



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**Propuestas para mejorar el funcionamiento hidráulico
del sistema de protección contra incendios (PCI) en
una instalación de la industria petrolera**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :

Héctor Patricio Fabián



MÉXICO, 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:

Presidente **Prof. Néstor Noé López Castillo**

Vocal **Prof. Juan Mario Morales Cabrera**

Secretario **Prof. Alfonso Durán Moreno**

1er. Suplente **Prof. Alejandro Zanelli Trejo**

2º. Suplente **Prof. Ezequiel Millán Velazco**

Torre de Ingeniería, tercer piso ala sur. Ciudad Universitaria. Facultad de Química,
UNAM

Asesor del tema:

Sustentante:

Dr. Alfonso Durán Moreno

Héctor Patricio Fabián



ÍNDICE

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	9
1.1.	Problemática	12
1.2.	Justificación	13
1.3.	Objetivo General	13
1.4.	Objetivos Particulares.	14
CAPÍTULO 2	FUNDAMENTOS TEÓRICO	15
2.1.	Generalidades de un sistema de protección contra incendios	16
2.2.	Fundamentos para la evaluación hidráulica	21
2.2.1.	Sistema de bombeo	22
2.2.2.	Red de distribución de agua (EPANET)	28
2.2.2.1.	Fundamentos del método de Hardy-Cross	35
2.3.	Fundamentos Económicos	42
2.4.	Ejemplo práctico del uso del EPANET	44
CAPÍTULO 3	CASO DE ESTUDIO	48
3.1.	Metodología	49
3.2.	Situación y operación actual del sistema PCI	51
3.2.1.	Sistema de bombeo	51
3.2.2.	Red de distribución de agua	53
3.3.	Simulación del estado actual del sistema PCI	54
3.4.	Procedimiento para la evaluación económica	56
CAPÍTULO 4	RESULTADOS	58
4.1	Sistema de bombeo	59
4.2	Red de distribución de agua	61
4.3	Problemática a resolver	61
4.4	Propuestas de mejora.	62
4.4.1.	Simulación del sistema PCI aplicando propuestas de mejora.	64
4.5	Análisis de propuesta de mejora	67
4.6	Evaluación económica	68
CAPÍTULO 5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75



5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	85



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Curva característica de una bomba (ITT Industries,2010).....	23
Figura 2	Relación entre presión y carga	23
Figura 3	Cabeza estática	25
Figura 4	Ley de continuidad de masa	35
Figura 5	Ley de conservación de energía	36
Figura 6	Diagrama de Moody (Mott, 2006).....	40
Figura 7	Ejemplo del método Hardy-Cross.	41
Figura 8	Red de distribución de agua potable de C.U.....	45
Figura 9	Modelo de la red de agua potable de Parral en EPANET.....	46
Figura 10	Modelo del sistema de riego en zacatecas en EPANET	47
Figura 11	Zonas de estudio de la red de contra incendios.....	49
Figura 12	Metodología del estudio a realizar para el sistema PCI.	50
Figura 13	Ubicación de la casa de bombas.	52
Figura 14	Diagrama coeficiente de rugosidad Hazen-Williams vs tiempo.....	53
Figura 15	Tramo de tubería a modificar en diámetro de 12 a 14 pulgadas.....	63
Figura 16	Tramo de tubería a sustituir en diámetro.	64
Figura 17	Propuesta 2 “Rehabilitación del sistema PCI”	70
Figura 18	Propuesta 3 “Renovación del sistema PCI”	72



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Determinación del tipo y la cantidad de bombas.....	18
Tabla 2	Accesorios de la red de contra incendios.....	19
Tabla 3	Formulas de pérdidas de carga para tubería llena (EPANET, 2002)..	29
Tabla 4	Coefficientes de rozamiento Hazen Williams (NFPA,1991)	30
Tabla 5	Descripción de componentes del sistema de distribución de agua.	32
Tabla 6	Características de bombas.....	52
Tabla 7	Determinación de flujos para la zona1.	54
Tabla 8	Determinación de flujos para la zona 2.	55
Tabla 9	Determinación de flujo para la zona 3.	55
Tabla 10	Consideraciones porcentuales de parámetros económicos.....	56
Tabla 11	Potencia de las bombas de la zona 1.	59
Tabla 12	Potencia de las bombas de la zona 2.	60
Tabla 13	Potencia de las bombas de la zona 3.	60
Tabla 14	Resultados caída de presión.....	61
Tabla 15	Volumen de agua asociado a fugas y tomas parásitas.....	65
Tabla 16	Ahorro de agua con implementación de propuesta.....	66
Tabla 17	Resultados propuesta 2.	66
Tabla 18	Resultados propuesta 3.....	67
Tabla 19	Comparación operativa de las propuestas.....	68
Tabla 20	Benéficos por ahorro de agua al año.....	69
Tabla 21	Costo asociado para la propuesta 1.....	69
Tabla 22	Los índices económicos de la propuesta 1.	69
Tabla 23	Costos asociados para la propuesta 2.....	70
Tabla 24	Ingresos por ahorro de agua.....	71
Tabla 25	Indicadores económicos propuesta 2.....	71
Tabla 26	Costos asociados a la propuesta 3.....	71
Tabla 27	Ingresos por ahorro de agua.....	72
Tabla 28	Indicadores económicos propuesta 3.	73
Tabla 29	Comparativa de los índices económicos de las dos propuestas.....	73
Tabla 30	Costos para los escenarios.....	74



Abreviaturas

Unidades	Significado
\$USD	Dólares
BHP	Brake horse power (potencia al freno)
D	Diámetro
GPM	Galones por minuto
HP	Horse power (Caballos de potencia o fuerza)
kW	Kilowatts
LPS	Litros por segundo
M	Metro
m.c.a.	Metro columna de agua
m ³	Metro cúbico
NFPA	National Fire Protection Association
°C	Grados Celsius
PCI	Protección contra incendios
PEAD	Polietileno de alta densidad
PRI	Periodo de recuperación de la inversión
S	Segundo
TIR	Tasa interna de retorno
VPN	Valor presente neto
WHP	Work horse power (potencia hidráulica)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



Muy probablemente el interés del ser humano por la seguridad contra el fuego comenzó a partir de su descubrimiento y primeras aplicaciones en beneficio del hombre. Sin embargo, estos beneficios a menudo se ven rebasados por la tremenda potencia destructiva de los incendios y/o explosiones, por lo que siempre ha existido un gran interés por comprender las causas que dan origen a estos sucesos y a las consecuencias resultantes de éstos de manera tal, que el hombre siempre ha desarrollado mecanismos para eliminar y minimizar los daños provocados por estos fenómenos. De esta forma, los sistemas de protección contra incendios no deben visualizarse como una instalación adicional y con un costo extra en los proyectos de inversión para nuevas plantas, sino como algo inherente al diseño de los equipos y/o del proceso, el cual proporciona seguridad dentro de la industria. Aunque el sistema de protección contra incendios es una herramienta eficaz para prevenir, controlar y mitigar incendios, su funcionalidad se ve afectada por el deterioro en los materiales de los equipos y accesorios que lo componen, esto debido a la corrosión que se desarrolla en los metales y el tiempo de vida útil de los mismos, lo que provoca una disminución en el funcionamiento del sistema de protección contra incendios.

En México, por lo general, las redes de distribución de agua de los sistemas de protección contra incendios (PCI) de la industria petrolera, en muchos de los casos se encuentran deteriorados debido a las condiciones ambientales (humedad, calidad del agua utilizada, entre otras) y condiciones operativas de la red (un inadecuado mantenimiento o falta del mismo), así como el tiempo de vida útil de los materiales utilizados en la red (corrosión de los metales), esto origina que el sistema de protección contra incendios esté operando en condiciones alejadas de su diseño, lo que pone en riesgo al personal y a las instalaciones.

