajo o mínimo. Cuando una bomba centrífuga no cuenta con suficiente NPSH disponible en el sistema en que va a funcionar, se reducirá su capacidad a menos de la de diseño. Dicho en otra forma, en el punto de capacidad requerida la bomba producirá menos carga que la calculada. Este fenómeno se llama cavitación y lo ocasionan las pérdidas excesivas de NPSH en la entrada al impulsor de la bomba. Con ello, se producen burbujas de vapores en el líquido, que se aplastan con rapidez y liberan energía que ataca los álabes o el alojamiento del impulsor.

Aunque la cavitación en sí no significa un desperfecto en la bomba, pues la bomba puede funcionar de vez en cuando con cavitación, con mínimos daños, no se la debe permitir en un buen diseño del sistema de bombeo.

Las bombas que manejan líquidos puros, como el agua, pueden sufrir más cavitación porque el líquido es homogéneo y las burbujas se contraen al mismo tiempo. Asimismo, los líquidos como el agua tienen una elevada relación entre vapor y volumen de líquido.

#### **2.1.5.4 Potencia de las bombas contra incendio**

Esté tema está basado en el libro de NFPA. (2001). *Manual de protección contra incendio*.

Antes de acoplar a la bomba un motor o medio impulsor, es necesario conocer la demanda máxima de potencia efectiva de la bomba a su velocidad nominal. Esto



puede determinarse a partir de la curva de potencia suministrada por el fabricante de la bomba. Las bombas de incendio típicas alcanzan su máxima potencia efectiva entre el 140 y el 170 por ciento de su capacidad nominal.

La potencia puede calcularse, de no haber curvas disponibles, por medio de la siguiente fórmula:

$$bhp = \frac{5,83 QP}{10.000 \cdot E} \text{ o } bhp = \frac{QP}{1.710 \cdot E} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

*bhp* = Potencia efectiva

*Q* = Caudal en galones por minuto

*P* = Presión neta o altura de elevación total en libras/pulg<sup>2</sup>

$$E = \text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia empleada}} \quad \text{Ecuación 25}$$

El rendimiento a la máxima potencia efectiva es, usualmente, del 60 al 75 por ciento.

## **2.2 Sistemas de contraincendios**

Los sistemas de contraincendios en las empresas ha sido siempre uno de los problemas más importantes a considerar cuando hablamos de seguridad industrial. La consideración de que la mayoría de los siniestros ocurridos son siempre originados por actos o condiciones inseguras, destaca el accionar de los responsables de seguridad industrial (Valentinuzzi, 2000).

Considerando lo antedicho visualizamos el sistema de contraincendio como una prevención, acción que determina un conjunto de actividades donde participan la totalidad de los componentes de la empresa con el profesional responsable de seguridad (Valentinuzzi, 2000).



Aun reconociendo que la prevención nunca conseguirá el 100 por cien de éxito, es necesario planificarla y diseñarla para tratar de reducir las pérdidas cuando se produzca el incendio. Las diversas estrategias constituyen lo que se conoce normalmente como sistemas de contraincendios. Los sistemas de contraincendios exigen desarrollar un sistema integrado de protección equilibrada, con muy distintas características y sistemas que se refuercen entre sí y que den cobertura unos a otros para el caso de que falle cualquiera de ellos. Otros conceptos importantes a este respecto son el de defensa en profundidad y el de duplicación de los equipos. La esencia de los sistemas de contraincendios consiste en el proceso de lograr a integración, equilibrio y duplicación para conseguir los objetivos de seguridad contraincendios, cumpliendo todos los códigos y normas en vigor (NFPA, 2001).

Todo ello supone que el éxito en este campo no se mide por el uso de cualquier tecnología, sistema o código, sino por el de sistemas de contraincendio eficazmente diseñados e integrados (NFPA, 2001).

### **2.2.1 Detección y alarma**

El impacto de los sistemas automáticos de detección y alarma ha sido importante, porque han reducido el riesgo de muerte por incendio el ámbito laboral. La detección es necesaria para que empiece la supresión manual o automática, algún tipo de lucha activa para el confinamiento del incendio y la evacuación. Cuanto antes se produzca la detección y disparo de las alarmas, antes empezarán estas reacciones y, por consiguiente, la mitigación de los efectos del fuego (NFPA, 2001).

### **2.2.2 Supresión**

Los incendios que ocurren en los edificios desprovistos de rociadores contra incendio y que generan grandes pérdidas humanas también coincidentemente son los que más rápido se desarrollan. En los 80, los científicos e ingenieros de



sistemas de contraincendios introdujeron los conceptos de incendios de desarrollo lento, medio y rápido de tiempo al cuadrado representando un rango de cifras potenciales de liberación de calor para el diseño contraincendios. Básicamente, un incendio de aceleración lenta de tiempo al cuadrado alcanza un valor de quemado de 1000 Btu/s (1055Kw) en 600 segundos, un incendio de aceleración media de tiempo al cuadrado alcanza la misma cifra en 300 segundos, mientras que uno “ultra rápido” lo hace en 150 segundos (NFPA, 2004).

Los rociadores automáticos son elementos muy eficaces de los sistemas de contraincendios en los edificios. Donde hay rociadores, las posibilidades de morir en un incendio se reducen en una proporción de un tercio a la mitad y las pérdidas materiales por incendio se reducen a la mitad, comparadas con incendios en lugares sin rociadores (NFPA, 2001).

### **2.2.3 Organización del sistema de contraincendio**

Aunque los incendios en centros de reunión desocupados representan un riesgo mínimo para la seguridad de la vida, estos pueden terminar provocando una pérdida material considerable aumentando decisivamente antes de ser siquiera detectados e informados, especialmente cuando el edificio no está protegido por sistemas de alarmas automáticas o de supresión de incendios. A menudo tales incendios son recién descubiertos cuando alguien vuelve al edificio o debido a los escapes de humo a través de las ventanas y el techo. En dichos casos el personal de bomberos que se presenta en el lugar sólo puede utilizar un ataque defensivo. La situación es verdaderamente diferente en centros de congregación ocupados en los que un incendio representa la posibilidad de un incidente fatal de gran magnitud y por tal razón la primera consideración del comandante del incidente al tener que determinar la estrategia de incendio y sus tácticas para tal situación debe ser siempre la seguridad de vida (Sanders, 2004).

La organización de los servicios de lucha contra el fuego es un elemento de importancia crítica en los sistemas de contraincendios. La eficacia de la



organización y gestión de los servicios de bomberos es importante, porque además de proteger a las instalaciones y protegerse a sí mismos es la doble responsabilidad de los servicios de bomberos, que será cumplida más probablemente si se planifican y preparan bien (NFPA, 2001).

Las responsabilidades cada vez mayores de los modernos servicios de bomberos son a la vez un reto y una oportunidad. Otro reto más sutil es el de diseñar un sistema de respuesta ante casos de emergencias, cada vez más diversos (NFPA, 2001).

### **2.2.3.1 Organización antes de que se produzca el fuego**

Los incendios, relacionados con el ámbito del trabajo o del esparcimiento han causado la muerte de cientos de personas y lesionado un sin número de otras. Sin embargo muchos de estas muertes podrían haberse evitado, si se hubieran tomado los recaudos necesarios en cuanto a instalaciones denominadas de protección activa (Extintores, mangueras de incendio, hidrantes, entre otros) y se tomara en cuenta factores tales como la resistencia o estabilidad y la reacción al fuego de los materiales utilizados, lo que se conoce como protección pasiva, o sea las acciones que podemos realizar, encaminadas a mejorar el comportamiento de dichos materiales frente al fuego (Garcia, 2000).

En caso de Incendios no se tiene una segunda oportunidad y todo lo que hagamos para brindar un tiempo adecuado para permitir la llegada de los bomberos, seguramente dará la posibilidad de salvar una o más vidas. La protección de los elementos estructurales y la posibilidad de disminuir el grado de combustión de los elementos que conforman los ambientes, son dos acciones concretas que aseguran un tiempo extra de 30 a 60 minutos, Primordiales a la hora de proteger vidas (Garcia, 2000).

La preparación en la lucha contra el fuego empieza promocionando la prevención y protección contra el mismo, lo que pueden hacer los servicios de bomberos de



muy diversas maneras. En primer lugar, los servicios de bomberos participan normalmente en las inspecciones y a veces en la homologación de una amplia gama de características relativas a la lucha contra el fuego. Los servicios de bomberos son también una constante en los programas de educación al público sobre la seguridad contra el fuego, aunque haya otros grupos que se ocupan de algunos programas (NFPA, 2001).

En resumen, el servicio de bomberos es el centro de las actividades locales de prevención y protección contra el fuego, y la prevención y protección son las actividades centrales de un moderno servicio de sistemas de contra incendios (NFPA, 2001).

### **2.2.3.2 Organización eficaz en el incendio**

Como una forma de unificar criterios y controlar eventuales emergencias producidas por incendios en industrias químicas. Y con el objeto de controlar los incendios que pongan en riesgo tanto la salud de la población como la de los trabajadores de su empresa, se deben implementar diversas estrategias para disminuir y evitar los siniestros y otras situaciones que afecten la salud laboral. Por tales motivos para controlar los incendios toda industria química debido a los materiales que esta utiliza debe contar con personal capacitado para controlar un principio de incendio. Para controlar los riesgos de incendios es necesario que todos los empleadores deban capacitar a sus trabajadores en materia de uso de equipos de extinción de incendios (Richardson, 2004).

Una alternativa, en materia de Combate de Incendios Estructurales en lo posible contar con un grupo de profesionales especialistas en combate de incendios (Richardson, 2004).

Una supresión eficaz del fuego requiere políticas y objetivos claros y tácticas que se desprenden lógicamente de esas políticas. Una política u objetivo de supresión del fuego es una descripción concisa de las prioridades en el uso de los recursos disponibles para luchar contra el fuego. La planificación previa para cualquier

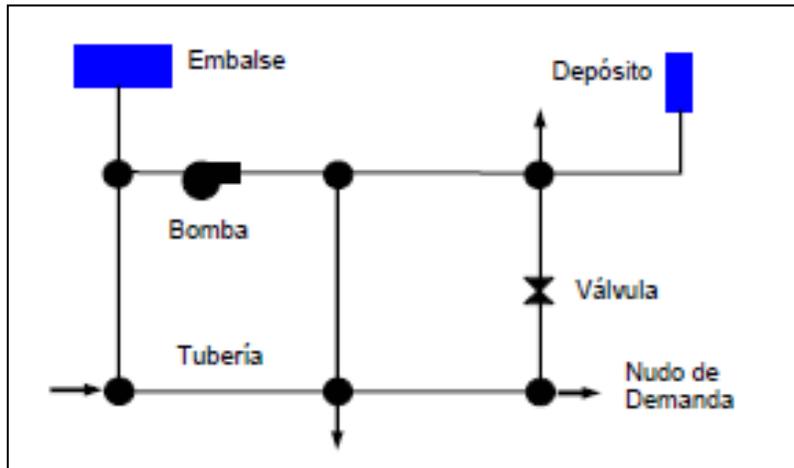


incidente puede ir desde la revisión y ensayo de estrategias y tácticas. Una planificación de este tipo a gran escala puede suponer el desarrollo y mantenimiento de sistemas de coordinación entre diversos organismos y sistemas de mando y control de incidentes a gran escala (NFPA, 2001).

### **2.3 Funcionamiento del software (EPANET 2.0)**

La información contenida sobre el funcionamiento del simulador EPANET fue desarrollada por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), que realiza simulaciones en período extendido del comportamiento hidráulico y de calidad del agua en redes de tuberías a presión. Los programas de investigación de la EPA están dirigidos a proporcionar los datos y el soporte técnico requerido para resolver los problemas medio ambientales de hoy en día, y construir una base de conocimientos sólida que permita gestionar prudentemente los recursos ecológicos. Desde su lanzamiento en Europa en Septiembre de 1993, ha tenido una gran aceptación en España, y en todos los países de habla hispana. Ello se debe principalmente al excelente trabajo realizado por su autor L. Rossman. Las sucesivas ediciones españolas de la versión 1.1 de EPANET fueron difundidas desde la U. D. Mecánica de Fluidos, del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, con el apoyo de cursos de formación para su manejo.

La traducción al español de la versión 2.0 de EPANET está actualizada, y corresponde con la versión original más reciente, la 2.00.10, aparecida en Julio de 2002. EPANET es un programa de ordenador orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos. EPANET modela un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectas por sus nudos extremos. Las líneas representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (en adelante se denominarán en general nudos de caudal), y también depósitos o embalses. La siguiente Figura 9 muestra como se interconecta todos estos objetos entre si para formar el modelo de una red.



**Figura 9. Componentes físicos de un sistema de distribución de agua.**

Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento (tanques). EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo de simulación. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro.

EPANET asume que las tuberías están completamente llenas en todo momento, y por consiguiente que el flujo es a presión (ver Figura 10). La dirección del flujo es siempre del nudo de mayor altura piezométrica (suma de la cota más la presión, o bien energía interna por unidad de peso) al de menor altura piezométrica. Los principales parámetros de una tubería son:

- Los nudos inicial y final
- El diámetro
- La longitud
- El coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de carga)
- Su estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención).

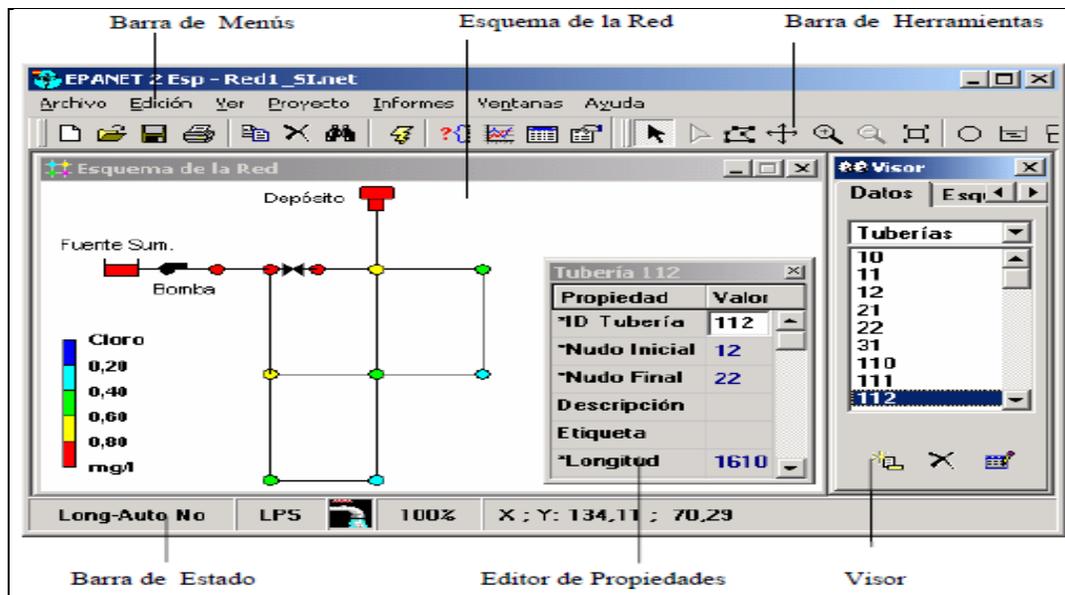


Figura 10. Elementos del software

El parámetro de estado permite simular el hecho de que una tubería posea válvulas de corte o válvulas de retención (válvulas que permiten el paso del flujo en un solo sentido) sin tener que modelar estos elementos explícitamente.

Los resultados en una tubería contemplan:

- El caudal de circulación
- La velocidad del flujo
- La pérdida de carga unitaria
- El factor de fricción para la formula de Darcy-Weisbach
- La velocidad media de reacción (a lo largo de la tubería)
- La calidad media del agua (a lo largo de la tubería)

Entre las aplicaciones destaca la planificación de mejoras en las redes contraincendio, el trazado y selección de nuevos elementos, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costes de operación, la regulación del uso de los depósitos para reducir los tiempos de retención del agua, la previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la



incorporación de nuevas urbanizaciones, la planificación de actuaciones en casos de emergencia, como la entrada de un contaminante no controlado.

## 2.4 Normatividad

La normatividad con que opera las redes de sistemas de contraincendio son las normas de la NFPA (National Fire Protection Association) y la NRF (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios).

La NFPA es de uso a nivel global; los códigos, las normas, las prácticas recomendadas y las guías por el organismo normativo han sido desarrolladas a través de un proceso de desarrollo de normas por consenso y aprobado por el Instituto de Normas Nacional Americano (ANSI). Este proceso reúne voluntarios quienes representan varios puntos de vista e intereses para alcanzar consenso sobre incendios y otros temas de seguridad. Mientras que la NFPA administra el proceso y establece las reglas para promover equidad en el desarrollo del consenso, no hace pruebas independientemente, no evalúa, ni verifica la veracidad de ninguna información, ni la sensatez de los juicios hechos en los códigos o normas.

El compendio general de la NFPA (National Fire Protection Association) abarca alrededor de más 300 códigos y normas; de las cuales solamente se hará referencia de las normas utilizadas para el desarrollo del trabajo presentadas en la siguiente Tabla 4:

**Tabla 4. Normas de la NFPA utilizadas**

CLAVE	NOMBRE
NFPA 15, 2001	Norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contraincendios.
NFPA 20, 2007	Instalación de bombas estacionarias de protección contraincendios.
NFPA 24, 2007	Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendios y sus accesorios.
NFPA 25, 2008.	Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas hidráulicos de protección contraincendios.



NFPA 15. Norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contraincendios.

Esta norma provee los requerimientos mínimos para el diseño, instalación y pruebas de aceptación de los sistemas fijos aspersores de agua para servicio de protección. Esta norma no se aplica a la protección con agua pulverizada deben ser específicamente diseñados para dar un efectivo control del fuego, de extinción, la prevención o la protección a exposiciones. Esta norma no se aplica a la protección con agua pulverizada con boquillas monitoras, sistemas de supresión con niebla de agua, supresión de explosiones, y otros métodos de aplicación cubiertos con otros estándares NFPA.

NFPA 20. Instalación de bombas estacionarias de protección contraincendios.

Esta norma trata lo relativo a la selección de bombas que suministran líquidos a sistemas privados de protección contraincendio.

Esta no cubre los requerimientos de capacidad y presión del suministro de líquidos de los sistemas, ni tampoco cubre los requerimientos de inspección periódica, pruebas y mantenimiento periódico de sistemas de bombas contraincendio. Esta norma no cubre los requerimientos del cableado de instalación de las unidades de bombas contraincendio.

NFPA 24. Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendios y sus accesorios.