En este trabajo de tesis se verificó el funcionamiento del sistema PCI en una industria petrolera mediante la evaluación hidráulica de la red de distribución de agua y un análisis al sistema de bombeo, con la finalidad de plantear distintas



propuestas técnicas para mejorar el funcionamiento del sistema PCI, conforme a los requerimientos de la NFPA 20 y norma NFR-016-PEMEX-2010.

En el capítulo 2 de este trabajo se proporcionan los fundamentos necesarios para el desarrollo de la evaluación hidráulica del sistema PCI mediante el software especializado Environmental Protection Agency (EPANET), así como las bases teóricas que se utilizarán para la evaluación económica de las distintas propuestas técnicas de mejora.

En el capítulo 3 se describen las características físicas y de operación, tanto actuales como en caso de un siniestro para sistema PCI que serán suministrados al simulador EPANET con el objetivo de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema, además en este capítulo se da una descripción de los procedimientos a realizar para evaluación económica de las distintas propuestas de mejora.

En el capítulo 4 se reportan los resultados obtenidos de la simulación realizada a la operación actual del sistema PCI con la finalidad de plantear y evaluar, tanto técnica como económicamente las distintas propuestas para mejorar el funcionamiento del sistema PCI.

En el capítulo 5 se realizará una discusión a partir de los resultados obtenidos con el propósito de determinar la mejor opción técnico-económica a implementar para optimizar el funcionamiento del sistema PCI. Asimismo en este capítulo se hacen recomendaciones para mantener en buenas condiciones el sistema PCI.



1.1. Problemática

En el caso de la industria petrolera mexicana los sistemas PCI se encuentran deteriorados o en mal estado, lo que provoca no cumplir con los requerimientos de presión y flujo en la zona de mayor demanda de líquido en caso de un siniestro, esto debido a un conjunto de situaciones que se mencionan a continuación:

- Tiempo de operación del sistema PCI mayor al tiempo de vida útil.
- Inadecuado mantenimiento del sistema PCI.

El tiempo de operación de la red de contra incendios, así como un inadecuado mantenimiento del mismo son factores importantes que afectan el buen funcionamiento de la red, debido a la corrosión e incrustación que se lleva a cabo en las tuberías, esto como consecuencia de a los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, entre otras sales presentes en el agua utilizada, lo que provoca fugas y entorpecimientos del flujo de agua.

De igual manera, el funcionamiento del sistema PCI está sujeto al diseño de la red de distribución de agua que lo conforma, de tal manera que la longitud de la tubería, así como el diámetro de la misma influyen en las pérdidas de presión en la red debido a la fricción, lo que implica en muchos casos operar a condiciones fuera de lo normal.



1.2. Justificación

La finalidad de este trabajo de tesis es plantear alternativas para mejorar el funcionamiento de la zona hidráulicamente más desfavorable del sistema PCI en caso de un siniestro, con el propósito de cumplir los requerimientos mínimos de presión y flujo en dicha zona, como lo indica la norma NRF-016-PEMEX-2010, así como explorar el área de oportunidad que existe en la industria petrolera para optimizar el uso de agua.

Los beneficios que se pueden obtener mediante la implementación de las distintas alternativas para mejora al sistema PCI son:

- Optimizar el funcionamiento del sistema PCI con el cual se conseguirá una mejor operación del sistema, así como un ataque oportuno en caso de un siniestro.
- En el aspecto económico, se alcanzaría un menor costo de operación del sistema PCI al reducir el consumo de agua de contra incendios mediante la eliminación de fugas y optimización del uso de agua para tomas de seguridad, esto debido a la escasez del agua que implica un costo cada vez más alto por el uso de este líquido
- En el aspecto ambiental, se lograría una mejor administración del uso del agua, lo que implica una menor extracción de agua de los cuerpos naturales.

1.3. Objetivo General

Analizar el funcionamiento de un sistema PCI de una refinería mexicana mediante un estudio hidráulico de la red de distribución de agua utilizando simuladores, con el objetivo de mejorar el sistema integral PCI y buscar



condiciones de operación en el punto hidráulicamente más desfavorable que cumpla con la normatividad vigente.

1.4. Objetivos Particulares.

- Simular el funcionamiento hidráulico actual de la red de distribución de agua del sistema PCI.
- Determinar los puntos de incumplimiento de flujo y presión del sistema contra incendios conforme a normatividad Interna y la UNT (unidad de normatividad técnica) de PEMEX.
- Plantear propuestas para mejorar el funcionamiento del sistema PCI.
- Realizar un análisis económico de las distintas propuestas.
- Seleccionar técnicamente y económicamente la mejor opción.

CAPÍTULO 2
FUNDAMENTOS
TEÓRICO



2.1. Generalidades de un sistema de protección contra incendios

De acuerdo a la normatividad interna de Pemex (NRF-128-PEMEX-2007), un sistema PCI se refiere al conjunto de componentes organizados que aseguran la integridad del personal e instalaciones, en caso de un incendio o un conato.

Por lo general, el sistema PCI está integrado por los siguientes elementos:

- a) Una fuente de abastecimiento de agua.
- b) Un sistema de bombeo.
- c) Una red de distribución para agua o red de tuberías.

Para entender mejor cada uno de los componentes que integran el sistema PCI se da una breve descripción.

Fuente de abastecimiento de agua

Las fuentes de abastecimiento de agua que el sistema PCI utiliza se clasifican de la siguiente manera:

- Fuente Primarias de Abastecimiento: Son aquellas que son exclusivas para el sistema de agua de contra incendios.
- Fuente Secundaria de Abastecimiento: Son aquellas que no son exclusivas para agua de contra incendios, sino que su utilización principal es otra.

Si la red de distribución de agua contra incendios se abastece de fuente de agua subterránea o superficial (un río, mar, lago, laguna o cuerpo de agua similar), se debe considerar a ésta como fuente primaria.

En aquellos lugares donde existan tanques o presa para almacenamiento de agua contra incendios (fuentes secundarias), el agua que se almacene deberá



ser tratada, o periódicamente renovada para evitar la acumulación de materia orgánica y sedimentos, estos tanques o presas deben localizarse en lugares seguros (**PEMEX, 2001**).

Sistema de bombeo

Todas las instalaciones acuerdo a la NFPA 20 (instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios) deben contar con sistemas de bombeo que suministren la carga y gastos requeridos para el servicio del sistema de contra incendios. El sistema de bombeo de acuerdo a la función que realiza se clasifica en:

- Bomba principal.
- Bomba de emergencia (combustión interna).
- Bomba reforzadora (jockey).

Las bombas principales están destinadas a suministrar el caudal y la presión que requiera la instalación contra incendios accionada con motor eléctrico

La bomba de emergencia al igual que la bomba principal suministra flujo y presión a la red de contra incendios, sin embargo, la segunda es accionada mediante un motor de combustión interna y sólo entra en función cuando se presenta:

- Falla en el suministro de energía eléctrica.
- Pérdida de presión considerable en la red de contra incendios.
- Aumento de demanda de flujo en caso de un siniestro.

Bomba jockey: De pequeña capacidad, son capaces de suministrar elevadas presiones, caudales moderados con potencias reducidas. Mantienen presurizada la instalación compensando las posibles pérdidas que puedan



originarse y evitando la puesta en marcha de la bomba principal. El arranque y paro es regulable y se efectúa de forma automática **(PEMEX,2010)**.

Las bombas para servicio de agua contra incendio principales deben contar con bombas redundantes, según se describe en la Tabla 1, que garanticen el mismo gasto y presión de descarga requeridos por el diseño que demanda la protección de la instalación que represente el riesgo mayor **(PEMEX, 2010)**.

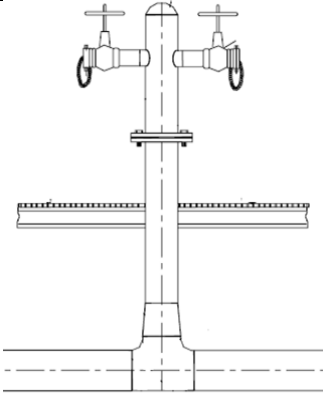


Tabla 1 Determinación del tipo y la cantidad de bombas.




Numero total de bombas principales requeridas	Numero y tipo de bombas principales	Numero de bombas redundantes (relevo) requeridas
1	Una eléctrica	Una de combustión interna
2	Dos eléctricas	Dos de combustión interna
3	Tres eléctricas	Tres de combustión interna
4	Cuatro eléctricas	Cuatro de combustión interna
1	Una de combustión interna	Una de combustión interna
2	Dos de combustión interna	Una de combustión interna
3	Tres de combustión interna	Dos de combustión interna
4	Cuatro de combustión interna	Dos de combustión interna

Red de distribución de agua

Es el conjunto de líneas de tubería que forma anillos que sirven exclusivamente para conducir el agua contra incendios a los puntos necesarios, en los cuales están conectados accesorios indispensables para la distribución de agua en la red, en la Tabla 2 se muestran los accesorios presentes en la red **(PEMEX, 2001)**.

Tabla 2 Accesorios de la red de contra incendios.

Equipo	Descripción	Figura
Hidrante	Dispositivo para la salida de agua, integrado a la red de agua para servicio contra incendios.	
Manómetro	Instrumento que sirve para medir la presión de los fluidos contenidos en sistemas cerrados.	
Válvula de seccionamiento	Accesorio que se utiliza para seccionar tramos de tubería para reparación, mantenimiento o emergencia del ducto y que se encuentra espaciada de acuerdo a su clase de localización.	

Equipo	Descripción	Figura
<p>Válvula de compuerta</p>	<p>Por su disposición es adecuada generalmente para control total, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo del fluido cuando está en apertura total, y por lo tanto se caracteriza por una baja caída de presión.</p>	
<p>Válvula check o de retención</p>	<p>Válvulas utilizadas para evitar el flujo inverso.</p>	
<p>Rociadores</p>	<p>El dispositivo de salida de agua esta normalmente cerrado y el elemento termosensible o ampolla, que forma parte del conjunto, detecta el fuego a una temperatura fija provocando a la vez la apertura</p>	

Equipo	Descripción	Figura
	del obturador.	
Mangueras contra incendios	Conducto flexible utilizado en operaciones contra incendio, para conducir agua en cuyos extremos lleva coples con cuerda hembra y/o macho.	
Accesorios	Conexiones en las tuberías como son codos, tee, reductores, etc.	

El presente trabajo se circunscribe a la red de distribución de agua y al sistema de bombeo del sistema PCI.

2.2. Fundamentos para la evaluación hidráulica

Para llevar a cabo el estudio hidráulico del sistema PCI hay que tomar en cuenta los componentes principales que lo conforman, tal es el caso del sistema de bombeo y la red de distribución de agua, los cuales se describen a continuación.



2.2.1. Sistema de bombeo

La particularidad principal de la bomba es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión, tales particularidades de la bomba se pueden representar gráficamente por medio de una curva característica que, normalmente contiene lo siguiente:

- Capacidad (expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo, como GPM).
- Carga total (expresada en pies o m.c.a.).
- Velocidad a la cual funciona la bomba (RPM).

Estas características se representan en forma de curvas, donde la carga contra capacidad a velocidad constante es llamada curva característica de la bomba (ver Figura 1). La curva también indica el caballaje al freno requerido y la eficiencia correspondiente de la bomba.

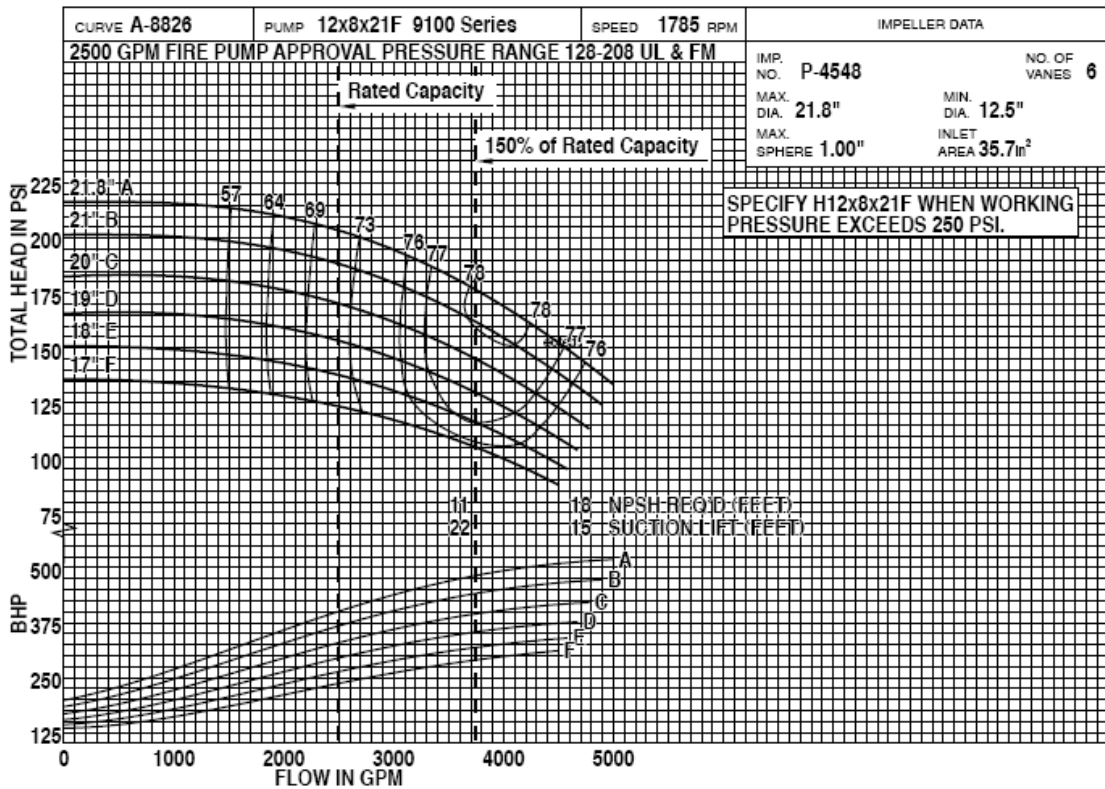


Figura 1 Curva característica de una bomba (ITT Industries,2010)

Para entender mejor el desempeño y la aplicación de la bomba, a partir de su curva característica es necesario comprender el significado de la cabeza y su relación con la presión. En la Figura 2 se visualiza la relación entre presión y cabeza.

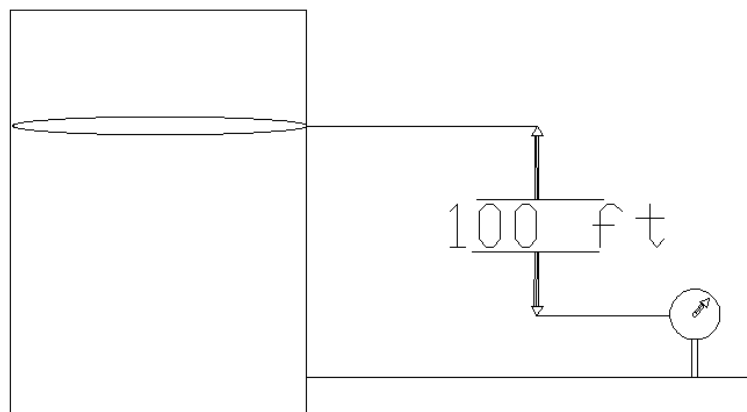


Figura 2 Relación entre presión y carga



Como se observa en la figura anterior, el medidor en la tubería debajo del tanque mide la presión creada por el peso del líquido, por lo tanto la presión se puede expresar como una altura o propiamente una altura de carga, aunque generalmente se utiliza el término de carga y se especifica en metros o pies (**Flowserve, 1980**).