Esta norma debe cubrir los requerimientos mínimos para la instalación de tuberías principales para el servicio privado de incendios y sus accesorios que aprovisionan lo siguiente:

- Sistemas rociadores automáticos.
- Sistemas rociadores abiertos.
- Sistemas fijos de aspersion de agua.
- Sistemas de espuma.
- Hidrantes privados.



- Boquillas monitoras o sistemas de tubería vertical con referencia a suministros de agua.
- Casetas de manguera.

Esta norma debe aplicar a tuberías principales de servicio combinado usadas para llevar agua para servicio de incendios y otros usos.

NFPA 25. Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas hidráulicos de protección contra incendios.

Esta norma establece los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento periódico de sistemas de contraincendio a base de agua, incluyendo aplicaciones en tierra y marítimas. La norma no cubre la totalidad de inspección, prueba y mantenimiento de las partes eléctricas de los equipos de detección automática de incendio para sistemas de pre-acción e inundación cubiertos por la NFPA 72, National Fire Alarm Code (Código Nacional de Alarmas de Incendio). La inspección prueba y mantenimiento requeridos por esta norma y la NFPA 72, National Alarm Code, deben coordinarse de manera que los sistemas operen como está previsto.

Los tipos de sistemas contemplados en esta norma incluyen, pero no se limitan a, rociadores, tuberías verticales y mangueras, pulverizadores fijos de agua, y de espuma y agua. Se incluyen los suministros de agua que son parte de estos sistemas, como las tuberías de servicio privado de incendios y sus accesorios, bombas de incendio y tanques de almacenamiento de agua, y las válvulas que controlan el flujo del sistema. El documento también trata sobre el manejo y reporte de desactivaciones. Esta norma se aplica a los sistemas de contraincendios instalados correctamente de acuerdo con las prácticas generalmente aceptadas. Cuando el sistema no ha sido instalado de acuerdo con las prácticas generalmente aceptadas, la acción correctiva no está incluida en esta norma. La acción correctiva para comprobar el funcionamiento satisfactorio del sistema debe hacerse de acuerdo con la norma de instalación correspondiente.



Esta norma no se aplica a sistemas de rociadores diseñados e instalados de acuerdo con la NFPA 13D, Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores en Viviendas Bifamiliares y Casas Prefabricadas.

La NRF (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios) es la que rige a nivel nacional, debido a que está elaborada por el Complejo Petroquímico (Petróleos Mexicanos) y otros organismos subsidiarios. Las normas que son tomadas en cuenta para la elaboración del trabajo son:

El compendio general de la NRF (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios) abarca alrededor de 240 normas; solamente se hará referencia de las normas utilizadas para el desarrollo del trabajo presentadas en la Tabla 5:

**Tabla 5. Normas de la NRF utilizadas**

CLAVE	NOMBRE
NRF 15, 2004	Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles.
NRF 32, 2006	Sistemas de tuberías en plantas industriales, diseño y especificaciones.
NRF 50, 2002	Bombas centrífugas
NRF 95, 2005	Motores eléctricos
NRF 128, 2008	Redes de agua contraincendio en instalaciones industriales terrestres, construcción y pruebas.

NRF 15. Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles.

Esta norma establece los criterios y requisitos mínimos de seguridad que deben prevalecer en el diseño ingeniería y construcción para la protección de las áreas y tanques de almacenamiento del tipo atmosférico y sujetos a presión (esferas y “salchichas”, destinado al almacenamiento de líquidos o gases inflamables y de productos combustibles.

En esta Norma de Referencia se incluyen los requerimientos de las instalaciones y dispositivos destinados a la protección de las áreas de tanques y para la extinción de incendios, así como los drenajes, diques de contención, arreglos de tuberías y



accesorios, distanciamientos mínimos, accesos, vías de escape y otras medidas de seguridad que deben adoptarse para cada caso.

Esta norma no incluye a los tanques de almacenamiento de los tipos de esferoides, criogénicos y atmosféricos horizontales. Para tanques de almacenamiento que forman parte de las instalaciones de proceso, estos lineamientos son aplicables únicamente en el aspecto de protección contraincendio

**NRF 32. Sistemas de tuberías en plantas industriales, diseño y especificaciones.**

Establece los requisitos que deben cumplir los servicios de ingeniería de diseño de los sistemas de tuberías, así como las especificaciones de materiales que se adquieran. Esta norma es de aplicación general y observancia obligatoria en las áreas de Petróleos Mexicanos y Organismo Subsidiarios, para el diseño y la especificación de materiales y accesorios de los sistemas de tuberías de proceso y servicios auxiliares de las plantas de producción terrestres y costas afuera e industriales de Petróleos Mexicanos.

**NRF 50. Bombas centrífugas**

Establece los requisitos los requerimientos mínimos para el diseño mecánico de bombas centrífugas y sus materiales, cuya clasificación general es: con impulsor en cantiliver, montado entre cojinetes y verticalmente suspendido, para fluidos inflamables y peligrosos en todas las condiciones de operación; y para fluidos no inflamables y no peligrosos que se encuentran por arriba de las siguientes condiciones de operación:

Presión máxima de descarga: 1,900 kPa (275 lb/pulg<sup>2</sup>).

Presión máxima de succión: 500 kPa (75 lb/pulg<sup>2</sup>).

Temperatura máxima de bombeo: 150 °C (300 °F).

Máxima velocidad rotativa: 3,600 RPM.



Carga total máxima: 120 m (400 pies).

Esta norma de referencia es de aplicación general y observancia obligatoria en la adquisición o contratación de bombas centrifugas, que lleven a cabo en los centros de trabajo de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios, por lo que debe ser incluida en los procedimientos de contratación como parte de los requisitos que debe cumplir el proveedor.

NRF 95. Motores eléctricos.

Establece las especificaciones para la adquisición de motores eléctricos en las instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. Esta norma de referencia define los requerimientos mínimos para la adquisición o arrendamiento de motores eléctricos de inducción hasta 149.20 kW (20 cp), en tensión baja, y motores eléctricos de inducción y síncronos mayores de 149.20 kW (200 cp), en tensión media que instalen en las diferentes áreas de Petróleos Mexicanos.

NRF 128. Redes de agua contraincendio en instalaciones industriales terrestres, construcción y pruebas.

Esta norma de referencia aplica a las instalaciones industriales terrestres de PMOS, y cubre desde las bombas contraincendio hasta la conexión con monitores, hidrantes, gabinetes para mangueras, tomas para camión, sistemas de aspersión y rociadores, entre otros. No cubre los requisitos técnicos para la elaboración de la ingeniería de diseño, ni las especificaciones del equipo de bombeo, materiales y accesorios de las redes de agua contraincendio de las instalaciones industriales terrestres de PMOS.



# CASO DE ESTUDIO



### 3 CASO DE ESTUDIO

El sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico fue construido hace 30 años (ver Figura 11), por lo que la vida útil del material con el que se encuentra construida la red (tubo de acero al carbón) está en los límites de operación. El sistema de CI está conformado entre otros por el tanque de almacenamiento de agua para contraincendio, la casa de bombas que posee todas las bombas contraincendio encargadas de suministrar agua en cantidad y presión suficiente para toda la red de CI.



**Figura 11. Red contraincendio del Complejo Petroquímico.**

El suministro para la red contraincendio del Complejo Petroquímico, proviene del tanque de almacenamiento con capacidad de 100,000 BLS (15,900 m<sup>3</sup>), ubicado a un costado de la casa de bombas, así como de dos vasos de asentamiento con capacidad de 146,250 m<sup>3</sup>, se cuenta con otro suministro directo de la presa con capacidad de 40 millones de pies cúbicos (113,267 m<sup>3</sup>), cabe mencionar que Complejo Petroquímico presenta pérdidas por fugas y tomas parásitas alrededor



de 632 m<sup>3</sup>/d de agua cruda de suministro. En la Tabla 6 se presentan los datos de la red contraincendio

**Tabla 6. Datos de técnicos del sistema de contraincendio**

CONCEPTO	CI
Año puesta en servicio	1970
Material de construcción	Acero al carbón
Volumetría	34000 m
Suministro a la red CI en casa de bombas	4,053.40 m <sup>3</sup> /d
Consumo de agua total del C.P.	91,831 m <sup>3</sup> /d
Presión del sistema CI	4.50 kg/cm <sup>2</sup>
Retorno de la red de CI	3,291.30 m <sup>3</sup> /d
Flujo de operaciones de seguridad	130 40 m <sup>3</sup> /d

La red contraincendio se encuentra actualmente operando con el 0.69% de agua perdida con respecto al consumo de agua total del Complejo Petroquímico; esto ocasiona pérdidas económicas y mayor gasto de recurso natural porque se recircula más agua para el servicio de contraincendio.

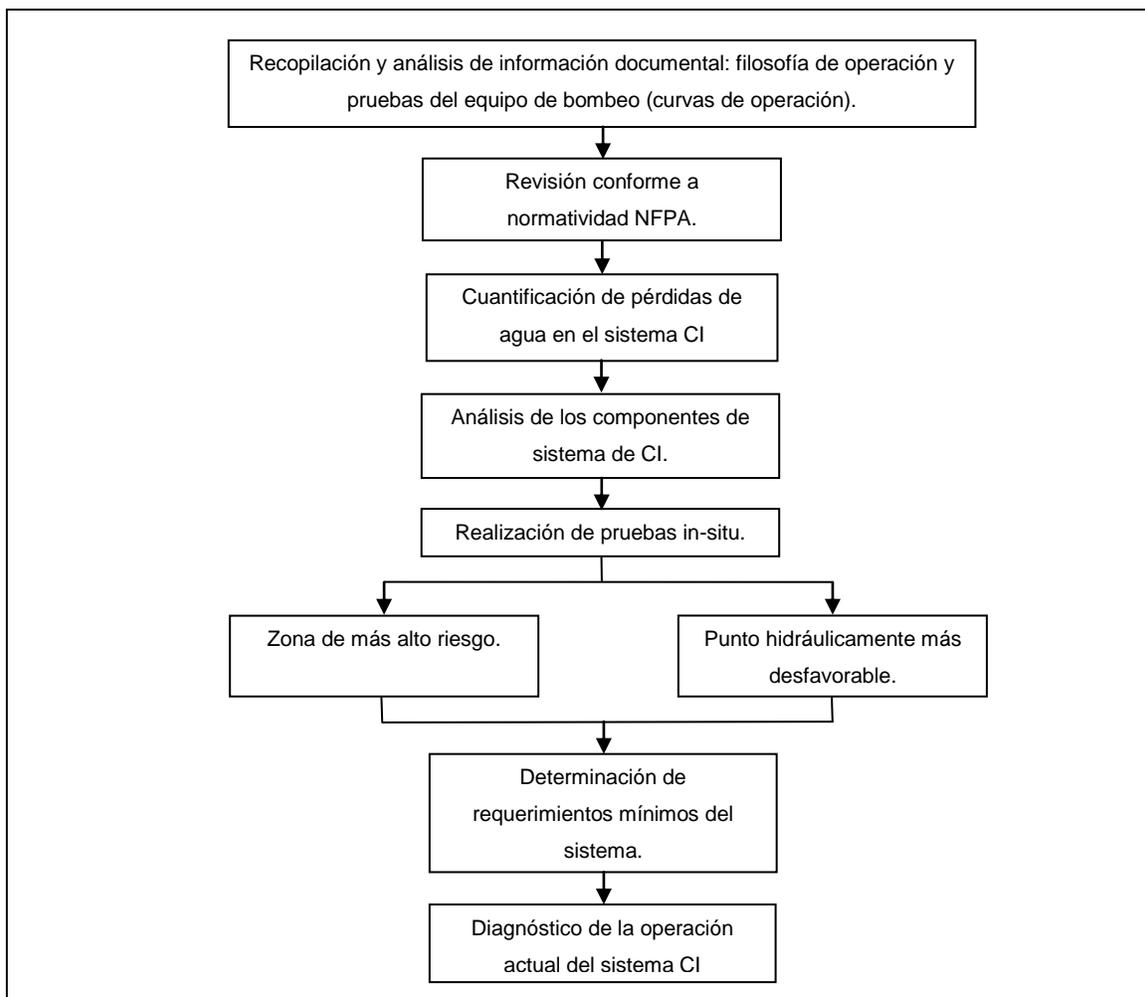


# METODOLOGÍA



## 4 METODOLOGÍA

El presente trabajo, se desarrolló el diagnóstico de la operación actual del sistema de contraincendio, mediante inspección física, en la cual se determinaron las pérdidas de agua tanto en fugas como tomas parásitas; además se llevo a cabo la verificación del cumplimiento de las normas NFPA (National Fire Protection Association) y NRF (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios) en materia de operación y pruebas del sistema de contraincendio. En la Figura 12 se muestra la metodología para la elaboración del diagnóstico de operación actual.



**Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología**

Cada uno de los pasos de la metodología se describe a continuación:



**Recopilación, análisis y evaluación de la información documental.** En esta sección se consideró toda la información con la que cuenta el Complejo Petroquímico concerniente al sistema de contraincendio (CI), en especial la que está en resguardo de los encargados de la operación, mantenimiento y supervisión; en particular se revisó el plano de la red contraincendios, curvas de operación de diseño, estudios de riesgo mayor del Complejo Petroquímico, balances de agua, los procedimientos para el mantenimiento de la red, hojas de datos de equipos de bombeo, registros históricos de consumo y de calidad de agua utilizada en el sistema CI entre otros y, por último, se realizó una evaluación conceptual de la información documental con la que se cuenta para el sistema de CI.

**Revisión conforme a normatividad NFPA y NFR.** Los levantamientos en campo consistieron en realizar entrevistas al personal operativo y de mantenimiento del sistema CI, para:

- Identificar las características de los equipos principales y complementarios localizados en la casa de bombas y de igual manera de la red y accesorios con los que cuenta el sistema CI.
- Una inspección física y de operación del sistema de forma integral (equipos, accesorios, tuberías, otros).
- Por último, verificar la concordancia de la filosofía de operación escrita con la operación real y con las normas nacionales e internacionales, en este caso, con la NFPA y NFR.

**Cuantificación de pérdidas de agua en el sistema CI.** Una vez realizados los levantamientos y las entrevistas al personal operativo se determinó cuánta agua se perdía a través de fugas y tomas parásitas, mediante las siguientes actividades:

- Determinación de primera fuente las principales fugas y tomas parásitas que se presentan en el sistema
- Localización de fugas y/o tomas parásitas.



- Análisis del consumo de agua en el sistema CI debido a pérdidas por fugas y tomas parásitas

**Análisis de los componentes del sistema de CI.** Con la recopilación de información y toma de datos se verificó el comportamiento actual de los equipos de bombeo y de la red de CI, realizando un análisis del funcionamiento del sistema para determinar la eficiencia de operación de estos debido a su tiempo de vida.

**Pruebas *in situ* del sistema de CI.** Durante las pruebas *in situ* realizadas por parte del personal de la UNAM mantuvo comunicación con el personal de Complejo Petroquímico encargado de la operación y mantenimiento del sistema de CI para conocer y actuar de acuerdo a los protocolos, análisis de riesgo, calendarios de pruebas y disponibilidad del personal especialista, para realizar las pruebas, cubriendo el punto hidráulicamente más desfavorable y la zona de más alto riesgo. Para la realización de estas pruebas el personal de la UNAM tomó mediciones de flujo, velocidad y de presiones en la red de CI.

**Diagnóstico de la operación actual del sistema de CI.** Una vez compilada y analizada toda la información se realizó un diagnóstico de la operación para determinar el punto de eficiencia real del sistema de CI. Lo anterior se realizó con la ayuda del programa especializado EPANET con el cual se simuló la red contraincendio.

**Determinación de los requerimientos del sistema.** De acuerdo al análisis del sistema de CI, se determinaron los requerimientos mínimos (cuando aplicaban), para un posible incidente de forma oportuna, de acuerdo a las normatividades nacionales e internacionales.



# DESARROLLO



## 5 DESARROLLO

La red de CI está conformada principalmente por tuberías, dispositivos y accesorios que conforman anillos que conducen y distribuyen el agua de contraincendio con características específicas de flujo y presión en todas las áreas del Complejo Petroquímico.

El equipo de bombeo proporciona al agua la presión requerida y los instrumentos de medición reportan el estado del funcionamiento del sistema. El tiempo de respuesta del sistema para mantener las características de presión a la salida del hidrante, monitor o conjunto de aspersores que lo requieran durante un conato de incendio, debe ser lo más corto posible.

### 5.1 Recopilación, análisis y evaluación de la información documental

La información recopilada fue analizada y clasificada para llevar a cabo un adecuado desarrollo de estudio poniendo especial atención en parte de operación, mantenimiento y supervisión del sistema de contraincendio. La información recopilada se encuentra listada en la Tabla 7.

**Tabla 7. Información recopilada del Complejo Petroquímico**

NO.	NOMBRE ARCHIVO ELECTRÓNICO
1	Curvas de operación de bombas contraincendio.
2	Datos de capacidad de almacenamiento de agua contraincendio.
3	Hojas de datos de cada una de las bombas contraincendio.
4	Listado y característica de monitores e hidrantes.
5	Listado y características de sistemas de diluvio.
6	Listado y características de válvulas seccionadoras.
7	Plano general de la red contraincendio.

Las pruebas in situ realizadas en el sistema de contraincendio verifican su desempeño, estas pruebas se caracterizan por realizarse en puntos críticos, los cuales son:



- Trayecto de mayor riesgo: esta ruta representa mayor inseguridad dentro del sistema de contraincendio.
- Trayecto más lejano o el de mayor altura: esta es la ruta más desfavorable hidráulicamente, en este punto tendrá el registro de presión más bajo de toda la red, además del conocimiento previo de presión y flujo en dichos puntos se caracterizará el servicio de la red contraincendio.

### 5.1.1 Filosofía de operación

El corazón de un sistema de contraincendio es su casa de bombas, porque cuenta con un respaldo que proporciona seguridad, dicho sistema estará disponible para ser usado en el momento que se requiera.

La casa de bombas está compuesta por 6 bombas conectadas en paralelo las cuales son:

#### 4 bombas principales

- BA-109 A
- BA-109 B
- BA-109 C
- BA-109 D (jockey)

#### 2 bombas de relevo

- BA-110-A
- BA-110-B

Las bombas principales y las de relevo son estacionarias con motores eléctricos y de combustión interna, pueden operar de manera automática y manual bajo una secuencia determinada. La red contraincendio del Complejo Petroquímico está abastecida por los suministros siguientes:

- Presa. Tiene una capacidad de 40 millones de pies cúbicos (113,267 m<sup>3</sup>).
- Vasos de regulación. Se provee de dos vasos de regulación con una capacidad 146,250 m<sup>3</sup>.
- Tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento que abastece a la casa de bombas, tiene una capacidad de 100,000 BLS (15,900 m<sup>3</sup>).