La relación fundamental entre la presión (P) y la carga (H) está expresada en la ecuación 1:

$$P = w * H \quad (1)$$

Donde:

w = Peso específico del líquido.

H = Carga en (metros)

En el caso del agua, las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

$$P \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0.1 * H \text{ (metros)}$$

$$H \text{ (metros)} = 10 * P \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Por lo tanto, la presión o carga que transfiere la bomba al líquido para transportarlo de un punto a otro, a través del sistema de tuberías se llama cabeza o carga total del sistema.

La carga total del sistema es la suma de la carga estática más la carga debida a la fricción. Esta carga debe ser menor a la carga del sistema de bombeo.

La carga estática se define como la diferencia entre el nivel donde se encuentra el líquido y el nivel más alto al cual llega el líquido. Esta carga no toma en cuenta los recorridos horizontales sólo la altura vertical respecto al eje de la bomba (Figura 3).

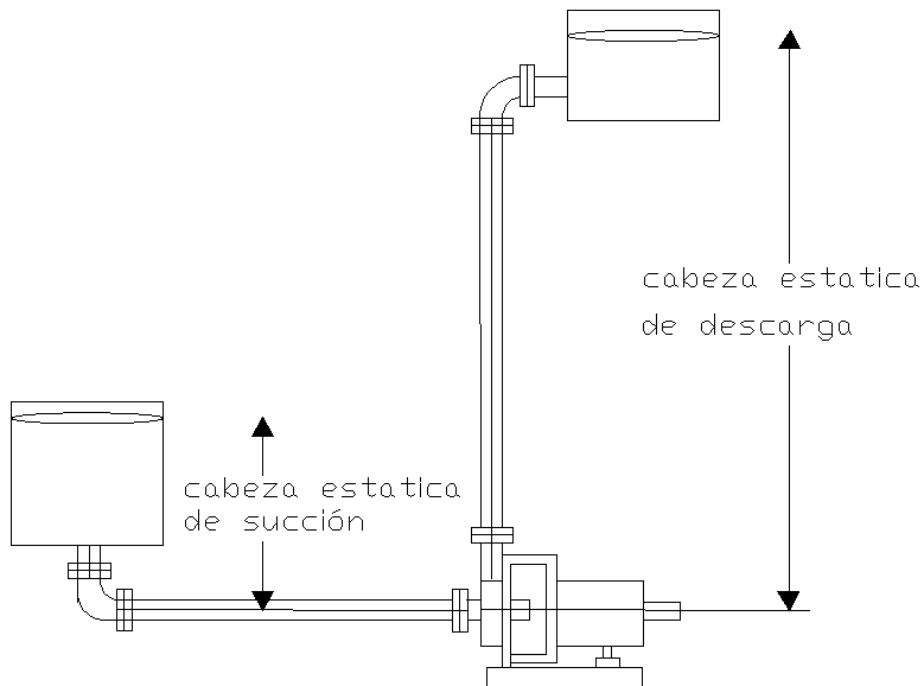


Figura 3 Cabeza estática

La **carga por fricción** es la energía necesaria para superar las pérdidas por fricción que se producen cuando el líquido fluye a través del sistema de tuberías. El valor de estas pérdidas varía con respecto a la longitud y diámetro de la tubería, con la cantidad de flujo y con la cantidad y tipos de accesorios. Las pérdidas por fricción en las tuberías se obtienen a partir de la ecuación de Darcy (ecuación 2), así como de la ecuación de Hazen Williams (ecuación 3)
Ecuación de Darcy para pérdidas por fricción:

$$H_f = \frac{f * L * V^2}{D * 2 * g_c} \quad (2)$$

Donde:

- H_f : Pérdidas de fricción en la tubería (unidades de longitud).
- f : Factor de fricción en la tubería (Adimensional).
- L : Longitud de la tubería (Unidades de longitud).
- V : Velocidad del fluido (Longitud/ Tiempo).
- D : Diámetro de la tubería Unidades de longitud).
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y $g_c = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/(\text{N}\cdot\text{s}^2)$.



Ecuación de Hazen Williams para las pérdidas por fricción:

$$H_f = \frac{10.674Q^{1.85}L}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \quad (3)$$

Donde:

Hf: Pérdida de carga (en m.c.a.).

Q: Flujo (en m³/s).

C: Coeficiente de rozamiento.

D: Diámetro de la tubería (en m).

Sin embargo, el balance hidráulico que se lleva a cabo en un sistema de bombeo se describe mediante la ecuación de Bernoulli, que es una forma de expresión de la ley de la conservación de la energía del flujo de fluidos en una tubería, ecuación (4).

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + W = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_f \dots (4)$$

Donde:

γ : Es el peso específico ($\gamma = \rho g$).

W : Es una medida de la energía que se le suministra al fluido (cabeza del sistema) [m].

Hf : Es una medida de la energía empleada en vencer las fuerzas de fricción a través del recorrido del fluido [m].

g = 9,81 m/s² y $\gamma_c = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/(\text{N}\cdot\text{s}^2)$



De la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{\overbrace{\frac{\Delta V^2}{2g}}^{\text{Cabeza Velocidad}}}{2g} + \underbrace{\frac{\Delta P}{\gamma}}_{\text{Cabeza Presión}} + \Delta Z + \overbrace{H_f}^{\text{Cabeza Fricción}} = W \dots (5)$$

Cada uno de los términos de esta ecuación tiene unidades de longitud. Así en la ecuación de Bernoulli los términos suelen llamarse alturas o cabezales de velocidad, de presión y cabeza.

Adicionalmente es necesario conocer los siguientes términos:

La potencia de accionamiento es la cantidad de energía eléctrica que consume el motor de la bomba y la transfiere a través de la flecha al impulsor de la misma.

$$P_{am} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_0 \cdot I \cdot F.P.}{1000} \dots (6)$$

Donde:

P_{am} : [kW]

V_0 : voltaje

I : Amperaje

F.P.: Factor de potencia

La potencia al freno (BHP) es la potencia suministrada el eje de la bomba por el motor eléctrico, turbina o polea.

$$BHP = \frac{Q_L \cdot H_D \cdot \rho}{367,000 \cdot \epsilon} \dots (7)$$

Donde:

BHP : [kw]

QL: Flujo [m3/s]

HD: Carga dinámica [m]

ϵ : Eficiencia o rendimiento mecánico de la bomba.

ρ = Densidad del agua 1000 [kg/m3]



La **potencia hidráulica (WHP)** es la energía por unidad de tiempo que se transfiere directamente al agua, esta energía se transforma en impulso proporcionando la fuerza suficiente, para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías y abastecer a las plantas.

$$WHP = \frac{Q_L * \rho * g * H_D}{1000} \dots (8)$$

Donde:

WHP : [Kw]

QL: Flujo [m3/s]

HD: Carga dinámica [m]

$\rho =$ 1000 [kg/m3]

$g =$ 9.81 [m/s2]

2.2.2. Red de distribución de agua (EPANET).

El simulador EPANET es un programa por computadora que permite realizar simulaciones del comportamiento hidráulico en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nodos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses.

Las Opciones Hidráulicas controlan el modo en que se van a llevar a cabo los cálculos hidráulicos son:

Unidades de Caudal. Si se eligen litros o metros cúbicos, entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades métricas.

Fórmula de Pérdidas. Las ecuaciones utilizadas para calcular las pérdidas de carga en función del caudal de paso por la tubería. Las opciones son: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning.

Todas las ecuaciones emplean la misma relación básica para calcular la pérdida de carga entre el nudo de entrada y el de salida:



$$h_f = Aq^B \quad (9)$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga (en m.c.a.),

q : Caudal (en m³/s).

A : Coeficiente de resistencia (s m⁻²).

B : Exponente del caudal.

En la Tabla 3 se listan las expresiones del coeficiente de resistencia y el valor del exponente del caudal para cada una de las fórmulas de pérdidas de carga indicadas anteriormente.

Tabla 3 Formulas de pérdidas de carga para tubería llena (EPANET, 2002).

Fórmula	Coeficiente de resistencia (A)	Expon. Caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674 C^{-1.852} d^{-4.781} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10.294 n^2 d^{-5.33} L$	2
Donde:	C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams	
	ϵ : Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach	
	f: Factor de fricción (depende de ϵ, d y q)	
	n: Coeficiente de rugosidad de Manning	
	d: Diámetro de la tubería (m)	
	L: Longitud de la tubería (m)	
	q: Caudal (m ³ /s)	

Para este caso de estudio, las pérdidas de carga en la tubería se determinarán con la ecuación de Hazen-Williams (ecuación 3), esto debido a que es de naturaleza empírica, lo que facilita el cálculo de pérdidas de energía en las tuberías, a través del método de Hardy Cross.



Por lo tanto, el coeficiente de rozamiento de Hazen-Williams que se utilizará para la evaluación hidráulica de la red, se obtiene de la Tabla 4.

Tabla 4 Coeficientes de rozamiento Hazen Williams (NFPA,1991)

TIPO DE TUBERÍA	Valor de C		
	1*	2**	3***
Hierro fundido sin revestimiento:			
10 años de antigüedad	110	90	75
15 años de antigüedad	100	75	65
20 años de antigüedad	90	65	55
30 años de antigüedad	80	55	45
50 años de antigüedad	70	50	40
Hierro fundido sin revestimiento, nuevo:		120	
Hierro fundido con revestimiento interior de cemento		140	
Hierro fundido con revestimiento interior de esmalte bituminoso		140	
De acero normalizado nuevo		140	
De acero remachado nuevo		110	
De amianto- cemento		140	
De hormigón armado		140	
* Agua ligeramente corrosiva.			
** Agua moderadamente corrosiva.			
*** Agua muy corrosiva.			

A continuación se describen las opciones hidráulicas del simulador EPANET que controlan el modo en que se van a llevar a cabo los cálculos hidráulicos.

Unidades de Caudal: Unidades en las cuales serán expresados los caudales en los nudos y los caudales de paso por las líneas. Si se eligen litros o metros cúbicos, entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades métricas. Si se eligen galones, pies cúbicos entonces las restantes magnitudes se expresarán en unidades convencionales US.

Fórmula de Pérdidas: Fórmula utilizada para calcular las pérdidas de carga en función del caudal de paso por la tubería. Las opciones son:

- Hazen-Williams



- Darcy-Weisbach
- Chezy-Manning

Debido a que cada fórmula contempla la rugosidad de las tuberías de forma diferente, el cambio de fórmula puede requerir la actualización de todos los coeficientes de rugosidad de las tuberías.

Informe de Estado: Especifica el volumen de información a incluir en el informe emitido tras finalizar una simulación.

Máximo Iteraciones: Número máximo de iteraciones permitido para resolver las ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema hidráulico, en cualquier instante de la simulación. Se toma el valor 40 como mínimo.

Peso Específico Relativo: Relación entre la densidad del fluido que circula por la red y la del agua a 4 ° C (adimensional).

Precisión: Criterio de convergencia utilizado para saber que se ha encontrado una solución para el conjunto de ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema. Las iteraciones finalizan cuando la suma de todas las variaciones de caudales dividida por la suma de todos los caudales circulantes es menor que este número. Se toma el valor 0.001.

Viscosidad Relativa. Relación entre la viscosidad cinemática del fluido y la del agua a 20 °C (sin unidades).

Lo anterior, expresará las unidades de los resultados obtenidos de la simulación. En la Tabla 5 se da una descripción de los datos mínimos a ingresar por componente al software para llevar a cabo la simulación(EPANET, 2002).



Tabla 5 Descripción de componentes del sistema de distribución de agua.

Componente	Descripción	Datos requeridos para la simulación	Resultado obtenido
Nudos de Caudal	Puntos de la red donde confluyen las tuberías o bien sus extremos, y a través de ellos el agua entra o sale de la misma (también pueden ser sólo puntos de paso).	<ul style="list-style-type: none">• La cota respecto a un nivel de referencia (usualmente el nivel del mar).• La demanda de agua (flujo que abandona la red).• La calidad inicial del agua.	<ul style="list-style-type: none">• La altura piezométrica (energía interna por unidad de peso del fluido, o bien suma de la cota más la altura de presión).• La presión.• La calidad del agua.
Embalse	Nudos que representan una fuente externa de alimentación, de capacidad ilimitada, o bien un sumidero de caudal.	No se requieren datos.	No existen resultados derivados del cálculo.
Depósitos	Nudos con cierta capacidad de almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none">• La cota de solera (para la cual el nivel del agua es cero).• El diámetro (o su geometría si no es cilíndrico).• El nivel del agua inicial, mínimo y máximo del agua.• La calidad inicial del agua.	<ul style="list-style-type: none">• La altura piezométrica (energía interna por unidad de peso del fluido, o bien suma de la cota más la altura de presión)• La presión.• La calidad del agua.



Componente	Descripción	Datos requeridos para la simulación	Resultado obtenido
Tubería	Líneas que transportan el agua de un nudo a otro.	<ul style="list-style-type: none">• Nudos inicial y final.• Diámetro.• Longitud.• Estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención).	<ul style="list-style-type: none">• El caudal de circulación.• La velocidad del flujo.• La pérdida de carga unitaria.
Bombas	Líneas que comunican energía al fluido.	<ul style="list-style-type: none">• Nudos de aspiración e impulsión.• Curva característica.	<ul style="list-style-type: none">• Flujo trasegado.• Incremento de carga comunicada al fluido.
Válvulas	Líneas que limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red.	<ul style="list-style-type: none">• Los nudos aguas arriba y aguas abajo.• Diámetro.• Consigna.	Flujo de paso Pérdida de carga.

Una vez determinadas las opciones hidráulicas y los requerimientos para llevar a cabo la simulación se mencionan los diferentes métodos que emplea EPANET para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de comportamiento hidráulico de las tuberías, para un instante dado. El método puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas desarrollado por Todini y Pilati, y más tarde Salgado, et al. (1988) decidieron llamarlo "Método del Gradiente". Métodos similares fueron propuestos anteriormente por Hamam y Brameller (1971) (el "Método Híbrido") y por Osiadacz (1987) (el "Método de Newton para Nudos y Mallas"). La única diferencia entre estos métodos es la forma en que se actualizan los caudales de línea, después de haber encontrado una nueva solución provisional para las alturas en los nudos. Dado que la aproximación de Todini es la más simple, ésta fue la elegida para desarrollar EPANET (**EPANET, 2002**).



Sin embargo, aunque EPANET utiliza el método híbrido de nudos y mallas para resolver el comportamiento hidráulico de las redes de distribución de agua, este método tiene su origen de cálculo básico en el método aproximaciones sucesivas de Hardy-Cross. El cual está basado en dos leyes:

- Ley de la continuidad de masa en los nodos.
- Ley conservación de la energía en los circuitos.

El planteamiento de esta última ley implica el uso de la ecuación de pérdida de carga o de pérdida de energía de Hazen-Williams o, bien, la ecuación de Darcy-Weisbach.

La ecuación de Hazen-Williams, de naturaleza empírica, ha sido empleada para calcular las pérdidas de carga en los tramos de tuberías, en la aplicación del método Hardy-Cross. Ello obedece a que supone un valor constante para el coeficiente de rugosidad C , de la superficie interna de la tubería, lo cual hace más simple el cálculo de las pérdidas de energía.