### 5.1.2 Equipo de bombeo

El equipo de bombeo de la red contraincendio está conformado por 6 bombas, de las cuales 4 bombas son de motor eléctrico y 2 bombas de motor de combustión interna.

Los datos técnicos de las bombas principales y de relevo con las que cuenta el Complejo Petroquímico se encuentran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Características de las bombas del Complejo Petroquímico**

TAG	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	
Casa de Bombas no. 4	Casa de Bombas	Material	Concreto
		Tipo de área	Abierta y cubierta
		Otros	
BA-109-D	Bomba Jockey	Marca	CARLOIS
		Capacidad	1,000 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	3,565 RPM
		Presión de descarga	200 Psi
		TDH	347 ft de H <sub>2</sub> O
		Modelo	-----
		Serie	-----
	Tamaño de impulsor	20 in	
	Motor	Marca	LOUIS ALLIS
		Fase	3
		Potencia	300 HP
		Voltaje	4,000 V
		Amperaje	41 A
		Velocidad	3,565 RPM
		Factor de servicio	1
		Temperatura máxima	40-80 °C
		Diseño/Aislamiento	B/B
Conexión	Estrella		
Serie	-----		
BA-109-A	Bomba 1 con motor eléctrico.	Marca	GOULDS
		Capacidad	2,500 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	1,780 RPM
		Presión de descarga	200 Psi
		TDH	347 ft de H <sub>2</sub> O
		Modelo	3415



TAG	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	
	Motor	Serie	21113181
		Tamaño de impulsor	20 in
		Marca	LOUIS ALLIS
		Fase	3
		Potencia	350 HP
		Voltaje	4,000 V
		Amperaje	47 A
		Velocidad	1,780 RPM
		Factor de servicio	1
		Temperatura máxima	40-80 °C
		Diseño/Aislamiento	MGI-1978/F
		Conexión	Estrella
		Serie	6279459001
		Tipo	Jaula de ardilla
BA-109-B	Bomba 2 con motor eléctrico	Marca	SNYDER
		Capacidad	2,500 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	1780 RPM
		Presión de descarga	200 Psi
		Carga dinámica	347 ft de H <sub>2</sub> O
		Modelo	-----
		Serie	CP-3538
		Tamaño del impulsor	20 in
	Motor	Marca	GENERAL ELECTRIC
		Fase	3
		Potencia	450 HP
		Voltaje	4,000 V
		Amperaje	59 A
		Velocidad	1,790 RPM
		Factor de servicio	1
		Temperatura Máxima	40-80 °C
		Conexión	Estrella
		Serie	ER84209001
F.P	0,86		
Tipo	Jaula de ardilla		
BA-109-C	Bomba 3 con motor eléctrico	Marca	SNYDER
		Capacidad	2,500 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	1,780 RPM
		Presión de descarga	200 Psi
		NPSH	10/15 ft de H <sub>2</sub> O
		Carga dinámica	462 ft de H <sub>2</sub> O
		Modelo	RDL-200-500
		Serie	CP7539
	Diámetro de impulsor	20 in	
	Motor	Marca	GENERAL ELECTRIC
		Fase	3



TAG	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	
		Potencia	450 HP
		Voltaje	4,000 V
		Amperaje	59 A
		Velocidad	1,780 RPM
		Factor de servicio	1
		Temperatura Máxima	40-80 °C
		Diseño/ Aislamiento	MGI-1978/F
		Conexión	Estrella
		Serie	ER8420902
		Frecuencia	60 Hz
		F.P	0,86
		Tipo	Jaula de ardilla
BA-110-A	Bomba 1 con motor de combustión interna	Marca	GOULDS
		Capacidad	2,500 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	1,780 RPM
		Presión de descarga	200 Psi (14 kg/cm <sup>2</sup> )
		Carga dinámica	347 ft de H <sub>2</sub> O
		Diámetro del impulso	20 in
	Motor	Marca	CLARKE
		Modelo	JX6H-UF50
		No. de motor	RG6125H0520351
		Velocidad	1,780 RPM
BA-110-B	Bomba 2 con motor de combustión interna.	Marca	KBS MEXICANA
		Capacidad	2,500 GPM
		Diámetro de succión	10 in ø
		Diámetro de descarga	8 in ø
		Velocidad	1,750 RPM
		Presión de descarga	200 Psi (14 kg/cm <sup>2</sup> )
		NPSH	10/15 ft de H <sub>2</sub> O
		Carga dinámica	462 ft de H <sub>2</sub> O
	Tamaño del impulsor	20 in	
	Motor	Marca	CLARKE
		Modelo	JX6H-UF50
		No. de motor	RG612511051024
Potencia nominal		350 HP	
		Velocidad	1,780 RPM

### 5.1.3 Operación de las bombas

Para verificar el cumplimiento de las normas (ver Tabla 16), se analizó la operación de las bombas eléctricas, las cuales son de tipo manual, incluyendo el motor, las válvulas de succión y de descarga, manómetro de descarga y el botón del tablero de arranque el cual se puso en modo manual durante la inspección.



La operación de las bombas de combustión interna también es de tipo manual; para éstas se verificó el funcionamiento y acondicionamiento del motor (principalmente los niveles de agua del radiador y del aceite del motor), válvulas de succión y de descarga, la bomba, manómetro de descarga y el botón del tablero de arranque el cual debe de estar en modo manual (ver Tabla 16).

En la Tabla 9 se muestra la secuencia de arranque de las bombas que componen el corazón del sistema de contraincendio.

**Tabla 9. Secuencia de arranque automático de las bombas**

EQUIPO	ARRANQUE	TIEMPO DE ARRANQUE	DISPARO	TIEMPO DE DISPARO
BA-109-D	7,4	0	Primera	2 minutos
BA-109-A	7,3	8	Segunda	Manual
BA-109-B	7,2	8	Tercera	Manual
BA-109-C	7,1	8	Cuarta	Manual
BA-110-A	7,1	16	Quinta	Manual
BA-110-B	7	8	Sexta	Manual

Las bombas de combustión tienen un retardo de arranque de 8 segundos antes de entrar a funcionar en modo automático, para evitar que cual cualquier fenómeno repentino de caída de presión provoque la ejecución de dos bombas al mismo tiempo.

El agua que abastece al sistema de contraincendio, proviene del tanque de almacenamiento cuya capacidad es de 100,000 BLS (15,900 m<sup>3</sup>), adicionalmente se cuenta con dos vasos de asentamiento cuya capacidad es de 146,250 m<sup>3</sup>. Además que se cuenta con otro suministro directo de la presa con capacidad de 40 millones de pies cúbicos (113,267 m<sup>3</sup>).

#### **5.1.4 Otros componentes**

Aparte de la casa de bombas que constituye el sistema de contraincendio, existe otros componentes importantes que completan el sistema de contraincendio, como se observa en la Tabla 10.



**Tabla 10. Otros componentes que integran el sistema de contraincendio**

COMPONENTES	FUNCIÓN
Manómetro de succión	Indican la presión existente en el tanque TV-132 (tanque de almacenamiento de agua para el sistema de contraincendio); su rango es de 0-7 kg/cm <sup>2</sup> .
Manómetro de descarga	Indica la presión existente de descarga de la bomba que esté en operación; su rango es de 0-21 kg/cm <sup>2</sup> .
Válvulas de succión de las bombas	Válvulas tipo compuerta de vástago ascendente de 10 y 16 in, deben estar abiertas todo el tiempo.
Válvulas de descarga de las bombas	Válvulas tipo compuerta de vástago ascendente de 8 y 12 in, deben estar abiertas todo el tiempo.
Válvula de retención de líneas de cesado	Su función es evitar el retroceso del flujo de la descarga para que la bomba no se dañe.
Manómetros de descarga	Sirve para indicar la presión existente en el cabezal (es) de descarga.
Válvulas de seccionamiento de los cabezales de descarga	Válvula de compuerta de vástago ascendente de 20 in, deben estar abierta normalmente y sirve para distribuir el flujo de agua hacia la red general de contraincendio-
Indicador de nivel del tanque de almacenamiento	Sirve para monitorear el nivel de agua del TV-132, el cual se encontraba al 95%.

### 5.1.5 Red de tuberías y accesorios en el sistema de contraincendio

La red del sistema de contraincendio está configurada en diferentes diámetros; dentro de los cuales se encuentran de 20, 18, 10, 8, 6 in (ver Tabla 11).

**Tabla 11. Especificación de la tubería de acero al carbón del Complejo Petroquímico**

DIÁMETRO NOMINAL		CÉDULA	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR		DIÁMETRO INTERIOR	
in	mm		in	mm	in	mm	in	mm
2 ½	63.50	80	2.87	73.00	0.276	7.01	2.322	58.98
8	203.20	20	8.63	219.10	0.250	6.35	8.126	206.40
12	304.80	20	12.75	323.90	0.250	6.35	12.252	311.20
14	355.60	10	14.00	355.60	0.250	6.35	13.500	342.90
16	406.40	10	16.00	406.40	0.250	6.35	15.00	393.70
20	508.00	20	20.00	508.00	0.375	9.52	19.250	488.94
24	609.6	20	24.00	609.6	0.375	9.52	23.250	590.55

Cabe mencionar que el sistema de contraincendio tiene una antigüedad de 30 años aproximadamente, con que la vida útil del material de la red contraincendio



se encuentra en los límites de operación. Con base a la ASTM G1-03 se calculó el desgaste de la tubería, en la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 12. Desgaste de la red contraincendio.**

DIÁMETRO NOMINAL in	CEDULA	ESPESOR in	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO in	DESGASTE ESPESOR in
8	20	0.25	0.100	0.10
12	20	0.25	0.125	0.10
14	10	0.25	0.138	0.10
16	10	0.25	0.150	0.10
20	20	0.375	0.176	0.225
24	20	0.375	0.200	0.225

### 5.1.6 Suministro y tanque de almacenamiento

El sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico es abastecido con agua de una presa. El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 100,000 barriles (15,900 m<sup>3</sup>), en el cual se puede realizar el bombeo hacia el sistema de contraincendio cuando es requerido. De acuerdo a normatividad NFPA 14, se requiere de un suministro de agua de por lo menos de 2 horas del requerido para la zona de mayor riesgo, el Complejo Petroquímico requiere de 7,119 GPM para esta zona (dato proporcionado por el Complejo Petroquímico); es decir en dos horas de combate a un conato de incendio en la zona de mayor de riesgo se necesita de 854,280 galones (3,233 m<sup>3</sup>). Verificando el cumplimiento de norma NFPA 14 se realiza los siguientes cálculos:

$$t_{total} = \frac{4,200.336 \text{ Gal } (15,900m^3)}{7,119 \text{ GPM } \left(1,616 \frac{m^3}{h}\right)} ; t_{total} = 590 \text{ min}, t_{total} = 9.83 \text{ h}$$

El tiempo máximo que puede suministrar es de 590 minutos o 9 horas con 50 minutos, por lo tanto se cumple con la normatividad utilizada.



### 5.1.7 Análisis de las curvas de operación de diseño y actuales de los equipos de bombeo

De acuerdo a la información recopilada de la operación de las bombas, se analizó las características actuales de las bombas, determinando las curvas de operación actuales (ver Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17) haciendo un comparativa con las curvas de operación de diseño.

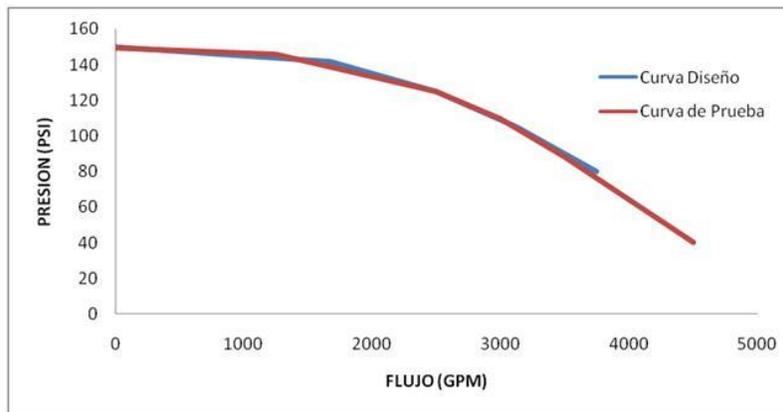


Figura 13. Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-A

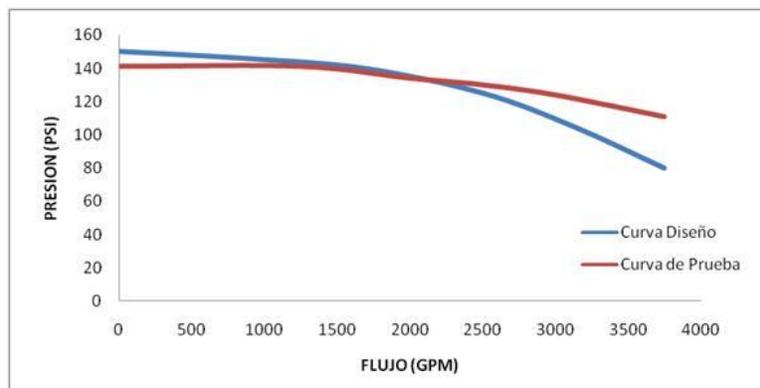


Figura 14. Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-B

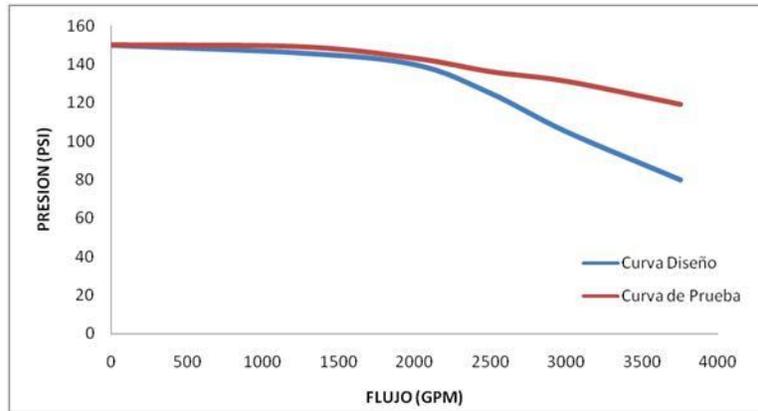


Figura 15. Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-109-C

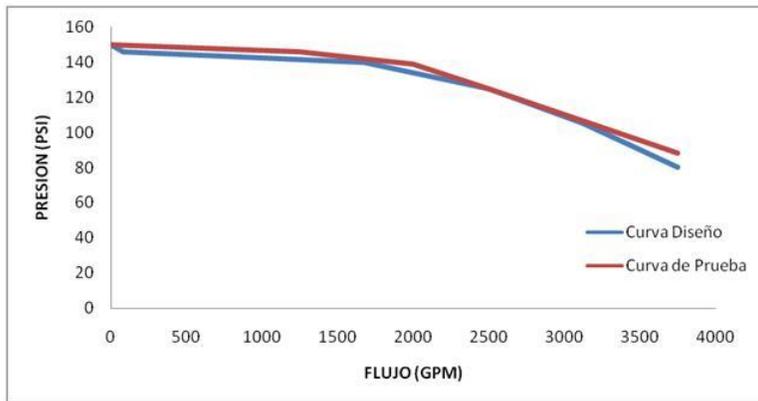


Figura 16. Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-110-A

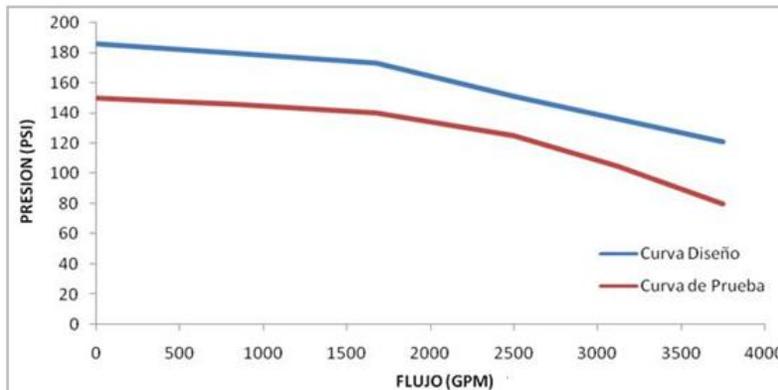


Figura 17. Curva de operación de diseño y actual de la bomba BA-110-B



Las bombas BA-109 A, BA-109-B y BA-109-C presentan perturbaciones en las curvas de prueba al hacer la comparación con las curvas de diseño, esto es debido a la presencia de fugas y tomas parásitas en la red contraincendio, en donde se necesita mayor presión para llegar al flujo deseado. Estas bombas son en general las que representan mayores afectaciones, esto es debido porque son las bombas principales y están en constante uso. Estas bombas representan el comportamiento de la red contraincendio porque es el corazón del sistema de contraincendio. Las curvas de diseño y de prueba de la bomba BA-110 A presenta comportamiento anómalo a lo esperado, en cambio, la bomba BA-110 B están en condiciones de operación aceptables. Estas bombas son de relevo, donde su uso es limitado y solamente trabaja a su máxima capacidad cuando surge alguna emergencia.

De acuerdo a la información recabada se puede concluir que la operación de las bombas no cumple con la norma NFPA 20 en su totalidad (Ver Tabla 16). Entre las anomalías que se encontró fue que la bomba que presiona la red contraincendio no es la bomba jockey si no que es la bomba BA-143, la cual está ubicada en los vasos de regulación de agua, además de que no se tiene información sobre la curva de operación de diseño y actual de la bomba.

## **5.2 Cuantificación de pérdidas de agua en el sistema de contraincendio**

Los levantamientos realizados por parte del personal de la UNAM consistieron en entrevistar al personal operativo del Complejo Petroquímico, cuya finalidad era en localizar las principales fugas y tomas parásitas para llevar a cabo el análisis del consumo de agua en la red contraincendio, para cuantificar el agua que es utilizada en este sistema y posteriormente determinar las pérdidas de agua en el mismo.

Para cuantificar las fugas y pérdidas de agua por tomas parásitas se realizó lo siguiente:



- Medición del volumen de agua que se derrama en las fugas visibles y de consideración mediante el uso de instrumentos de medición y equipos para determinar el flujo.
- Determinación del consumo de agua en las tomas parásitas de acuerdo al flujo que descarga un hidrantes simple o hidrante monitor, tomando en cuenta las especificaciones de estos equipos de acuerdo a la norma NFPA 20.
- Se cuantificó la pérdida de agua de algunos hidrantes que estaban en operación, mediante el uso medidores ultrasónicos para corroborar los consumos estimados mediante la inspección de la apertura de válvulas; tomando en cuenta los lineamientos de la norma NFPA 20.