La ecuación de Darcy-Weisbach, de naturaleza racional y de uso universal, casi nunca se ha empleado acoplado al Método de Hardy-Cross, porque involucra el coeficiente de fricción f , el cual es función de la rugosidad k , de la superficie interna del conducto y el número de Reynolds Re , del que a su vez depende de la temperatura y viscosidad del agua y del caudal del flujo de las tuberías. Como el método de Hardy-Cross es un método iterativo que parte de la suposición de los caudales iniciales en los tramos, satisfaciendo la Ley de la continuidad de masa en los n nudos, los cuales se corrigen sucesivamente con un valor particular ΔQ , en cada iteración se deben de calcular los caudales actuales o corregidos en los ramos de la red. Ello implica el cálculo de los valores de Re y f de todos y cada uno de los tramos de tubería de la red, lo cual sería inaceptable, ya que el cálculo del coeficiente de fricción f es también iterativo.

A continuación se describe el método de Hardy – Cross, con la finalidad de comprender los cálculos que realiza el simulador en los nodos y mallas de una red de tuberías.



2.2.2.1. Fundamentos del método de Hardy-Cross

El método de aproximaciones sucesivas se fundamenta en las dos leyes siguientes:

- a. **Ley de Continuidad de Masa en los nudos:** En una red hidráulica la suma algebraica de los caudales en un nudo debe ser igual a cero (Figura 4) (Brière, 2005).

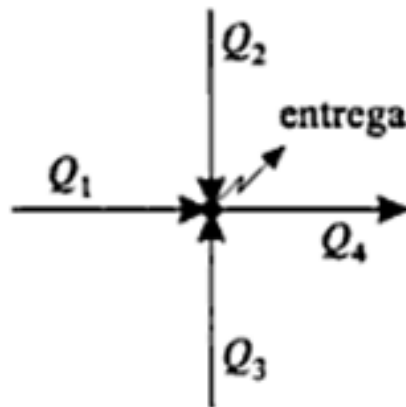


Figura 4 Ley de continuidad de masa

$$\sum Q_i = 0 \quad (10)$$

Donde:

Q_i : Caudal a través de la tubería que parte del nudo "i" o que fluye hacia dicho nudo.

- b. **Ley de Conservación de la Energía:** La suma algebraica de las pérdidas de energía en los tramos que conforman un anillo cerrado debe ser igual a cero. Ver Figura 5

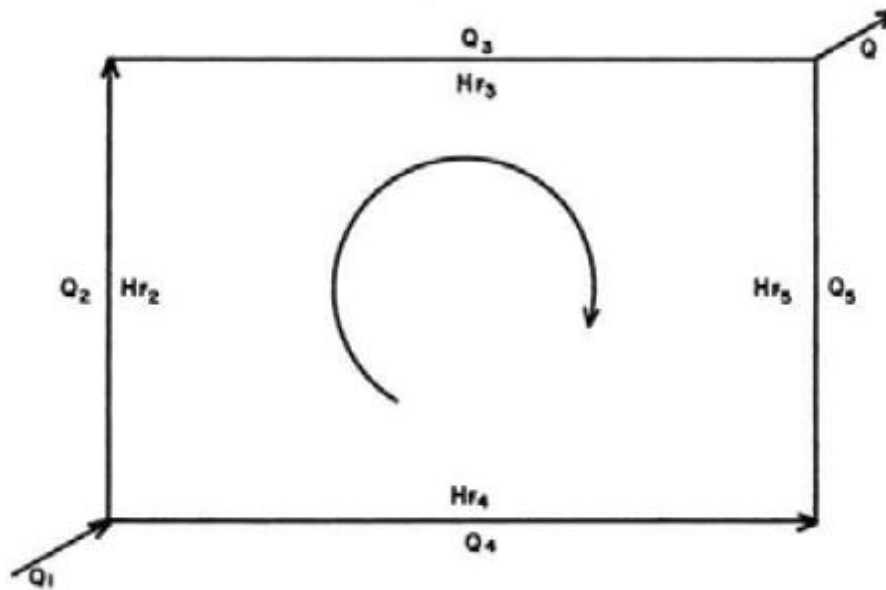


Figura 5 Ley de conservación de energía

$$\sum (h_f)_i = 0 \quad (11)$$

Donde:

hf: Pérdida de carga por fricción en el tramo de tubería i

Ecuaciones básicas

Las ecuaciones de Hazen-Williams son las siguientes:

$$V = 0.355CD^{0.63}S_f^{0.54} \quad (12)$$

$$S_f = \frac{h_f}{L} \quad (13)$$

Donde:

V: Velocidad del flujo, m/s

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

D: Diámetro de la tubería.

Sf: Pérdida unitaria de carga (m/m).

hf: Pérdida de carga en metros (m).

L: Longitud de tramo de tubería en metros (m).



Por continuidad, $Q = VA$, donde A es el área transversal de flujo.

Por lo tanto:

$$Q = 0.355CD^{0.63} \left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.54} \frac{\pi D^2}{4} \quad (14)$$

De lo cual resulta:

$$h_f = \left(\frac{3.5866}{cD^{2.63}}\right)^{1.851} LQ^{1.851} \quad (15)$$

Donde:

Q : Caudal del flujo en el conducto en (m^3/s).

La ecuación anterior se puede transformar de tal manera que el diámetro se exprese en pulgadas y el caudal en L/s, obteniendo la siguiente ecuación:

$$h_f = \left(\frac{56.23}{c}\right)^{1.851} \frac{L}{D^{4.87}} Q^{1.851} \quad (16)$$

Definiendo α como:

$$\alpha = \frac{1}{D^{4.87}} \left(\frac{56.23}{c}\right)^{1.851} \quad (17)$$

Resulta:

$$h_f = \alpha LQ^{1.851} \quad (18)$$

La ecuación de Darcy-Weisbach expresa, en términos de velocidad de flujo, lo siguiente:

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (19)$$



Donde:

f: Coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach

g: Constante de la gravedad (m/s²)

En términos del caudal se expresa:

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad (20)$$

Definiendo β como:

$$\beta = \frac{8f}{\pi^2 g D^5} \quad (21)$$

Resulta:

$$h_f = \beta L Q^2 \quad (22)$$

En general, la ecuación de pérdidas de carga por fricción expresa.

$$h_f = r L Q^n \quad (23)$$

Donde:

r: Coeficiente de resistencia, cuyo valor depende del tipo de ecuación empleada para el cálculo.

n: Exponente del caudal que depende de la ecuación de resistencia empleado

n= 1.851, para la ecuación de Hazen-Williams.

n= 2.0, para la ecuación de Darcy-Weisbach.

El coeficiente de fricción f de las ecuaciones de Darcy-Weisbach, se calculan con la ecuación de Colebrook-White, que expresa lo siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (24)$$



Donde:

k: Coeficiente de rugosidad de la tubería en (mm)

D: Diámetro de la tubería en (mm)

Re: Número de Reynolds, adimensional.

Nótese que la relación (k/D) es la rugosidad relativa y es adimensional.

El campo de aplicación de esta ecuación se encuentra tanto en la zona de transición de flujo laminar a flujo turbulento como en flujo turbulento. Para la obtención de f es necesario el uso de métodos iterativos. Otra forma más sencilla y directa de obtener el valor de f es hacer uso del diagrama de Moody (**Mott, 2006**).

En el caso de flujo laminar el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds. Para flujo turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa (ver Anexo.10) de la tubería, por eso, en este caso, se representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro k/D , donde k es el valor de la rugosidad absoluta, es decir la longitud (habitualmente en milímetros) de la rugosidad directamente medible en la tubería.

En la Figura 6 se puede observar el aspecto del diagrama de Moody.

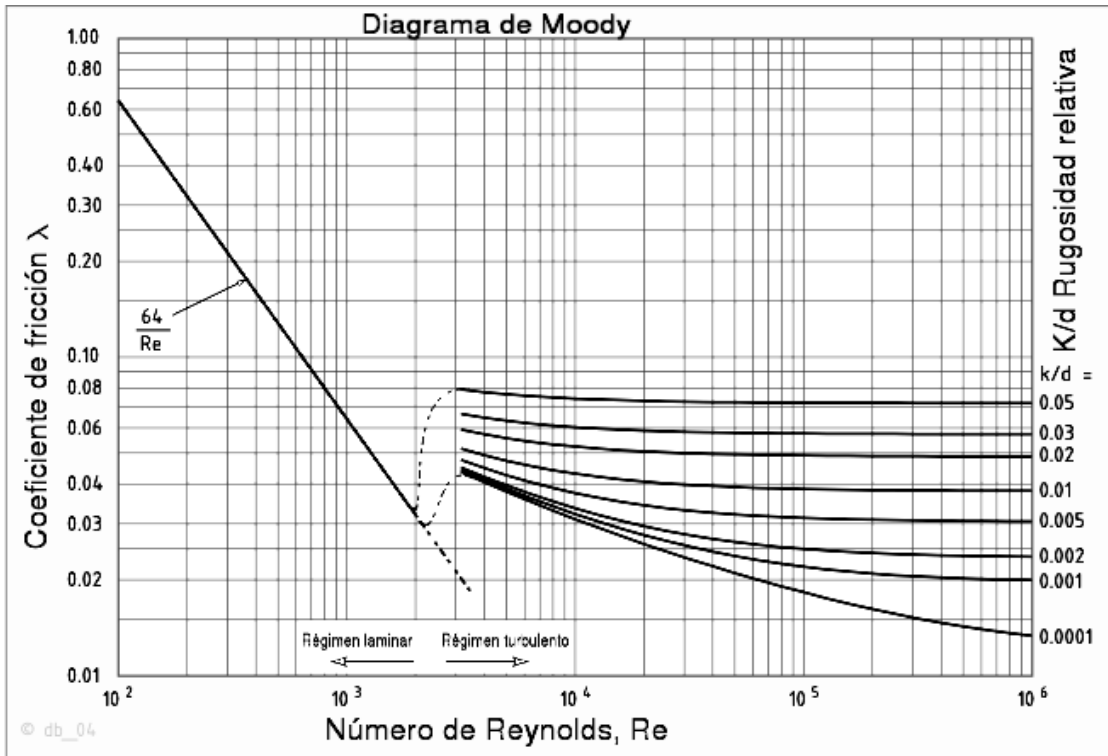


Figura 6 Diagrama de Moody (Mott, 2006).

A su vez, el número de Reynolds Re se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (25)$$

Donde:

- v: Velocidad del flujo en (m/s).
- ρ : Densidad del fluido (agua) en (kg/m^3).
- μ : Viscosidad dinámica del tubo en (kg/ms).
- D: Diámetro del conducto en (m).

El método de Hardy-Cross corrige sucesivamente, iteración tras iteración, los caudales en los tramos.

A continuación se da un resumen de los pasos a seguir para la implementación de este método:



1. Numerar los tramos de tuberías y asignarles un sentido (esta elección es arbitraria).
2. Elegir las mallas y un sentido de recorrido.
3. Asignar un valor numérico a cada caudal de forma que se cumpla la conservación de la masa en cada nodo. El signo del caudal es negativo si se opone al sentido de recorrido de la malla, ver Figura 7.

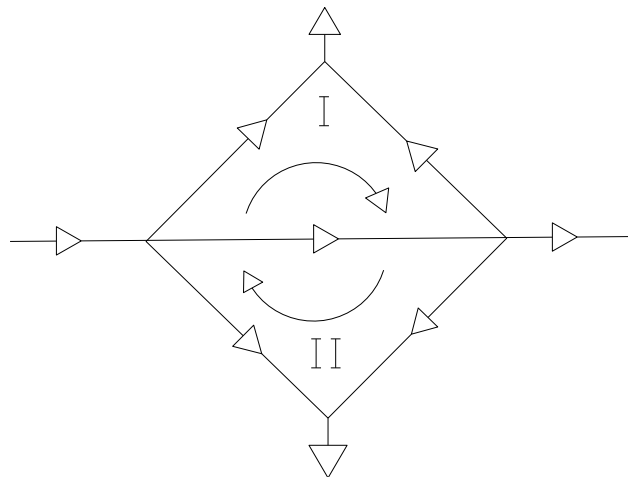


Figura 7 Ejemplo del método Hardy-Cross.

4. Calcular pérdida de carga en metros (m) con la ecuación (9) ó (10)
5. Calcular la corrección a los caudales de cada malla con la siguiente ecuación general:

$$\Delta Q = -\frac{\sum h_f}{n \sum \frac{h_f}{Q}} \quad (26)$$

6. Aplicar la corrección de cada malla a los caudales que la componen. En el caso de que un caudal pertenezca a dos mallas, la corrección de otras mallas tendrá signo negativo si el recorrido de la malla tiene distinto sentido que en la primera malla
7. Repetir iteración hasta que las corrección ΔQ (ecuación 24) tienda a cero (**Valiente, 2007**).



2.3. Fundamentos Económicos

La evaluación económica de un proyecto de inversión, sirve para obtener los juicios necesarios para tomar la decisión de ejecutar o no el proyecto, respecto a las condiciones que ofrece dicho proyecto. Sin embargo, para la toma de decisión de la inversión correcta, es necesario determinar todos los costos e inversiones, flujos de efectivo esperados del proyecto y seleccionar adecuadamente la tasa de rendimiento que se desea ganar. Los conceptos presentados en este apartado están referidos a la obra de **LELAND (1999)**.

Para la toma de decisiones se utilizan diferentes criterios de evaluación económica, los que se incluyen en este trabajo son:

VPN: El Valor Presente Neto simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. Para calcularlo, sólo se trasladan los flujos de los años futuros al tiempo presente y se le resta la inversión inicial, que ya está en tiempo presente.

La ecuación que se utiliza para evaluar el valor presente neto es la siguiente:

$$VPN = S_0 + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{(1+i)^t} \quad (27)$$

Donde:

VPN: Valor presente neto.

S₀: Inversión inicial.

S_t: Flujo de efectivo neto del periodo t.

n: Número de períodos de vida del proyecto.

i : Tasa de recuperación mínima atractiva.

t : Periodo de tiempo.

Se espera que el resultado de este análisis sea un valor del VPN positivo, esto significa que habrá ganancia más allá de haber recuperado el dinero invertido. Por el contrario, si el VPN es negativo, las ganancias no serían suficientes para recuperar el dinero invertido.



TIR: La tasa interna de retorno (TIR) está definida como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, es decir, la tasa de rendimiento de una propuesta de inversión, es aquella tasa de interés i que satisface la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=0}^n \frac{S_i}{(1+i)^t} = 0 \quad (28)$$

Donde:

Si: Flujo de efectivo neto del periodo t .

n : Número de períodos de vida del proyecto.

i : Tasa de interés

t : Periodo

PRI: El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es el número de años que tomará el proyecto para recuperar la inversión inicial. Para calcular el PRI se utiliza un método de interpolación entre los valores de VPN negativo y el VPN positivo. La desventaja que presenta este método es que sólo considera los flujos de efectivo hasta el periodo de recuperación.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los conceptos utilizados en la etapa económica para determinar la alternativa más rentable.

Costo variable de producción. Se denominan de esta manera porque dependen del volumen de producción de gua contra incendios utilizada, este concepto engloba el costo de materia prima y de los químicos para el tratamiento del agua.

Costo de materia prima. Costo asociado al aumento de flujo en el sistema de protección contra incendios.



Costo de químicos. Este costo se compone del consumo de cloro y otros químicos necesarios para inhibir el crecimiento biológico y estabilizar el pH del agua de contra incendios.