### **5.3 Análisis de los componentes de sistemas de contraincendio**

El sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico está conformado por anillos<sup>1</sup>. Estos elementos tienen como función primordial el de disponer de agua en parámetros aceptables en todos los puntos dentro del anillo. Por lo tanto los anillos sirven para distribuir y conducir agua a través de todo el Complejo Petroquímico con la finalidad de combatir el conato de incendio.

Los hidrantes son elementales en el sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico, en la tabla se muestra la cantidad de hidrantes en cada sector del Complejo Petroquímico (ver Tabla 13).

---

<sup>1</sup> Un anillo es un circuito cerrado compuesto por hidrantes, (hidrante simples, hidrante monitor e hidrante toma camión), sistema de espuma y de aspersion



**Tabla 13. Localización y número de componentes de la red contraincendio.**

PLANTA	NO. DE HIDRANTES SIMPLES	NO. DE HIDRANTES MONITOR	NO. DE HIDRANTES TOMA CAMIÓN	TOTAL
Planta I	30	3	1	34
Rack	7	0	0	7
Bodega I	2	7	1	10
Planta II	0	14	4	18
Planta III	3	0	0	3
Talleres I	10	0	0	10
Talleres II	1	0	0	1
Talleres III	1	0	0	1
Central de contraincendio	1	0	0	1
Almacenes I y II	7	0	0	7
Vigilancia	4	0	0	4
Edificio I	1	0	0	1
Planta IV	43	10	10	63
Planta V	70	0	15	85
Planta VI	10	0	2	12
Planta VII	4	8	4	16
Planta VIII	0	8	5	13
Planta IX	2	5	2	9
Planta X	0	6	0	6
Planta XI	0	10	5	15
Planta XII	2	4	1	7
Planta XIII	8	4	2	14
Planta XIV	2	6	4	12
Planta XV	2	21	6	29
Planta XVI	0	31	6	37
Planta XVII	1	1	0	2
Planta XVIII	5	14	10	29
Planta XIX	5	9	4	18
Planta XX	10	4	2	16
Planta XXI	3	0	0	3
Planta XXII	7	0	0	7
Casa de bombas I y II	1	0	0	1
Planta XXIII	0	6	0	6
Planta XXIV	6	7	6	19
Planta XXV	1	9	4	14
Planta XXVI	4	8	4	16
Planta XXVII	5	10	2	17
Suma	258	205	100	563



En la Tabla 14 se presenta los requerimientos por planta para el agua de contraincendio.

**Tabla 14. Demanda de flujo y presión en el Complejo Petroquímico.**

ÁREA	PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	PRESIÓN (PSI)	FLUJO REQUERIDO (L/s)	FLUJO REQUERIDO (GPM)
Área I	----	----	437	6,922
Área II	21	299	235	3,727
Área III	8	116	54	862
Área IV	12	174	145	2,300
Área V	7	105	609	9,654
Área VI	14	200	218	3,450
Área VII	10	143	218	3,450
Área VIII	30	420	327	5,179
Área IX	7	102	73	1,150
Área X	7	105	109	1,725
Área XI	7	105	398	6,308
Área XII	9	128	109	1,725
Área XIII	9	131	449	7,119
Área XIV	7	102	73	1,150
Área XV	7	102	73	1,150
Área XVI	8	110	199	3,162
Área XVII	8	119	81	1,278
Área XVIII	15	216	90	1,426
Área XIX	7	105	199	3,162
Área XX	7	101	344	5,453
Área XXI	27	387	376	5,961
Área XXII	63	896	134	2,129
Área XXIII	7	101	131	2,075
Área XXIV	8	113	199	3,162
Área XXV	7	100	73	1,150
Área XXVI	8	118	73	1,150
Área XXVII	7	102	73	1,150
Área XXVIII	7	102	145	2,300
Área XXIX	99	1,408	227	3,594
Área XXX	8	115	109	1,725
Área XXXI	12	170	280	4,442
Área XXXII	8	108	403	6,393
Área XXXIII	63	891	973	15,428
Área XXXIV	7	97	166	2,635
Área XXXV	33	470	266	4,224

Nota: Estos datos fueron proporcionados por el Complejo Petroquímico.



## Hidrantes Simples

En el sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico se cuenta con 297 hidrantes, este tipo de hidrantes poseen un tubo de 4 in y una altura de 60 cm aproximadamente; tienen 2 tubos de 2 ½ in de diámetro, en los cuales se integran válvulas de 2 ½ in de diámetro de compuerta de paso completo tipo macho, estos hidrantes tienen una capacidad de 500 GPM (Figura 18).



**Figura 18. Hidrante simple**

Durante la inspección, se encontró que los hidrantes en general están en condiciones regulares de operación.

El Complejo Petroquímico cuenta con 205 hidrantes monitor; un hidrante monitor es un dispositivo de salida de agua de la red contraincendio con una boquilla regulable controlada por medio de válvulas tipo compuerta ó de mariposa con un diámetro de 4 in y una capacidad de 1,000 GPM (ver Figura 19).

En el caso de los hidrantes tipo monitor están en estado regular, sin embargo en la mayoría de los hidrantes necesitan de mantenimiento preventivo para evitar un déficit de operación del sistema de contraincendio.



**Figura 19. Hidrante monitor**

En el caso de los hidrantes toma camión se cuenta con 100 ejemplares aproximadamente. Un hidrante toma para camión es un dispositivo en el cual se suministra agua a la red contraincendio para satisfacer la demanda en cierto sector de la red contraincendio. En el hidrante toma para camión se cuenta con un adaptador para conexión con manguera de camión de bomberos, controlando el flujo suministrado por medio de válvulas tipo compuerta ó de mariposa con un diámetro de 4 in.

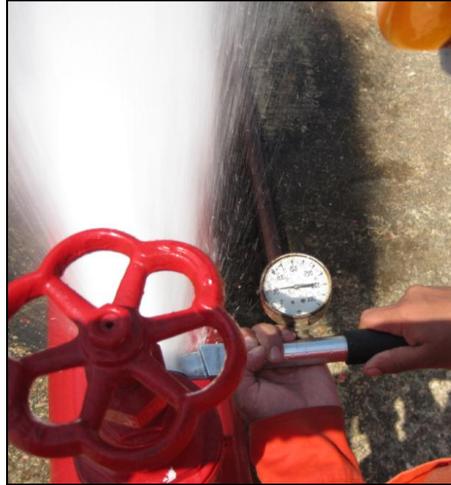
#### **5.4 Pruebas in-situ del sistema de CI**

Mediante el previo del análisis de información proporcionada del Complejo Petroquímico; se determinó la ubicación de la zona de mayor riesgo y la más desfavorable hidráulicamente; basándose también en la normatividad empleada. Estas pruebas hidráulicas se llevan a cabo con agua limpia, a fin de evitar la formación de lodos o sedimentos que pueden quedar atrapados en el interior de las válvulas provocando problemas de funcionamiento.

El sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico debe de estar diseñado para condiciones de máximo flujo hacia el punto de mayor riesgo y de igual manera garantizar una presión mínima disponible en cualquier hidrante o monitor de 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 Psig).



La realización de las pruebas *in situ* en el sistema de contraincendio, se llevo a cabo mediante la medición de caudal. Este método más corriente de medir el caudal de un chorro libre que sale por un orificio, lanza o tubería abierta es medir directamente la presión total que produce ese caudal. Este proceso de medida se basa en el conocido tubo Pitot y en un manómetro (ver Figura 20).



**Figura 20. Medida de la presión de un lanza con un tubo Pitot**

Cuando la pequeña abertura, generalmente no mayor de 1/16" de diámetro (1.6mm), se introduce en el centro de la corriente orientada en la dirección de la misma, el manómetro indicará la presión total en ese punto. Cuando la corriente sale al aire libre no existe altura manométrica, de modo que la altura del manómetro indica la presión de velocidad y la velocidad del chorro se podrá calcular directamente. En consecuencia, a la presión de velocidad se le denomina a veces presión de Pitot.

Si se conoce la sección del chorro en el punto donde se mide la velocidad, se puede calcular la cantidad de líquido que fluye según la fórmula siguiente:

$$Q = 0.0666C_d d_m^2 \sqrt{p_{vm}} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde

$C_d$  = Coeficiente de descarga



$d_m$  = Diámetro interior en mm

$p_{vm}$  = Presión de velocidad en kPa

El método del tubo de Pitot se utiliza normalmente para medir el caudal de descarga de hidrantes, con el fin de determinar la cantidad de agua disponible para los sistemas de contraincendios.

Los puntos seleccionados para la realización de las pruebas in-situ fueron: para el punto hidráulicamente más desfavorable fue el nodo ubicado en las coordenada 18°5'44.18''N y la zona de más alto riesgo fue en las coordenadas 18°5'40.57''N (en este caso no se llevo a cabo por que se restringió el acceso a la zona debido al servicio de mantenimiento realizado en el momento de la inspección física); por lo que se procedió a realizar la prueba solamente en el punto más desfavorable hidráulicamente (ver Figura 21).



**Figura 21. Ubicación del punto más desfavorable hidráulicamente.**

La presión se estimó por medio del método del tubo de Pitot, anteriormente descrito, los resultados de las pruebas in situ se muestra en la Tabla 21.



# EVALUACIÓN



## 6 EVALUACION

La evaluación del sistema de contraincendio se considerará las observaciones detectadas durante la inspección física, la verificación de la normatividad aplicada durante la inspección física, así como la cuantificación de pérdidas de agua en el sistema de contraincendio y la simulación de la situación actual del sistema de contraincendio.

### 6.1 Criterios

Los criterios para la evaluación hidráulica del sistema de contraincendio, están basados de acuerdo a lo reportado en literatura y la normatividad que regulariza al sistema de contraincendio (ver Tabla 15).

**Tabla 15. Criterios para la evaluación hidráulica del sistema de contraincendio.**

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Antigüedad de las instalaciones	Un problema muy común en las instalaciones industriales es el escaso tiempo de vida útil, lo que causa que un sistema este sujeto a condiciones de operación y anomalías operativas.
Adelgazamiento de paredes por efecto de la corrosión	La corrosión es uno de los problemas que frecuentemente se encuentra en los sistemas de contraincendios, afectando principalmente a las tuberías e hidrantes.
Capacidad	El sistema de contraincendio debe de estar provistos de fuentes (tanques, vasos de regulación, ríos, lagos, mar, pozos, entre otros) que proveen el agua, para que en caso de un conato de incendio de proporciones considerables, no sea obstáculo para extinguirlo eficientemente y no se expanda.
Condiciones físicas de la red contraincendio	Se revisará las condiciones estructurales de los componentes (bombas, tuberías, válvulas, entre otros) del sistema de contraincendio mediante pruebas no destructivas. Dentro de las posibles anomalías estructurales que se puede encontrar son las fugas; que es producto del adelgazamiento de paredes por efecto de la corrosión en las



CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
	tuberías, y la falta de mantenimiento.
Condiciones operativas	Se evaluará en este caso el exclusivo uso de agua de contraincendio, desde el suministro a la red contraincendio, el retorno del agua de contraincendio y las pérdidas de agua totales.
Factor de fricción (Hazen y Williams)	El factor de fricción en las tuberías es una medida que representa el desgaste en las tuberías, normalmente debe de ser de $C=100$ .
Flujo	El flujo de los hidrantes simples debe de ser de 500 GPM.
Instrumentación	Para un correcto control de presión, las bombas hidráulicas deben de estar provistas por manómetro de presión antes y después de la succión.
Mantenimiento	Se revisará si los componentes del sistema de contraincendio tienen un mantenimiento periódico en base a inspección física, por ejemplo: la pintura en los tramos rectos de tuberías, anomalías estructurales, limpieza, entre otros.
Medidas de protección	En este caso el sistema de contraincendio debe de estar provisto de medidas de extinción de incendio manuales y automáticas.
Presión Residual	Comúnmente la presión residual es la que sale de los hidrantes en donde se realizan pruebas hidráulicas. En los sistemas de contraincendio se debe de manejar como mínimo una presión de $7 \text{ kg/cm}^2$ , esto es debido para que salga el chorro de agua con la presión óptima para extinguir eficientemente cualquier conato de incendio.
Pruebas hidráulicas	Consiste en dos pruebas, comúnmente llamadas pruebas insi-tu, las cuales determinarán la presión y el flujo. Las pruebas insi-tu se realizan en la zona de mayor riesgo y la zona más desfavorable hidráulicamente.
Tipo y clase de tubería	Se analizará el tipo de tubería, si es subterránea o aérea, las condiciones ambientales, entre otros.
Velocidad de líquidos en tuberías	Con base en la literatura, la velocidad de los líquidos tuberías de presión debe ser de $0.5-2.5 \text{ (m/s)}$ .

Durante el recorrido realizado del sistema de contraincendio, se tomo como punto inicial la casa de bombas y como punto final la zona más desfavorable hidráulicamente, en la Tabla 16 se hace un resumen de todos las observaciones técnicas detectadas durante la inspección, evaluando el cumplimiento de las



normas NFPA 20 y NFR 128 con respecto a la casa de bombas del Complejo Petroquímico; en donde al cumplir con el primer organismo normativo mencionado se cumple con las normas del Complejo Petroquímico debido a que ambas normas son muy semejantes.

**Tabla 16. Criterios de evaluación conforme a normatividad**

NO.	NORMA NFPA 20	DESCRIPCIÓN	CUMPLE O NO CUMPLE	OBSERVACIONES
<b>Capítulo 5 requerimiento generales</b>				
1	5.5	Se cuenta con las curvas de las bombas.	Sí	Sí, estas se indican y se encuentran certificadas.
2	5.7.1	Las bombas, impulsores y controladores deben estar dedicados únicamente al servicio de contraincendio.	Sí	No se encontró ningún tipo de conexión a otros sistemas que no sean de contraincendio.
3	5.8.2	Capacidad de las bombas con capacidad nominal según tabla 5.8.2 de la norma.	Sí	Los equipos principales son de 2,500 GPM y el equipo de presurización de 1,000 GPM.
4	5.9	Placa de identificación.	Sí	Cada equipo cuenta con un TAG y su placa de identificación.
5	5.10.2, 5.10.1.3	Manómetros de presión de succión y descarga, adecuados en tamaño y unidades de medición.	Sí	La carátula de los manómetros se encuentran en los rangos de 0-28 kg/cm <sup>2</sup> (0-400 Psi) en la descarga y 0-60 kg/cm <sup>2</sup> (0-850 Psi) en la descarga.
6	5.11.1.2	Válvulas de alivio de recirculación automática.	Sí	Se encuentra localizada después de la válvula check.
7	5.12.1.2	Las unidades de bomba de contraincendio ubicadas en el exterior deben encontrarse a por lo menos 50 pies de cualquier edificio expuesto.	Sí	La distancia mínima entre la casa de bombas y el edificio expuesto más cercano es de aprox. 15 m de separación (central de contraincendio).
8	5.12.1.3	Protección de equipamiento en motores diesel.	No	La norma indica que los edificios o cuartos con bombas de contraincendios con motores a diesel deben estar protegidos con un sistema de rociadores automáticos.



<b>NO.</b>	<b>NORMA NFPA 20</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CUMPLE O NO CUMPLE</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
9	5.12.3	Iluminación normal.	Sí	La casa de bombas cuenta con iluminación artificial.
10	5.14.6.4	Reductores o incrementador cónico excéntrico instalado de manera de evitar bolsas de aire.	Sí	Las reducciones y ampliaciones se encuentran instaladas con la parte plana arriba.
11	5.14.7	Disposición del cabezal de succión.	Sí	La disposición es adecuada para suministrar proporcionalmente agua a cada una de las bombas que abastece.
12	5.18.1.1	Válvula de alivio de presión en una bomba con motor diesel.	Sí	Se encuentra instalada en la descarga de cada bomba con motor diesel.
13	5.19.2.1	Dispositivos de prueba para bombas de contraincendio.	Sí	Cuenta con los dispositivos aunque no consta que sean listados.
14	5.24.1	Bombas de mantenimiento de presión jockey; deben contar con una capacidad nominal no menor a las de cualquier tasa normal de fugas.	No	Debido a que el consumo de agua por fugas y mantenimiento se ve rebasado para la bomba jockey no está en operación y se mantiene operando una principal que se encuentra en el área de los vasos reguladores.
15	5.24.3	Válvula de retención en la tubería de descarga.	Sí	Se encuentra instalada en la descarga de la bomba.
<b>Capítulo 10 Controladores y accesorios para impulsores eléctricos.</b>				
16	10.4.6.1.1	Dispositivos indicadores de disponibilidad de energía visibles.	No	No hay un indicador de suministro de energía en el tablero de control.
17	10.5.1, 10.5.2 y 10.5.3	Encendido y control automático y no automático de los equipos de bombeo, éstos deben estar marcados como "controlador eléctrico para bomba de incendio" y deben mostrar el nombre del fabricante, presión máxima operativa.	No	Los controladores se encuentran pero no están marcados de acuerdo a lo especificado, cerca de las bombas.
18	10.5.2.5.1	Arranque secuencial de los motores.	Sí	No se pudo verificar si existe un control secuencial en las bombas ya que no estaba en operación la bomba principal; sin embargo, la filosofía de operación sí lo indica.
19	10.5.2.5.3	Si los requerimientos de agua exigen más de una bomba para poder funcionar, las unidades deberán arrancar a intervalos de 5 a 10 segundos.	Sí	Según su filosofía de operación cumple, pero no se pudo verificar la operación en el momento de la visita.



<b>NO.</b>	<b>NORMA NFPA 20</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CUMPLE O NO CUMPLE</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Capítulo 11 Impulsores de motores diesel</b>				
20	11.1.3.1	Impulsor de motor diesel para el impulso de bombas de contraincendio, deberán ser del tipo de ignición por compresión.	No	La documentación que lo avala no fue proporcionada.
21	11.1.1	Impulsor de motor diesel para el impulsor de bombas de contraincendio, deberán ser del tipo de ignición por compresión.	Sí	Los motores de las bombas de combustión interna de la casa de bombas son del tipo de ignición por compresión.
22	11.2.4.5	Listado de los motores para servicio de contraincendio.	No	La documentación que lo avala no fue proporcionada.
23	11.2.4.6	Indicador de temperatura	Sí	Cuenta con un indicador de temperatura instalado en el motor.
24	11.2.4.7	Panel donde se encuentren colocador todos los instrumentos del motor.	Sí	Se encuentra colocado en un pequeño panel en el motor.
25	11.2.5.2.2	Cantidad y capacidad de las baterías.		No se pudo verificar el equipo.
26	11.2.5.2.3	Baterías de plomo ácido en condiciones de carga seca.		No se pudo verificar el equipo
27	11.2.5.2.4	Cargador de baterías controlado automáticamente.		No se pudo verificar el equipo
28	11.2.5.2.6	Ubicación de la batería de almacenamiento adecuada.		No se pudo verificar el equipo
29	11.4.3.1	El suministro de combustible con capacidad de por lo menor 1 Galón por cada HP de capacidad.	Sí	Suministro de combustible aparentemente adecuado al volumen requerido para la capacidad de los motores.
30	11.4.5.1	Ubicación del suministro de combustible localizado en el exterior de la casa de bombas.	Sí	Se encuentran a un costado de la casa de bombas.
31	11.6.1.1	Funcionamiento semanal, deberán arrancarse los motores con una regularidad no menor de una vez por semana y durante 3 minutos.	No	Es el tiempo que duró la inspección no se arrancaron los equipos a diesel.
32	11.6.1	Desempeño del sistema; deberán estar limpios, secos y bien lubricados.	Sí	La casa de bombas se encuentra limpia, seca, libre de obstáculos y se mantienen los niveles adecuados de aceite.



<b>NO.</b>	<b>NORMA NFPA 20</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CUMPLE O NO CUMPLE</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Capítulo 12 Controladores de motor impulsor</b>				
33	12.1.3.3	Marcación; deberán estar marcados como controlador de bomba de contraincendio diesel y mostrarán el fabricante, la designación de identificación, la presión nominal operativa y tipo de gabinete.	No	No hay una marcación y/o placa que indique las características del tablero.
34	12.2.1	Ubicación. Deberán estar ubicados lo más cerca posible a los motores que controlan.	Sí	Se encuentran a un lado de cada equipo.
35	12.2.2	Deben estar ubicados y protegidos para que no se dañen con el agua que sale de las bombas o conexiones de bombas.	Sí	La orientación del gabinete evita cualquier posible daño por derrame de agua en condiciones normales de operación.
36	12.5.2.4	Si los requerimientos de agua exigen más de una bomba para poder funcionar, las unidades deberán arrancar a intervalos de 5 a 10 segundos.	Sí	En su filosofía de operación tienen contemplado este procedimiento; sin embargo, no se pudo constatar la operación.

En la mayoría de la red contraincendio del Complejo Petroquímico presenta condiciones físicas aceptables, con deterioros en algunos sectores de la red contraincendio (ver Tabla 17). Cabe mencionar que la forma de evaluación de la red fue con base en la inspección realizada, así como de los requerimientos operativos en cada una de zonas de la red contraincendio y a la entrevista con el personal encargado del sistema de contraincendio.



Tabla 17. Evaluación de las características físicas actuales del sistema de contraincendio

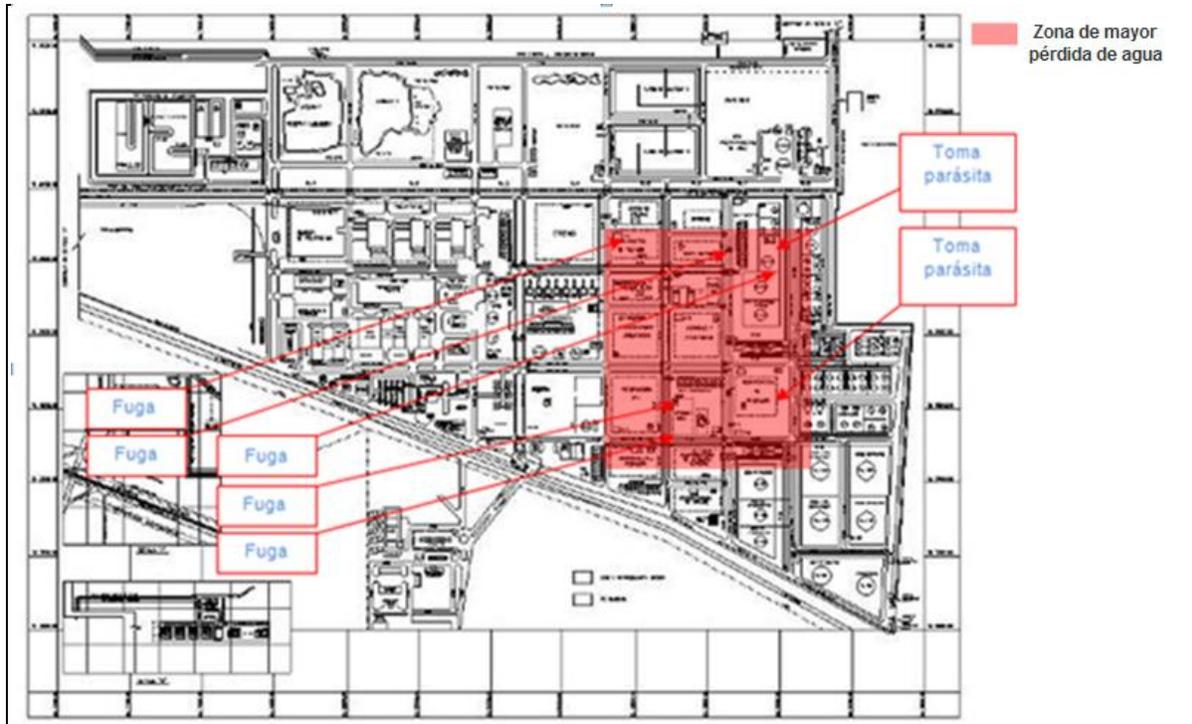
PLANTA, SECCIÓN O TAG	TUBERÍA	CODOS	TEES	REDUCCIONES	VÁLVULAS	BRIDAS	SOPORTES	MANÓMETROS
Planta de tratamiento de efluentes	R	R	R	R	R	R	R	R
Bodega de polietileno	R	R	R	R	R	R	R	R
Planta de etileno	R	R	R	R	R	R	R	B
Criogénica	M	M	R	R	R	R	R	R
Servicios auxiliares	B	R	R	R	R	R	R	R
Planta de estireno	M	B	B	R	R	R	R	B
Planta de óxido de etileno	R	R	R	R	R	R	R	B
Isomerización de pentanos	M	R	B	B	R	R	R	B
Hidrode-sulfuradora	M	R	R	R	R	R	R	B
Reformadora BTX	R	R	R	R	R	R	R	B
Planta de oxígeno	R	R	B	R	R	R	R	B
Planta de acetaldehído	R	R	R	R	R	R	R	B
Fraccionadora de aromáticos	M	R	R	R	R	R	R	B
Estabilizadora de crudo	R	R	R	R	R	R	R	B
Anillos de TV y esferas	R	R	R	R	M	R	R	R
<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>					<b>FUENTE DE ABASTECIMIENTO</b>			
B					B			

Condiciones observadas. B= bueno (libre de corrosión y picaduras); R= regular (corrosión leve y falta de pintura); M= mala (corrosión completa y picaduras)



### 6.1.1 Ubicación de las fugas y tomas parásitas

Durante la inspección física en la red contraincendio se identificaron fugas y tomas parásitas en los diversos elementos que integran el sistema de contraincendio dentro de las cuales solamente se consideró las de mayor relevancia o de consideración para este estudio (ver Figura 22).



**Figura 22. Localización de fugas y tomas parásitas en la red contraincendio del Complejo Petroquímico.**

Dentro de las posibles causas sobre estas fugas puede ser las siguientes: el deterioro de la tubería por el tiempo de vida de las tuberías, la afectación de las propiedades de la tierra al material, falta de mantenimiento, por mencionar algunas causas (ver Tabla 18).

**Tabla 18. Fugas identificadas en el sistema de contraincendio**

UBICACIÓN DE LA FUGA	POSIBLE CAUSA
Fuga en la red contraincendio lado norte.	Deterioro de la tubería por el paso del tiempo y falta de mantenimiento.
Fugas en la red contraincendio del lado noreste.	Falta de mantenimiento en los hidrantes y falta de protección contra la corrosión.
Fuga en la red contraincendio del lado noreste.	Falta de mantenimiento de la tubería de la red subterránea de contraincendio.
Fuga en la red contraincendio del lado sur.	Falta de mantenimiento en los hidrantes y falta de protección contra la corrosión.
Fugas en la red contraincendio del lado sur.	Deterioro de la red por el paso del tiempo, falta de mantenimiento y falta de protección contra corrosión de toda la red subterránea.

Las tomas parásitas localizadas durante el reconocimiento de la red contraincendio, son claramente una muestra clara del uso inapropiado de los hidrantes para los cuales fueron creados estos equipos. La estimación flujo fue con base en las estimaciones y a la previa entrevista con el personal al mando (ver Tabla 19).

**Tabla 19. Tomas parásitas identificadas en el sistema de contraincendio**

UBICACIÓN DE TOMA PARÁSITA	USO O SERVICIO QUE PROPORCIONA	ESTIMACIÓN DE FLUJO (m <sup>3</sup> /d)
Hidrante en la red contraincendio del lado noreste.	De acuerdo a la información y entrevista con el personal del Complejo Petroquímico, este hidrante proporciona agua para servicio sanitario en general y tiene un tubo adaptado de 3/4 in.	El flujo no se puede estimar, ya que tiene un tubo adaptado y su uso es intermitente.
Hidrante en la red contraincendio del lado sureste.	De acuerdo a lo observado y a la información obtenida, este hidrante se usa para lavado de los tanques.	El hidrante tenía una manguera adaptada y el flujo que proporcionan las mangueras según NFPA es de 250 GPM.

### 6.1.2 Cuantificación del volumen de agua que se utiliza en la red contraincendio

El procedimiento para cuantificar el agua que se perdía en la red contraincendio, consistió en medir el flujo del suministro y retorno de la red contraincendio en los vasos de regulación. En la Tabla 20 se muestran los valores de las mediciones



realizadas en el suministro y el retorno de la red contraincendio; así como el cálculo estimado de la pérdida de agua total del Complejo Petroquímico.

**Tabla 20. Flujo estimado para fugas y tomas parásitas**

UBICACIÓN DE LA MEDICIÓN	FLUJO (m <sup>3</sup> /d)
Suministro a la red contraincendio en la casa de bombas.	4053
Retorno de la red contraincendio.	3291
Flujo de operaciones de seguridad.	130
Perdida de agua total de fugas y tomas parásitas.	632

De acuerdo a la recopilación de información sobre la red contraincendio se reportó que el suministro a la red contraincendio en la casa de bombas es de 4,053 m<sup>3</sup>/d, lo que indica que hay un porcentaje de pérdida de agua de 15.6% con respecto al retorno de la red contraincendio.

### 6.1.3 Pruebas *in-situ* (punto hidráulicamente más desfavorable)

Los resultados de las pruebas *in-situ* realizadas presentan un déficit operacional en el sistema de contraincendio que conlleva al incumplimiento de las normas aplicadas a estos tipos de sistemas. Estas anomalías en el sistema de contraincendio se deben a la presencia de fugas, tomas parásitas y a prácticas anómalas de operación de la red contraincendio (ver Tabla 21).

**Tabla 21. Pruebas in situ del sistema de contraincendio**

PARÁMETROS	BOMBA UTILIZADA AL MOMENTO DE LA PRUEBA BA-143	ZONA 1 HIDRÁULICAMENTE MÁS DESFAVORABLE (EN LA SALIDA DEL HIDRANTE)	CUMPLIMIENTO CON LA NORMATIVIDAD			
			NRF-128-PEMEX-2005		NFPA 20-2007	
			SI	NO	SI	NO
Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) a 10 min	4.0	4.0		x		x
Flujo (GPM) a 10 min	743	472		x		x

Nota: No se llevó a cabo la prueba en la ZONA 2 de mayor riesgo debido a obras de mantenimiento al momento de la inspección física.



#### **6.1.4 Simulación del estado actual de la red contraincendio**

Para el análisis hidráulico de la red contraincendio se utilizó como herramienta de trabajo el software EPANET. Se simuló el comportamiento hidráulico del sistema de contraincendio para analizar los fenómenos que pasan a través de todos elementos que integran la red contraincendio como lo son: tanques, los tramos de tubería, bombas, hidrantes simples, hidrantes monitor y rociadores (ver Figura 23).

Como se observa en la Figura 23 existe una deficiencia de operación en la red contraincendio, esto se ve reflejado en los parámetros de presión y flujo; en donde se corroboró que la presión y flujo obtenidos en la prueba de campo son similares a los resultados de la simulación. Con base en la simulación realizada, se deduce que el sistema de operación es deficiente, debido a que en caso de un conato de incendio de proporciones considerables no se alcanzaría a mitigar el conato de incendio, por las condiciones de operación y al incumplimiento de la normatividad aplicada. Cabe mencionar que la simulación desarrollada fue fundamentada en la información recopilada por el Complejo Petroquímico, así como en los resultados obtenidos de la prueba de campo, a las condiciones de operación que se tenían al momento de realizar la inspección física; no todos los equipos estaban funcionando por mantenimiento en ciertos sectores de la red contraincendio.

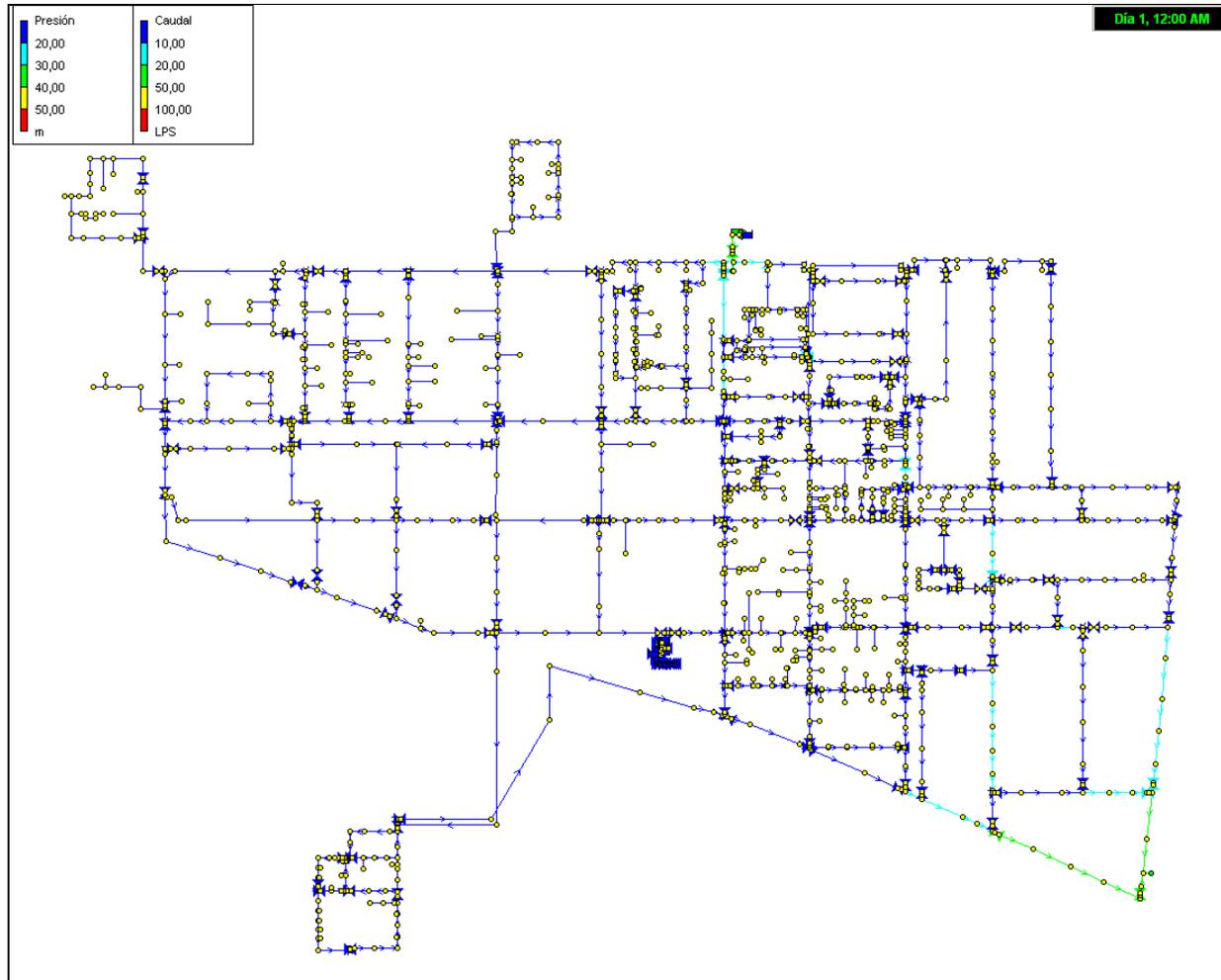


Figura 23. Simulación de la red contraincendio del Complejo Petroquímico



No se tomó en consideración ciertas zonas que eran innecesarias para el estudio hidráulico. La Figura 24 siguiente es un mapa de isolíneas, representa las regiones del espacio en las cuales el valor de la magnitud queda dentro de ciertos intervalos que en este caso la presión sistema de contraincendio va en aumento desde la casa de bombas hasta toda la red contraincendio; sin embargo la presión necesaria del sistema no es la óptima



**Figura 24. Mapa de isolíneas**

En la Tabla 22 se especificada todos los elementos considerados en la simulación como son: bombas centrífugas, tubería, válvulas y nodos. En el caso de los nodos se considera codos, intercepciones, hidrantes, expansiones y reducciones. En la Tabla 23 y la Tabla 24 se especifica más a detalle estos elementos del sistema de contraincendio.



**Tabla 22. Elementos incluidos dentro de la simulación de la red contraincendio**

<b>ELEMENTOS DE LA RED DE CONTRAINCENDIO</b>	
Bombas centrífugas	7
Longitud de tramo recto [m]	30111
No. de válvulas	193
No. de nodos	1466
<b>PUNTO MÁS DESFAVORABLE HIDRÁULICAMENTE</b>	
Demanda base (L/s)	47.5
Presión (m)	39.72

De acuerdo al análisis hidráulico realizado por medio de el software EPANET se consideraron los siguientes diámetros de tuberías (ver Tabla 23), cabe señalar que se utilizó más del 50% de tubería con un diámetro de 355 mm (14 in) sobre todo en las áreas de plantas, en donde hubo mayor cambio de diámetro fue en las áreas de almacenamiento y administrativas; en donde se exige tanto flujo como en las de mayor riesgo en las cuales utiliza diámetros de 508 mm (20 in).

**Tabla 23. Especificaciones de los tramos rectos de tubería considerados para la simulación de la red contraincendio**

<b>DIÁMETRO DE TUBERÍA</b>		<b>LONGITUD DE TRAMO RECTO(m)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
<b>mm</b>	<b>in</b>		
63.5	2.5	0.3	0.23
203.2	8	345	19.93
304.8	12	5037	1.48
355.6	14	18211	60.48
406	16	447	16.73
508	20	6002	1.15
609.6	24	69	0.001
Total		30111	100

En la Tabla 24 se presenta el número de válvulas incluidas en la simulación; las válvulas son de tipo de regulación, sostenedoras y de reducción, en su mayoría.



**Tabla 24. Especificaciones de válvulas del Complejo Petroquímico**

DIÁMETRO DE VALVULA		NO. DE VÁLVULAS.	PORCENTAJE (%)
mm	in		
203.2	8	14	7.25
304.8	12	24	12.44
355.6	14	123	63.73
406	16	4	2.07
508	20	25	12.95
609.6	24	3	1.55
Total		193	100

## 6.2 Determinación de los requerimientos mínimos del sistema

En la Tabla 25 se presenta los parámetros de flujo y presión óptimos de acuerdo a la normatividad aplicada; además de los datos obtenidos por el Complejo Petroquímico de las pruebas *in-situ*. Los datos obtenidos están por debajo de los parámetros establecidos por la norma NFPA; lo que indica el deterioro degenerativo de la red contraincendio, así como el poco o mal mantenimiento de la red contraincendio.

**Tabla 25. Comparativa de datos normativos vs pruebas in-situ**

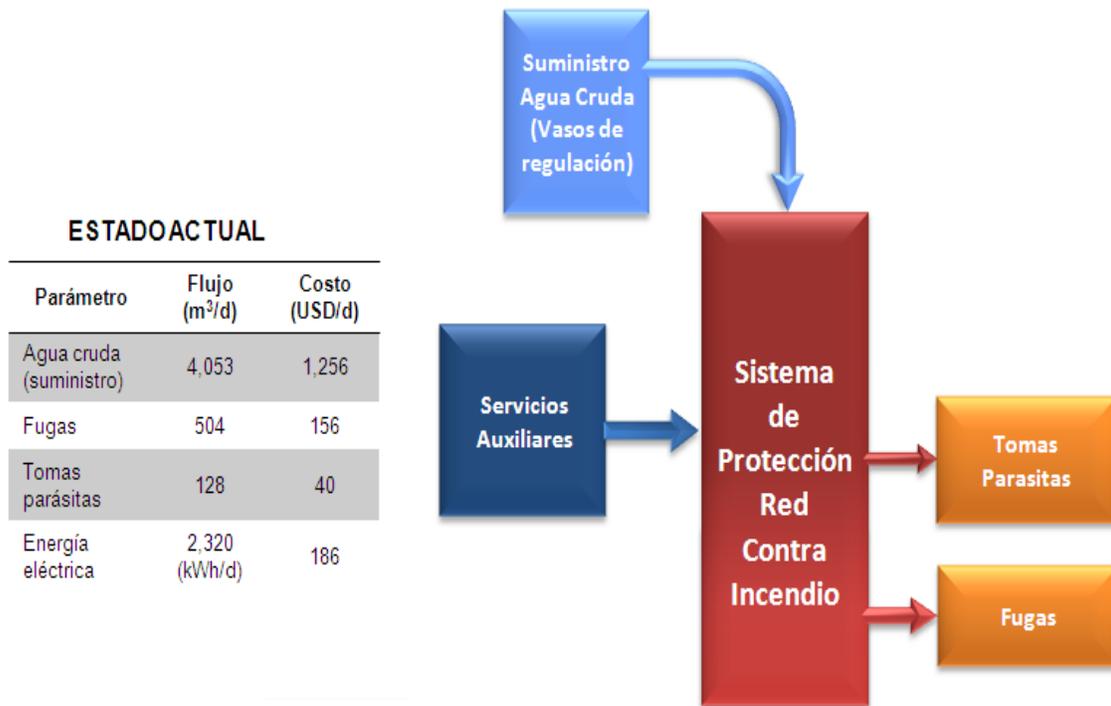
PARAMETRO	DATOS PUNTUALES (TEÓRICOS) DEL SISTEMA NFPA-20 Y DE COMPLEJO PETROQUÍMICO)	DATOS OBTENIDOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO EN PRUEBAS EN CAMPO	EFICACIA DEL SISTEMA DE CONTRAINCENDIO EN CASO DE CONATO DE INCENDIO	
			SI	NO
PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	7	4		X
FLUJO (GPM)	500	472		X

## 6.3 Diagnóstico de la operación de la red contraincendio

De acuerdo al análisis realizado y la información recopilada se elaboró el diagnóstico del sistema de contraincendio del Complejo Petroquímico. En la Figura 25 se encuentra descrito el diagrama de flujo de proceso del estado actual del



sistema de contraincendio, donde se indica cuanto se requiere de suministro de agua cruda y de energía eléctrica; así como las pérdidas de agua existentes de la red contraincendio del Complejo Petroquímico.



**Figura 25. Diagrama de flujo de proceso del estado actual del sistema de de contraincendio.**

Para el desarrollo del estado actual del sistema de de red contraincendio, se consideró los siguientes puntos clave:

- 1) Líneas de tuberías de contraincendio

El estado de las tuberías del Complejo Petroquímico presenta deterioros graves, debido a las siguientes causas:

- Bajos factores de C, alrededor de C=80 de Hazen y Williams; debido a la antigüedad que presenta la red contraincendio, considerando que la vida



útil de las tuberías de contraincendio es aproximadamente de 30 años condiciona la red contraincendio de no operar a altas presiones y flujos.

- Fugas (visibles y no visibles) a lo largo de toda la red contraincendio; consecuencia del inadecuado mantenimiento dado a la red contraincendio y a la falta de prevención de estos incidentes comunes en estos sistemas.
- Alta corrosión en las tuberías de contraincendio, debido a la falta de prevención y mantenimiento a la red contraincendio.

El estado de la gran mayoría de hidrantes (hidrante simple, hidrante monitor y hidrantes toma camión) existentes en el Complejo Petroquímico presenta incontables daños tanto en válvulas como en el cuerpo de los hidrantes, además de presenta algunos casos de corrosión. Estos incidentes son provocados por una falta de planeación de mantenimiento y prevención provocan el déficit de parámetros técnicos operacionales y gasto innecesario del agua.

### 2) Sistemas de bombeo

El sistema de bombeo de la casa de bombas no estaban en operación durante la inspección física, sin embargo la información recopilada avala estas bombas por que están aprobadas por Factory Mutual (FM) y listadas por Underwriter's Laboratories (UL).

La bomba BA-143 era la única que estaba en operación durante la inspección física, esta bomba está ubicada en los vasos de regulación, en la cual no se cuenta información técnica, además de no cubrir la demanda de la red contraincendio ya que solamente funciona para mantener la presión.

### 3) Suministro de agua de Contraincendio

El abastecimiento de agua de contraincendio proporcionado por sus diferentes fuentes es suficiente para extinguir cualquier conato de incendio, debido a la diseño de la red contraincendio y a la ubicación de sus fuentes de abastecimiento de agua.



# PROPUESTA



## 7 PROPUESTA

La cantidad de agua necesaria en una red contraincendio y el ahorro al suministrarla en un posible conato de incendio, son cuestiones básicas en la planificación de abastecimiento de agua en cualquier centro de trabajo y de fundamental importancia, para establecer los requerimientos necesarios para optimizar el sistema.

Con base en la información presentada en capítulos anteriores, en este trabajo se desarrolló una propuesta para la disminución del consumo de agua de contraincendio mediante la reparación, rehabilitación e instalación de los componentes del sistema de contraincendio.

A continuación se describe los alcances de la propuesta.

1. Reparación de los componentes (hidrantes simples, hidrantes monitor, hidrantes toma camión) dañados en el sistema de contraincendio. Este alcance consiste en la limpieza, el mantenimiento preventivo y la reparación de accesorios de estos componentes. La reparación de los componentes dañados tiene como objetivo una respuesta inmediata y precisa del sistema de contraincendio ante un posible conato de incendio a fin de evitar que el agua se desperdicie en estos componentes debido a fugas.
2. Rehabilitación de accesorios y componentes (hidrantes simples, hidrantes monitor, hidrantes toma camión) dañados del sistema de contraincendio, así como la eliminación de tomas parásitas del sistema de contraincendio. Este alcance consiste en el cambio de válvulas de compuerta, tuberías, bridas y monitores. La rehabilitación de accesorios y componentes del sistema tendrá como resultado el funcionamiento óptimo y un decremento en la pérdida de agua por fugas.

Las fugas y las tomas parásitas son los principales factores que afectan al sistema de contraincendio, dado que decrece el flujo efectivo de envío y disminuyen la



presión del agua, lo que implica que se requiera de mayor energía para realizar el envío del agua por la red, lo que repercute notablemente en pérdida de agua.

3. Cambio de tubería de acero al carbón ASTM-A53 Gr.B por tubería de polietileno de alta densidad (PEAD). Este alcance consiste en la implementación de este material con la tecnología de punta a la red contraincendio, lo que implica una disminución en la pérdida de agua por fugas en la red contraincendio y un aumento en la vida útil de 50 años (de acuerdo a datos proporcionados proveedores), además de otros beneficios.

El ahorro en el costo de agua se obtendrá mediante la disminución de fugas en la red contraincendio, y la disminución de prácticas operativas anómalas que utilicen agua de contraincendio. La erradicación de fugas en la red contraincendio se propone que se realice mediante el cambio del 99.7% de tubería de acero al carbón ASTM-A53 Gr.B por tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) (el 0.3% restante corresponde a tubería tendida). Este cambio obedece a la norma (NFPA, 2007), en la cual se indica que no se debe de utilizar tubería de acero al carbón de forma subterránea, debido a las afectaciones provocadas por el medio, además que se desgasta más rápido de lo normal este material. En este caso la normatividad aplicable para redes subterráneas es PEAD, ya que este material es capaz de resistir el ataque biológico y el de los agentes inorgánicos y orgánicos existentes en el suelo.

Dentro de las propiedades de este material, el PEAD tiene mayor flexibilidad de tubería, en comparación del uso del acero al carbón. La flexibilidad de la tubería de PEAD permite eliminar el uso de conexiones o conectores, lo que reduce los costos de instalación. Cabe mencionar que sólo se hace el cambio de material en los tramos rectos de tubería y no en las conexiones, accesorios e hidrantes (simple, toma camión y monitor), debido a los requerimientos del sistema de contraincendio el material no sería idóneo, y en el caso de los hidrantes no es conveniente por marco normativo y por cuestiones de fabricación no está disponible. El impacto económico de implementar tubería de PEAD es



considerablemente bajo en comparación de implementar tubería de acero al carbón.

Debe de existir concientización del personal que labora en el Complejo Petroquímico sobre el exclusivo uso del agua de contraincendio, a fin de evitar la generación de tomas parásitas. Los propósitos de estas tomas parásitas es de generar servicios improvisados como lavado de equipos (tanques, intercambiadores, bombas, entre otros) patios, regado de jardines, servicio sanitario, por mencionar algunos de estos servicios espontáneos que generan deficiencias en el sistema de contraincendio y el cual infringe en estatutos normativos reguladores del sistema de contraincendio.

### **7.1 Análisis hidráulico del sistema de contraincendio**

Se han desarrollado diversos simuladores hidráulicos que difieren en su funcionamiento y en los criterios de evaluación, por ejemplo: el tamaño de la red, el tipo de material, conectores, entre otros. En este caso de estudio se utilizó el software EPANET, ya que ayuda a visualizar con mayor eficiencia toda la red contraincendio del Complejo Petroquímico y permite realizar el perfil hidráulico por sectores o anillos de la red contraincendio.

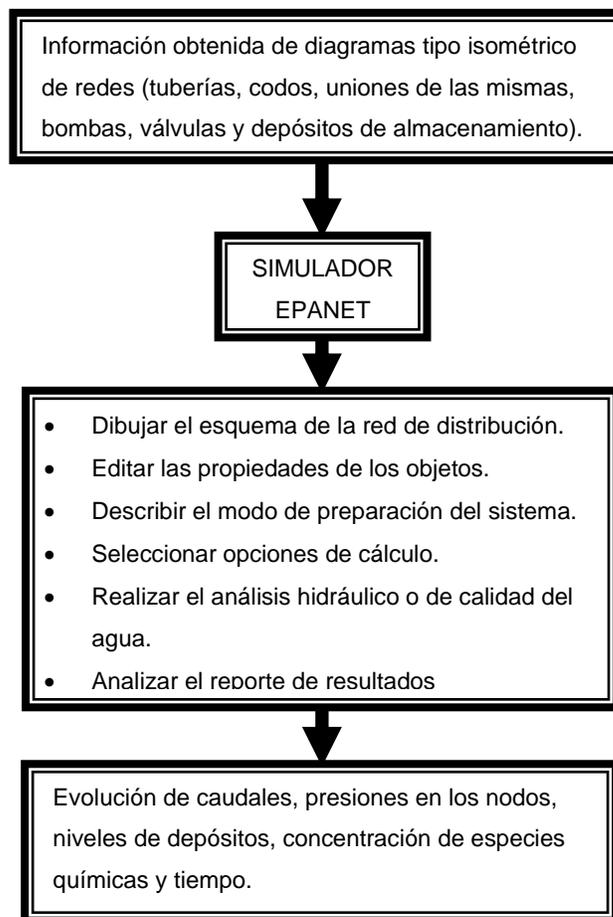
Algunas de las ventajas que presenta este simulador son la potencia de cálculo y la precisión del modelo hidráulico utilizado; el cual ofrece las siguientes ventajas:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.
- Incluye el cálculo de pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Determina el consumo energético y sus costos.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como de corte, de retención y reguladoras de presión y de flujo.



- Admite depósitos de geometría variable (esto es, cuyo diámetro varíe con el nivel).
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación del tiempo.
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (p.ej. rociadores).
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel de los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en leyes lógicas.

La metodología de cálculo hidráulico de red que sigue el simulador EPANET se describe en la Figura 26.



**Figura 26. Diagrama para la metodología de cálculo en EPANET**



Para la evaluación hidráulica mediante el software EPANET se consideraron los puntos críticos en las zonas de mayor demanda de agua y en la zona más desfavorable hidráulicamente.

En base al escenario propuesto, se consideraron los siguientes parámetros:

- Altura
- Cota
- Fugas
- Tomas parásitas
- Caída de presión
- Flujo requerido
- Velocidad
- Coeficiente de rugosidad
- Operación de las bombas principales, relevo y la bomba jockey

A continuación se muestran los resultados de la simulación realizada con base en la propuesta y la condición actual del sistema (ver Tabla 26).

**Tabla 26. Comparativa de pruebas in-situ vs propuesta**

CONCEPTO	CASO ACTUAL		PROPUESTA	EFICACIA DEL SISTEMA DE CONTRAINCENDIO EN CASO DE CONATO DE INCENDIO			
	PRUEBA IN-SITU	SIMULACIÓN DEL SCI	SIMULACIÓN DEL SCI	CASO ACTUAL		PROPUESTA	
				SI	NO	SI	NO
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	4	4	7.2		X	X	
Flujo (GPM)	472	472	500		X	X	
Velocidad (m/s)	0.29	0.62	0.5		X	X	
Coeficiente de rugosidad (Hazen-Williams)	80	80	120		X	X	
Pérdidas por fricción (kg/cm <sup>2</sup> )	0.22	9.65	3.16		X	X	



Nota. En la prueba in-situ realizada, solamente estaba en funcionamiento una bomba para un sector específico. Los resultados de la simulación (EPANET) representados en la tabla anterior, fue considerando las condiciones actuales y el funcionamiento de las bombas principales y la bomba jockey, correspondiente al caso actual y la propuesta.

Como se indica en la Tabla 26, las pérdidas por fricción son de  $3.16 \text{ kg/cm}^2$ , lo que representa la reducción del 67.2% de pérdidas por fricción. La presión de  $7.2 \text{ kg/cm}^2$  cumple con el marco normativo de presurización de toda la red contraincendio, aumentado el 80% de presión en el sistema de contraincendio. La velocidad  $0.5 \text{ m/s}$  del agua a través de la tubería, opera satisfactoriamente de acuerdo a la literatura, reduciendo el 17% de velocidad en el caso de un funcionamiento de todas las bombas mencionadas anteriormente y aumentando la velocidad un 42%, considerando la zona hidráulica más desfavorable.

En la Tabla 27 indica el ahorro de agua de suministro, dato basado en la reducción de pérdidas por fricción de la red contraincendio del Complejo Petroquímico.

**Tabla 27. Ahorro de agua cruda**

CONCEPTO	FLUJO ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	
	ESTADO ACTUAL	PROPUESTA
Retorno de la red contraincendio	3,291	3,763
Flujo de operaciones de seguridad	130	130
Pérdidas de agua total de fugas y tomas parásitas	632	0
Fugas	504	0
Tomas parásitas	128	0
Agua de cruda (suministro)	4,053	3,893

Como se indica la tabla anterior el consumo de agua de suministro para la red es de  $3,937 \text{ m}^3/\text{d}$ , representa un ahorro de  $160 \text{ m}^3/\text{d}$  (3.95%) de agua cruda. Con lo anterior, y la proyección del ahorro de agua proveniente de la erradicación total de fugas y tomas parásitas se tiene un ahorro de  $792 \text{ m}^3/\text{d}$  (19.54%) de agua cruda.



En la Figura 27 se muestra la proyección realizada a la red contraincendio con la implementación de la propuesta. Como se puede observar en esta figura, los cambios estructurales en el sistema de contraincendio permiten suministrar el flujo en cada área para cumplir con la sectorización anteriormente especificada (ver Tabla 14). La instalación de tubería de PEAD, tiene un coeficiente de rugosidad mayor que una tubería de acero al carbón. Este parámetro de PEAD disminuye las pérdidas por fricción y el flujo, y aumenta la presión  $\geq 7.02 \text{ kg/cm}^2$ .

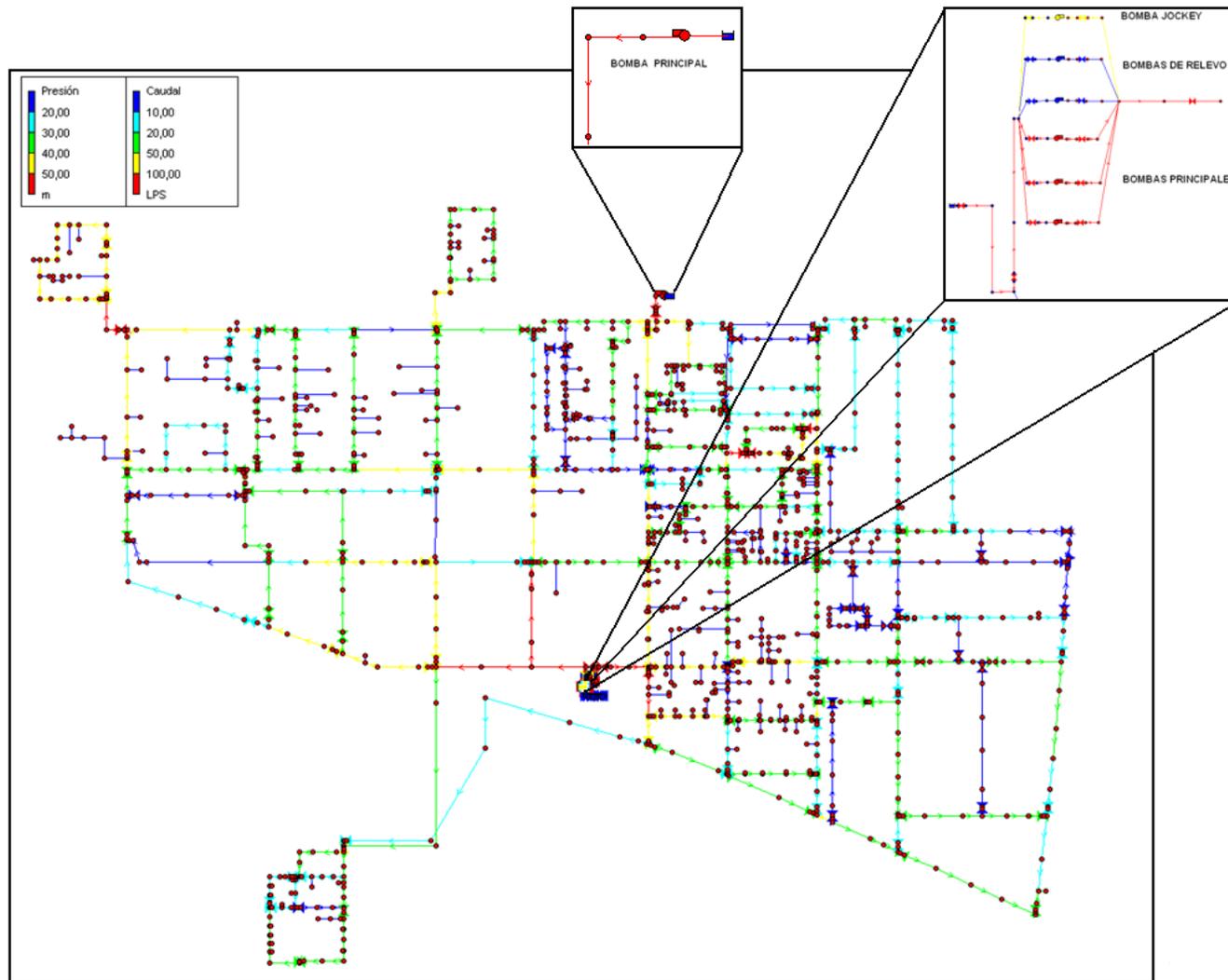


Figura 27. Propuesta de optimización del sistema de contraincendio



En la Tabla 28, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la simulación (EPANET) de la red contraincendio presentándose solamente los puntos de la zona más desfavorable hidráulicamente.

**Tabla 28. Resultados de la simulación de la propuesta**

ID NUDO	CONDICION ACTUAL			PROPUESTA		
	PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	ALTURA TOTAL (m)	COTA (m)	PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	ALTURA TOTAL (m)	COTA (m)
Nudo 1	4,73	78,28	31	7,24	103.38	31
Nudo 2	4,66	77,61	31	7,16	102.55	31
Nudo 3	4,66	77,58	31	7,15	102.51	31
Nudo 4	4,66	77,58	31	7,14	102.36	31
Nudo 5	4,66	77,55	31	7,13	102.33	31
Nudo 6	4,66	77,55	31	7,13	102.32	31
Nudo 7	4,65	77,48	31	7,13	102.33	31
Nudo 8	4,65	77,48	31	7,13	102.34	31
Nudo 9	4,65	77,46	31	7,14	102.35	31
Nudo 10	4,65	77,46	31	7,14	102.35	31
Nudo 11	4,64	77,43	31	7,14	102.36	31
Nudo 12	4,64	77,43	31	7,14	102.38	31
Nudo 13	4,63	77,31	31	7,14	102.39	31
Nudo 14	4,63	77,31	31	7,14	102.40	31
Nudo 15	4,62	77,24	31	7,14	102.41	31
Nudo 16	4,62	77,24	31	7,14	102.42	31
Nudo 17	4,62	77,19	31	7,14	102.42	31
Nudo 18	4,62	77,19	31	7,14	102.43	31
Nudo 19	4,61	77,06	31	7,14	102.42	31
Nudo 20	4,61	77,06	31	7,13	102.34	31
Nudo 21	4,54	76,35	31	7,13	102.33	31
Nudo 22	3,97	70,72	31	7,02	101.25	31

Como se puede observar los nodos alcanzan a superar la presión mínima requerida de 7 kg/cm<sup>2</sup>, las presiones en estos nodos están en un rango de 7.1 kg/cm<sup>2</sup> ± 2%, lo que representa un aumento del 80% de presión de la condición actual del sistema de contraincendio.



En la Figura 28 se muestra el comportamiento hidráulico obtenido en la simulación realizada de la red contraincendio.

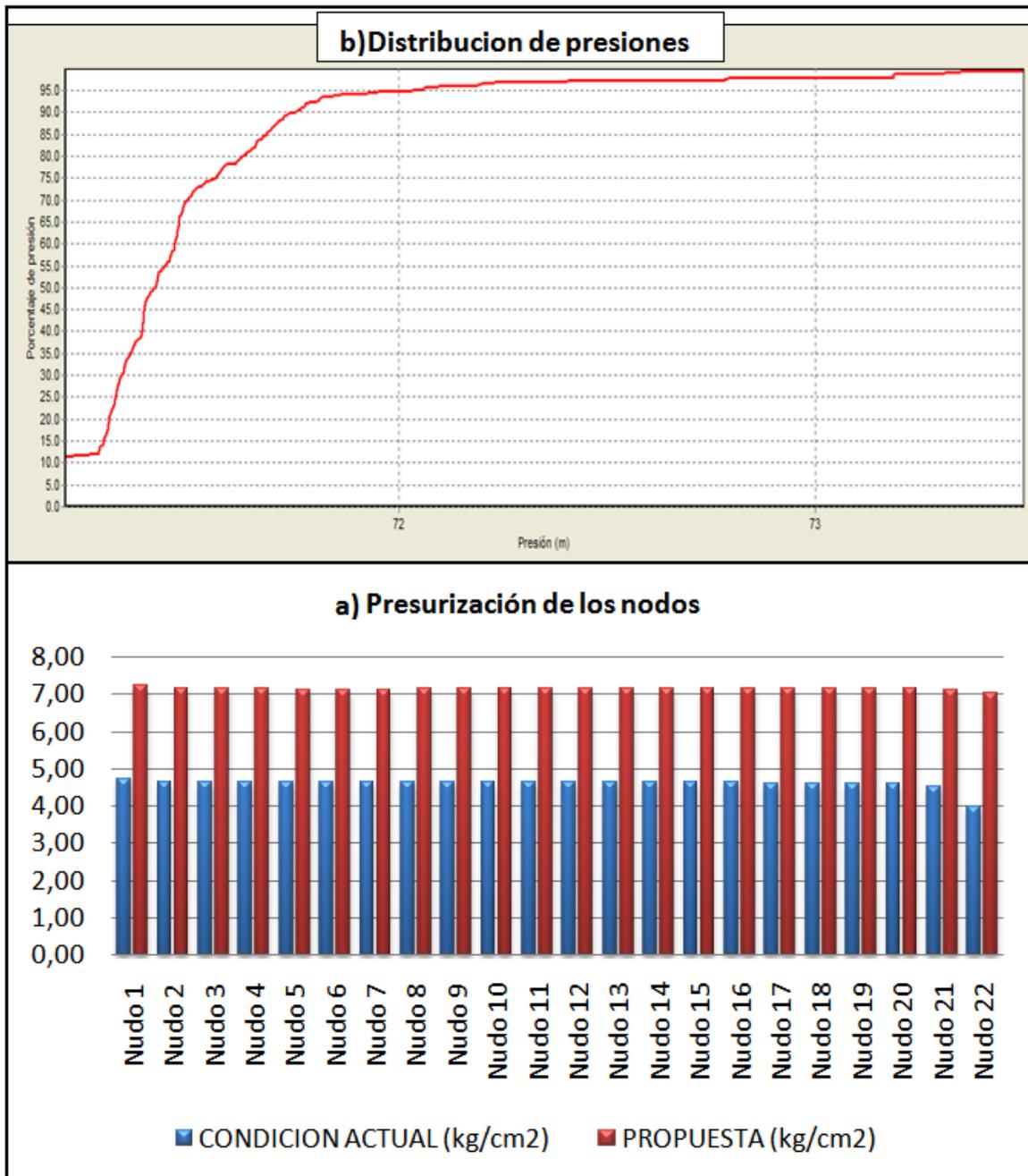


Figura 28. a) Presurización de nodos de la condición actual y la propuesta del sistema de contraincendio, b) Distribución de presiones



En la Figura 28 en el inciso a), se compara la presión de la condición actual del sistema de contraincendio con la propuesta, se observa un aumento significativo de presión en cada uno de estos puntos mayor a  $7 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliendo el marco normativo de operación. En el inciso b) de la Figura 28, se muestra el comportamiento de presión a través de todos los nodos de la red contraincendio, en donde se observa un aumento de presión mayor a  $7.3 \text{ kg/cm}^2$ .

La propuesta de análisis para el cambio de válvulas, bridas, monitor y de cuerpo se muestra en la Tabla 29, definiendo el cambio propuesto en cada área (ver Figura 29)

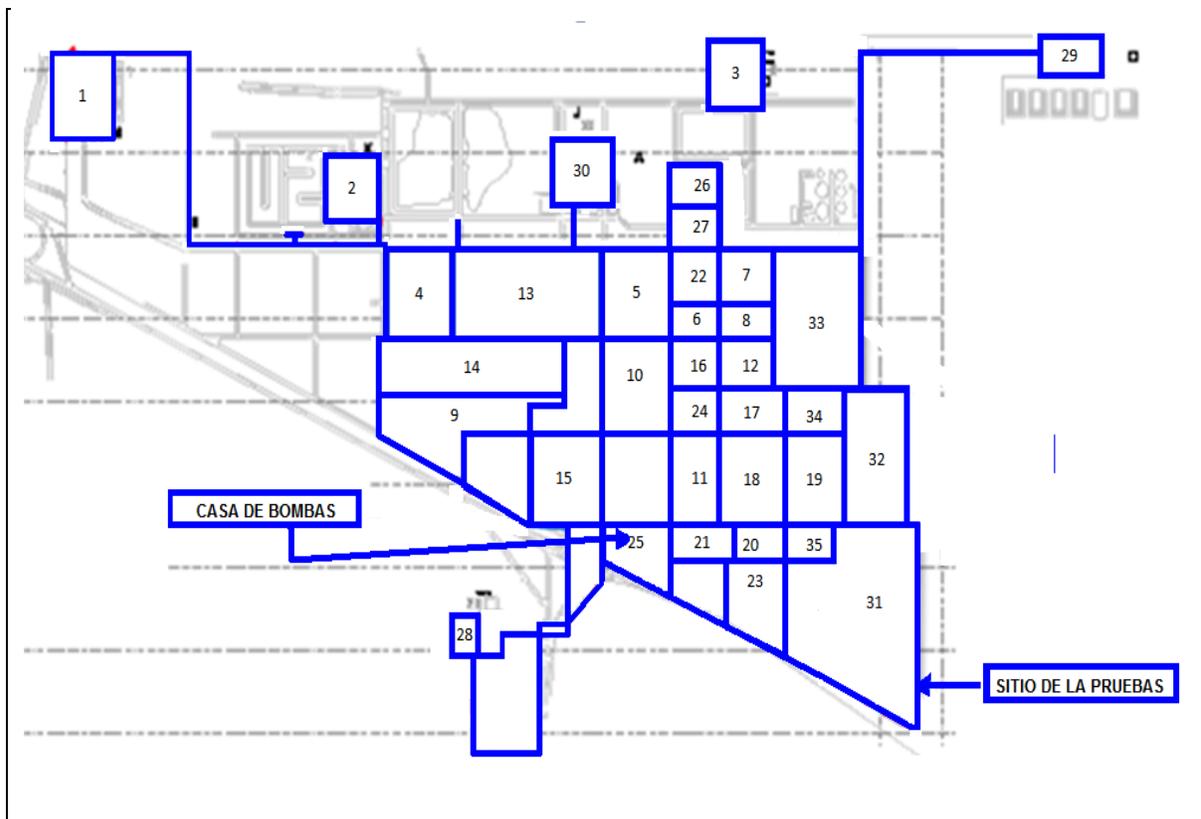


Figura 29. Modificaciones por área



Tabla 29. Alcance en la reestructuración en el sistema de contraincendio

ÁREA	MANTENIMIENTO		REHABILITACIÓN				INSTALACIÓN DE MATERIAL (PEAD)	LOCALIZACIÓN
	MAYOR	MENOR	CAMBIO DE VALVULAS	CAMBIO DE BRIDA	CAMBIO DE CUERPO	CAMBIO DE MONITOR		
Área 1	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'55.18"N
Área 2	-	X	-	-	-	-	X	18° 5'46.41"N
Área 3	-	-	-	-	-	-	X	18° 5'56.21"N
Área 4	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'39.14"N
Área 5	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'39.75"N
Área 6	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'37.84"N
Área 7	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'41.17"N
Área 8	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'38.12"N
Área 9	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'30.74"N
Área 10	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'30.73"N
Área 11	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'25.14"N
Área 12	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'35.44"N
Área 13	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'39.66"N
Área 14	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'35.09"N
Área 15	-	X	-	-	-	-	X	18° 5'25.22"N
Área 16	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'32.47"N
Área 17	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'30.29"N
Área 18	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'24.91"N
Área 19	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'25.34"N
Área 20	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'20.58"N
Área 21	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'20.66"N
Área 22	X	X	X	X	X	X	X	18° 5'42.38"N
Área 23	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'17.29"N
Área 24	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'29.81"N
Área 25	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'21.08"N
Área 26	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'52.05"N
Área 27	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'47.37"N
Área 28	-	-	-	-	-	-	X	18° 5'13.68"N
Área 29	X	X	-	-	-	-	X	18° 6'6.31"N
Área 30	-	X	-	-	-	-	X	18° 5'35.48"N
Área 31	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'37.16"N
Área 32	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'25.58"N
Área 33	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'34.42"N
Área 34	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'30.04"N
Área 35	X	X	-	-	-	-	X	18° 5'21.14"N

La Tabla 29 muestra los cambios sugeridos para las distintas áreas que conforman el Complejo Petroquímico, estos fueron proyectados debido a los



deterioros graves existentes en estos puntos y la creciente demanda de agua en estas áreas.

Las áreas que necesitan mayor cantidad de modificaciones son sectores que tienen tramos rectos de tubería en un intervalo de longitud de 120 m - 216 m. Al realizar una revisión a lo largo de estos tramos (se tiene un registro fotográfico) se encontró que parte del personal a cargo de las plantas usuarias utilizan estas líneas para otro fin, provocando el desgaste excesivo y poniendo al límite la capacidad de los hidrantes.

Por último, para las zonas que carecían de perturbaciones en los componentes de contraincendio solamente se recomendó el mantenimiento requerido para eliminar el problema.

Es importante mencionar que la evaluación de estas zonas que necesitaban estos cambios fue basado en los archivos fotográficos y en los reportes proporcionados por el Complejo Petroquímico.

## **7.2 Aspectos económicos**

Los costos referidos en tema de seguridad de contraincendio no tienen rentabilidad significativa en términos económicos. En general existe una equivalencia cualitativa entre el tipo de inversión y el tipo de seguridad, es decir dependiendo del nivel de seguridad es el tipo de inversión.

Tomando en cuenta el aspecto anterior, la propuesta de estudio tiene el objetivo de obtener un nivel alto de seguridad, abarcando tres factores principales: mantenimiento, rehabilitación e instalación además de la proyección de disminuir las condiciones inseguras en el Complejo Petroquímico.

A continuación se presenta la evaluación de costos de la propuesta, tomando en cuenta cada uno de los aspectos siguientes: material, mantenimiento, mano de obra civil, equipos, entre otros.



En la Tabla 30, se muestra el costo total de inversión, el alcance de la propuesta, el ahorro de agua, ahorro de energía eléctrica y el tiempo de recuperación de inversión.

**Tabla 30. Inversión de la propuesta y proyecciones de ahorro**

PROPUESTA	ALCANCE	AHORRO DE AGUA m <sup>3</sup> /d	AHORRO DE ENERGÍA ELECTRICA USD\$/ Año	INVERSIÓN (USD\$)	RECUPERACIÓN (AÑOS DE OPERACIÓN)
Disminución de consumo de agua de contraincendio mediante la reparación, rehabilitación e Instalación de los componentes del sistema de contraincendio	Mantenimiento Rehabilitación Instalación	792	116,919	3,152,856	>20

En la Tabla 30 se muestra que la proyección de la propuesta obtendría una recuperación de inversión a largo plazo, de acuerdo a la literatura, para que un proyecto sea redituable éste no debe de exceder de 12 años; por lo que a simple vista este proyecto podría parecer poco atractivo. Pero dentro de estas premisas un proyecto puede considerarse como rentable si considera que tiene mejoras en algún otro ámbito; por lo que este proyecto puede tomar fuerza por la proyección del ahorro que se obtendrá de agua, además de considerar una mejora ambiental, una disminución del agua de primer uso, seguridad en el uso correcto de las instalaciones y la disminución de tomas parásitas. Un proyecto de estas características, gana la confiabilidad de la gente que labora en el Complejo Petroquímico y la seguridad en las instalaciones del Complejo Petroquímico

La propuesta de estudio considera el mantenimiento, rehabilitación e instalación de equipos, se indica en la Tabla 31.



**Tabla 31. Equipos en mantenimiento, rehabilitación e instalación**

	MANTENIMIENTO	REHABILITACIÓN	INSTALACIÓN
EQUIPOS	NO. EQUIPOS	NO. EQUIPOS	NO. EQUIPOS
Hidrante simple	76	18	-
Hidrante-monitor	76	12	-
Hidrante con toma camión	28	9	-
Tubería de PEAD	-	-	1 (30,020 m)

Aproximadamente el 29.9% de los equipos existente dentro del Complejo Petroquímico requieren de mantenimiento, mientras que el 6.48% necesitan rehabilitación y el 99.7% de los equipos instalados en la red requieren cambio de tubería de acero al carbón por PEAD.

El valor estimado de inversión de cada actividad de la propuesta se presenta en la Tabla 32.

**Tabla 32. Inversión proyectada para mantenimiento, rehabilitación y cambio de tubería**

ALCANCES	NO. EQUIPOS	INVERSIÓN (USD\$)	BENEFICIOS	
			CONSUMO m <sup>3</sup> /d	COSTO (USD/d)
Mantenimiento	180	72,511	748	434
Rehabilitación	39	298,822		
Instalación	1	2,786,523		

El costo de la instalación de líneas es de 2, 786,523 millones de dólares, lo que corresponde al 88% del costo de la inversión proyectada para este rubro; mientras que la rehabilitación corresponde al 9.4% del costo proyectado. Las acciones pertinentes para erradicar la deficiencia del sistema operativo son muy desiguales en materia de inversión, esto se debe a la importancia de cada una y los beneficios que conlleva cada supuesto.



Los beneficios que se tendría por el cambio de tubería son: el ahorro de agua, el aseguramiento del sistema, ahorro de energía eléctrica, reducción en accesorios de tubería, flexibilidad del material y tiene una vida útil de 438,000 horas (50 años). El mantenimiento de los componentes de contraincendio tiene la finalidad de evitar la rehabilitación, para impedir gastos mayores a corto tiempo. La rehabilitación de los componentes representa una inversión alta en términos económicos, permite extender el periodo de vida útil y evitar accidentes de trabajo.

El análisis financiero que se encontró para la propuesta referente al valor presente neto de los ingresos, el valor presente neto de los egresos, la relación beneficio costo, el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y recuperación de la inversión, se indica en la Tabla 33.

**Tabla 33. Valor presente neto y recuperación de inversión**

VPB	VBC	R(B/C)	VPN	TIR (%)	RECUPERACIÓN (AÑOS)
1,897,537	3,367,922	0.6	-1,470,385	1.64	>20

Con base en los datos obtenidos en la Tabla 33, el proyecto no es viable económicamente, ya que la relación costo beneficio es menor 1 y el valor presente neto es negativo, lo que significa que los costos son mayores que los beneficios. Este tipo de resultados económicos es muy común como se había dicho anteriormente, ya que se invierte en la seguridad de las instalaciones del Complejo Petroquímico.

En resumen, mediante la implementación de esta propuesta se obtendrá un ahorro de agua de contraincendio de aproximadamente 792 m<sup>3</sup>/d, que en términos económicos son 167,666 USD/año. Otro beneficio es el ahorro de energía eléctrica con un valor estimado 116,919 USD/año (ver Figura 30).



# PROPUESTA

“Disminución de consumo de agua de contraincendio mediante la reparación, rehabilitación e Instalación de los componentes del sistema de contraincendio”

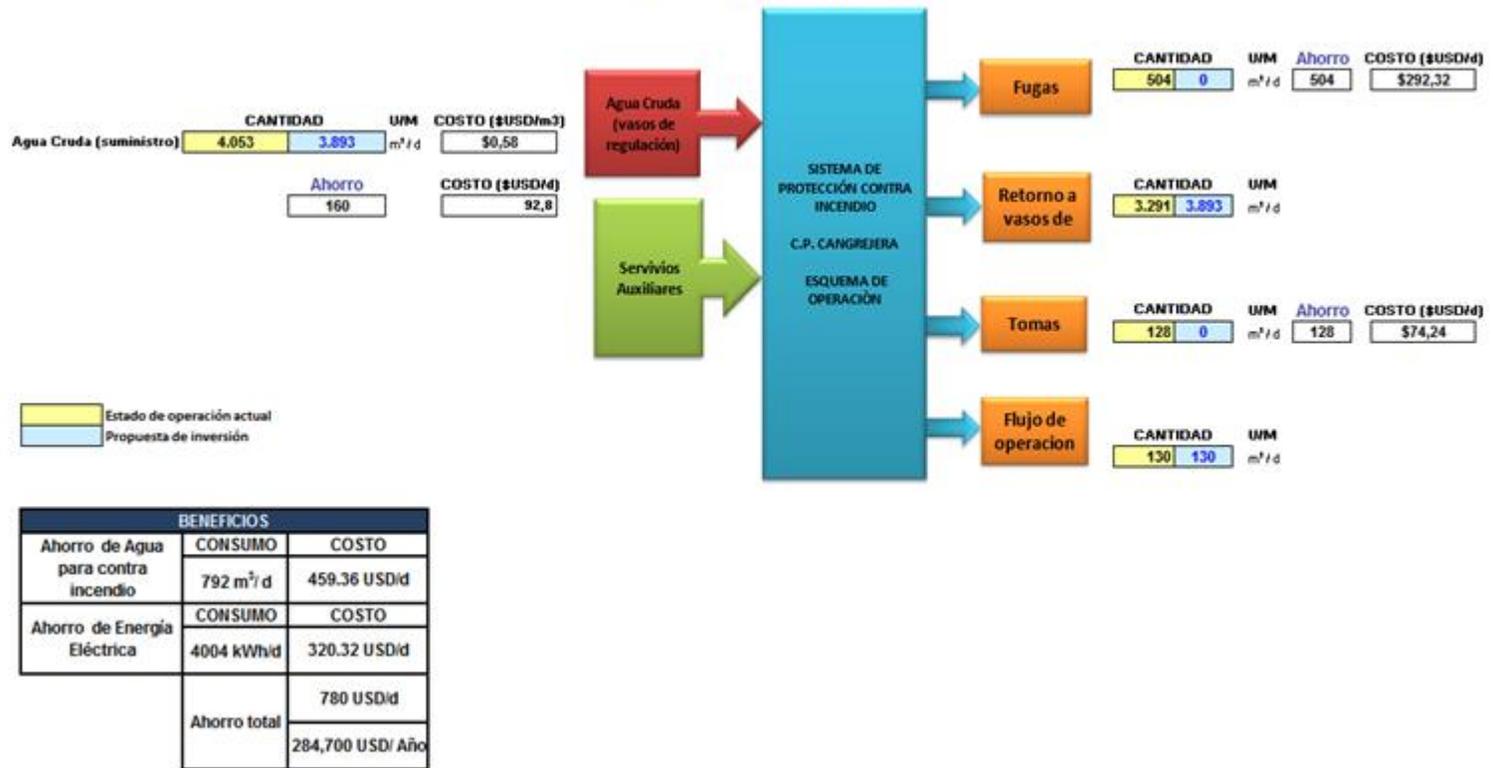


Figura 30. Beneficios y ahorros de la propuesta



# CONCLUSIONES



## 8 CONCLUSIONES

La realización de este trabajo comprende la evaluación de la red contraincendio de un Complejo Petroquímico de México, con el fin de presentar una serie de criterios y recomendaciones para la evaluación hidráulica de redes de sistemas de contraincendio.

La metodología establecida para cumplir los objetivos planteados consistió en tres puntos principales:

- 1) Revisión conforme a normatividad NFPA y NFR
- 2) Realización de la prueba hidráulica in-situ del punto más desfavorable
- 3) Diagnóstico de la operación actual del sistema de contraincendio mediante simulaciones hidráulicas

En la revisión conforme a normatividad se concluyó que el 33.3% de los incumplimientos de la normatividad identificados son causados por los siguientes factores:

- Prácticas inadecuadas de operación del sistema de contraincendio.
- Uso inadecuado del agua de la red contraincendio en servicios administrativos y operaciones de mantenimiento
- Falta de instrumentación de la red contraincendio.

De acuerdo a la evaluación hidráulica de la prueba in-situ realizada de la red contraincendio, ésta presenta una deficiente operación, producto del mantenimiento inadecuado de los equipos y la consecuente pérdida de agua (632 m<sup>3</sup>/d) a lo largo de la red contraincendio.

La vida útil de la red contraincendio está sobrepasada, ya que la corrosión ha llegado a un 18% sobre el espesor de la pared excediendo la tolerancia permitida de 12.5% de acuerdo a literatura. La red contraincendio tiene 30 años lo cual ya no le permite operar a altas presiones y flujos. El 99.7% de la red contraincendio



está instalada en forma subterránea, por lo que se dificulta el mantenimiento y la ubicación de futuras reparaciones.

En cuanto al diagnóstico de la operación actual, se determinó que del total de agua suministrada al sistema de contraincendio (4,053 m<sup>3</sup>/d) se pierde aproximadamente 632 m<sup>3</sup>/d por fugas y tomas parásitas, lo que representa un 15.6% de pérdida y en consecuencia no se cumple con los parámetros operativos deseados.

Para resolver los problemas anteriormente señalados se implementó la propuesta “Disminución de consumo de agua de contraincendio mediante la reparación, rehabilitación e Instalación de los componentes del sistema de contraincendio”. Técnicamente la propuesta es factible, pues proporciona un ahorro de agua de 792 m<sup>3</sup>/d (19.54%), que en términos económicos equivale a 167,666 USD/año, tiene un ahorro de energía eléctrica de 116,919 USD/año, lo que representa un 21% de ahorro de energía eléctrica. Los alcances de la propuesta consisten en la rehabilitación y mantenimiento del 36.38% de los equipos existentes dentro del Centro de Trabajo además del cambio de tubería de acero al carbón por PEAD en el 99.7% de la red. En resumen, el sistema de contraincendio funcionando en óptimas condiciones traerá como beneficio una pérdida mínima de agua, reducción de consumo de energía eléctrica, el correcto funcionamiento del sistema de contraincendio, reducción de costos y riesgos asociados en el Complejo Petroquímico, y el cumplimiento del marco normativo.

En términos económicos, la propuesta no representa un beneficio económico (ahorros) y se tiene un largo periodo de recuperación de inversión (más de 20 años), ya que los costos son mayores que los ahorros. Desde un punto de vista hipotético en caso de que hubiera un conato de incendio y no se contará con la protección adecuada para el sistema de contraincendio, las consecuencias serían enormes, debido a las pérdidas humanas y económicas; superando por mucho la inversión de la propuesta. Es por estos motivos, que las medidas a implementar al sistema de contraincendio disminuyen al máximo las consecuencias de un conato de incendio.



### Recomendaciones.

1. Complementar el sistema de instrumentación de control de flujo y presión, para cumplir con el marco normativo y para tener una mayor confiabilidad en el sistema.
2. Hacer conciencia a los trabajadores sobre el uso exclusivo del agua de contraincendio debido a las afectaciones que provoca en el sistema de contraincendio.
3. No hacer servicios improvisados (por ejemplo: servicio de sanitario, lavado de tanques y tuberías, entre otros) utilizando el agua de contraincendio para otro fin que no sea éste.
4. La única manera de garantizar la confiabilidad de sistema de contraincendio es implementar frecuentemente un plan basado en las inspecciones, pruebas y mantenimiento que genere informes de estado de desempeño del sistema de contraincendio, apegado a la norma NFPA 25. Posteriormente, crear un registro de seguimiento para tener presente cualquier contingencia en cuestión y asegurar la oportuna solución del problema.
5. No reemplazar tramos de tubería de acero al carbón defectuosos por otros del mismo material.
6. Las instalaciones industriales constantemente realizan modificaciones en las plantas de proceso, por lo que es necesario determinar el análisis de riesgos de procesos potenciales. Posteriormente, realizar un documento de sobre “qué hacer para manejar los riesgos, y una indicación sobre lo que se ha manejado y cómo”.
7. Incrementar la seguridad de los procesos mediante la disminución de riesgos de los procesos, por ejemplo: reduciendo la presencia de cantidades de productos peligrosos, emplear procedimientos que, de alguna manera disminuyan su riesgo, entre otros.
8. Los planos (DTI, PLG, servicios auxiliares, entre otros) del Complejo Petroquímico deben de ser actualizados para futuras modificaciones y estudios, para contar con buenas posibilidades de consolidar la seguridad.



Finalmente el trabajo realizado del sistema de contraincendio permite mejorar las condiciones operativas y seguridad, minimizando accidentes del personal, preservando la vida humana, los bienes materiales, el medio ambiente y la economía de la industria.



# ANEXO



## ANEXO

Datos de curvas de operación de bombas del sistema de contraincendio.

**Tabla 34. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109A**

BOMBA BA-109A							
CURVA DE DISEÑO				CURVA DE PRUEBA			
GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>	GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	150	10.55	0	0	159.4	11.21
825	52	146	10.26	1250	79	148	10.41
1675	106	140	9.84	2000	126	125	8.79
2500	158	125	8.79	2500	158	109.6	7.71
3125	197	105	7.38	3000	189	88	6.19
3750	237	80	5.62	3750	237	40	2.81

**Tabla 35. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109B**

BOMBA BA-109B							
CURVA DE DISEÑO				CURVA DE PRUEBA			
GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>	GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	150	10.55	0	0	141	9.91
825	52	146	10.26	1250	79	141	9.91
1675	106	140	9.84	2000	126	134	9.42
2500	158	125	8.79	2500	158	130	9.14
3125	197	105	7.38	3000	189	124	8.72
3750	237	80	5.62	3750	237	111	7.80

**Tabla 36. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109C**

BOMBA BA-109C							
CURVA DE DISEÑO				CURVA DE PRUEBA			
GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>	GPM	L/S	Psi	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	150	10.55	0	0	151	10.62
825	52	146	10.26	1250	79	149	10.48
1675	106	140	9.84	2000	126	143	10.05
2500	158	125	8.79	2500	158	136	9.56
3125	197	105	7.38	3000	189	131	9.21
3750	237	80	5.62	3750	237	119	8.37



**Tabla 37. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-110A**

BOMBA BA-110A							
CURVA DE DISEÑO				CURVA DE PRUEBA			
GPM	L/S	Psi	kg/cm2	GPM	L/S	Psi	kg/cm2
0	0	150	10.55	0	0	178	12.51
825	52	146	10.26	1250	79	159.5	11.21
1675	106	140	9.84	2000	126	148	10.41
2500	158	125	8.79	2500	158	135	9.49
3125	197	105	7.38	3750	237	89.4	6.29
3750	237	80	5.62	4500	284	50	3.52

**Tabla 38. Datos de curva de diseño y actual de la bomba BA-109B**

BOMBA BA-110B							
CURVA DE DISEÑO				CURVA DE PRUEBA			
GPM	L/S	Psi	kg/cm2	GPM	L/S	Psi	kg/cm2
0	0	150	10.55	0	0	186	13.1
825	52	146	10.26	775	49	176	12.4
1675	106	140	9.84	1879	119	173	12.2
2500	158	125	8.79	2791	176	151	10.62
3125	197	105	7.38	3666	231	121	8.5
3750	237	80	5.62	4745	299	96	6.75



# BIBLIOGRAFÍA

**BIBLIOGRAFÍA**

Barderas, M. C. (2007). *Problemas de flujo de fluidos*. México: Limusa Noriega Editores.

EPA. Grupo REDHISP. (2002). *EPANET 2.0 en Español. Análisis hidráulico y de calidad en redes de distribución de agua*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia (España).

García, J. M. (1998). *Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras*. Madrid, España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA de España.

García, J. (2000). Seguridad contra incendio. *Empresa Sintoplast*.

Greene, R. W. (1989). *Válvulas selección, uso y mantenimiento*. México: McGRAW-HILL.

Grupo REHISP. (2002). *EPANET 2.0 en Español*. Valencia: Inst. Ingeniería del Agua y M. A.

H. Perry, D. W. *Manual del Ingeniero Químico*. McGraw-Hill.

Harvard Business Essentials. (2004). *Gestión de proyectos*. Madrid, España: Ediciones Deusto.

J., K. (1989). *Bombas selección, uso y mantenimiento*. México: McGRAW-HILL.

Kenneth, J. (1989). *Bombas selección, uso y mantenimiento*. México: McGRAW-HILL.

Lledo, M. C. (2007). *Comparación entre distintos criterios de decisión (VAN, TIR y PRI)*. California: Masconsulting.

NFPA. (2004). Incendios ultra rápidos. *NFPA Latino*.

NFPA. (2001). *Manual de protección contra incendio*. España: Mapfre.



NFPA. (2001). *NFPA 15. Norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contraincendio*. Bogotá: Organización Iberoamericana de Protección Contraincendio OPCI.

NFPA. (2007). *NFPA 20. Norma para la instalación de bombas estacionarias de protección contraincendios*. Bogotá: Organización Iberoamericana de Protección Contraincendio OPCI.

NFPA. (2007). *NFPA 24. Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendios y sus accesorios*. Bogotá: Organización Iberoamericana de Protección Contraincendio OPCI.

NFPA. (2008). *NFPA 25. Norma para inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contraincendio a base de agua*. Bogotá: Organización Iberoamericana de Protección Contraincendio OPCI.

NFR. (2008). *NFR 128. Redes de agua contraincendio en instalaciones industriales terrestre, construcción y pruebas*. México: Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

NFR. (2004). *NFR 15. Protección de área y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles*. México: Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

NFR. (2006). *NFR 32. Sistemas de tuberías en plantas industriales, diseño y especificaciones*. México: Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

NFR. (2002). *NFR 95. Bombas centrífugas*. México: Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

Ramon, B. D. (2007). La protección contraincendio en la industria petrolera y petroquímica en Latinoamérica. *NFPA Journal Latinoamericano* .

Richardson, L. (2004). Evacuación por alarma contraincendio. *NFPA Latino* .



Sanders, B. K. (2004). El desafío primordial para salvaguardar la vida. *NFPA Latino* .

Syska, R. E. (1980). *Pump Engineering Manual*. Ohio: Flowserve.

Tyco. (s.f.). Tyco. FIRE & Building Products.

Valentinuzzi, R. M. (2000). La protección contraincendio en las empresas. *Estrucplan* .

Villarreal, A. I. (1988). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Bogotá: Norma.

### PAGINAS WEB

Grupo de redes hidráulicas y sistemas a presión (REDHISP). Instituto de Ingeniería del agua y medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Diciembre 2010. Disponible en:

<http://www.redhisp.upv.es/index1.php?idi=es>

Estrucplan es una empresa argentina con atención en servicio multidisciplinario que analizara en conjunto las problemáticas del microclima laboral y el medio ambiente. Marzo 2011. Disponible en:

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=35>

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=748>

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=73>

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=746>

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=775>

JOURNAL National Fire Protection Association (NFPA) Latinoamericano. Enero 2011. Disponible en:

[http://www.nfpajournal-latino.com/?activeSeccion\\_var=15](http://www.nfpajournal-latino.com/?activeSeccion_var=15)

[http://www.nfpajournal-latino.com/?activeSeccion\\_var=50&art=428](http://www.nfpajournal-latino.com/?activeSeccion_var=50&art=428)