Costo de servicios auxiliares. Considera el consumo de energía eléctrica.

Costos de mantenimiento. Son los relacionados con el costo del mantenimiento (material y mano de obra).

Gasto fijo. Son los desembolsos que no se recuperan, se denominan fijos debido que no depende de la producción.

Depreciación. Se debe a la pérdida del valor de los activos tangibles (equipo, vehículos, edificaciones y maquinaria), debido a la edad, uso y obsolescencia durante su vida útil. Aunque un activo puede estar en excelente condición de trabajo, el hecho de que valga menos a través del tiempo se considera en los estudios de evaluación económica.

Factible: Dícese de la inversión que se está realizando es justificada por la ganancia que se generará.

Viable: Dícese de lo que reúne las condiciones necesarias para realizarse o llevarse a cabo.

Ingreso: Ganancia económica percibida por el ahorro de agua mediante la eliminación de fugas.

2.4. Ejemplo práctico del uso del EPANET

El desarrollo de este trabajo se realizó con la ayuda del simulador EPANET, sin embargo, se citan algunos ejemplos prácticos del uso del software con la finalidad de avalar su funcionamiento en proyectos que no estén relacionados con la parte académica.

El estudio realizado por el PUMAGUA en el 2008 sobre la red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria es un claro ejemplo de la aplicación y funcionamiento del software EPANET ya que con base a éste se determinó el funcionamiento de la red de distribución de agua potable, la cual tiene una extensión aproximada de 54 kilómetros y diámetros de tubería que varían de 1 a 20 pulgada de diámetro en diversos materiales (acero, hierro fundido, PVC, PEAD y asbesto) (Figura 8) (Villareal, 2009).



Figura 8 Red de distribución de agua potable de C.U.

Otro ejemplo del uso del software es el “**proyecto de eficiencia electromecánica, física, comercial y de la operación hidráulica de la red de agua potable de Parral, Chihuahua**”, desarrollado por la junta municipal de agua y saneamiento (JMAS) de la ciudad de Parral, Chih. Con el objetivo de incorporar fuentes alternas para garantizar la demanda de agua potable, tanto actual como futura. El modelo de simulación de la red de distribución hidráulica se observa en la Figura 9 (JMAS,2007).

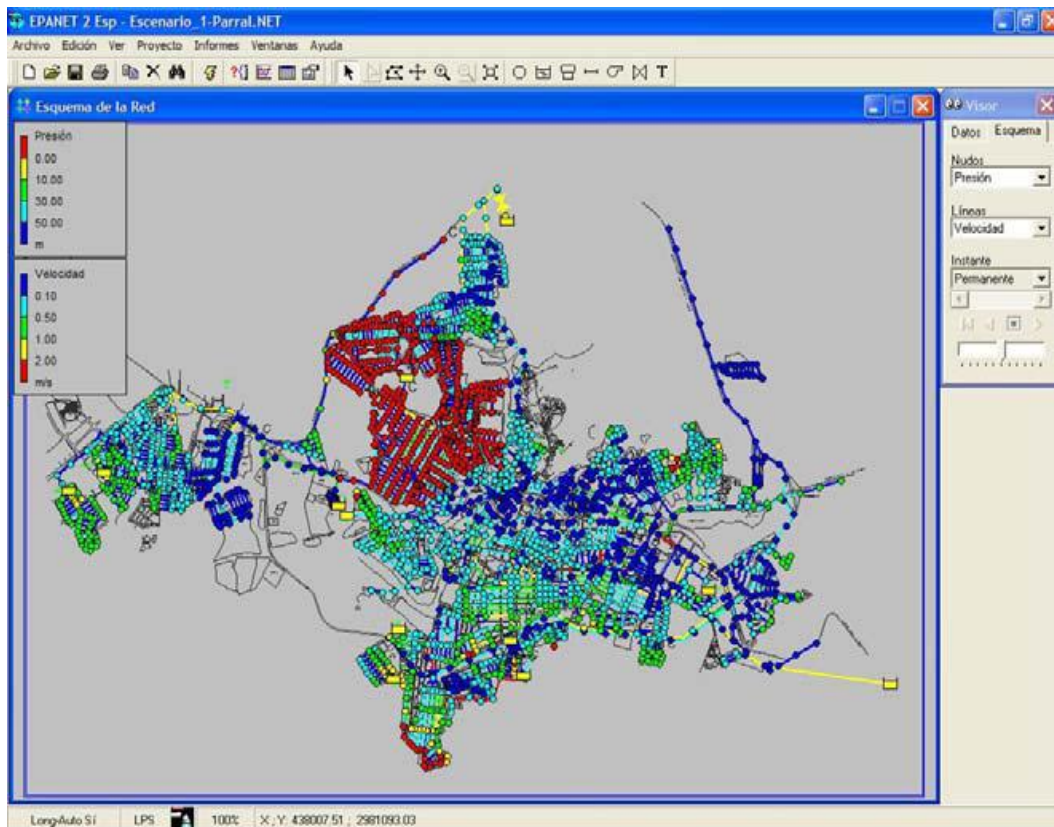


Figura 9 Modelo de la red de agua potable de Parral en EPANET.

Proyecto ejecutivo del sistema de riego a baja presión de la presa de almacenamiento calera, Zacatecas

El proyecto consistió en el diseño de un sistema de baja presión para aprovechar un gasto de 170 LPS de la presa calera, que abastece una superficie de 190 hectáreas, el funcionamiento del sistema de riego se evaluó mediante el uso del software EPANET. El modelo de simulación se observa en la Figura 10 (UAZ, 2007).

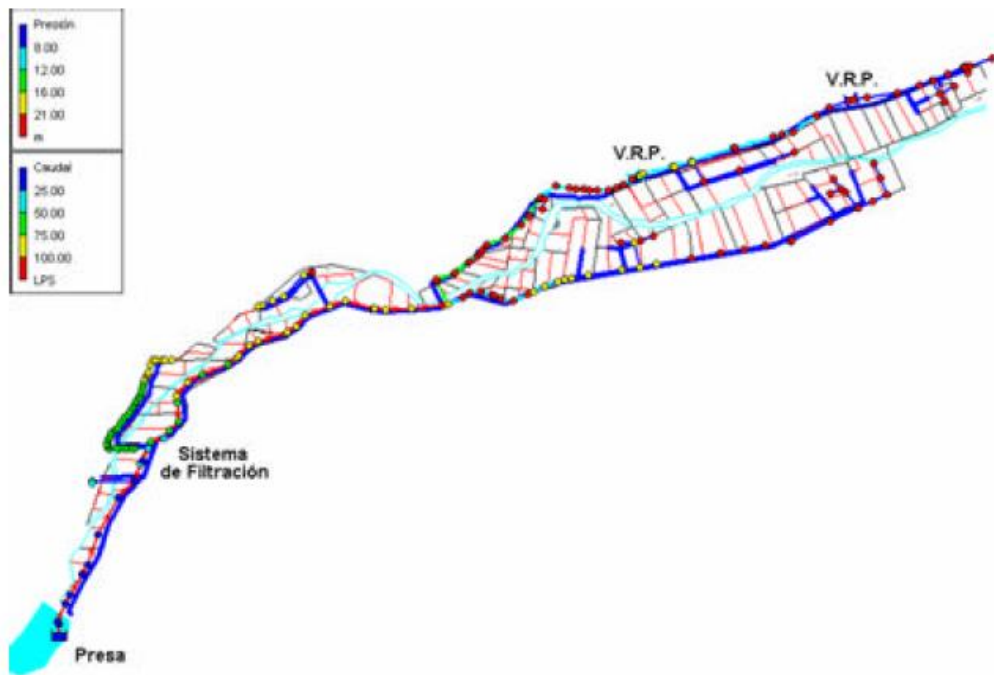


Figura 10 Modelo del sistema de riego en zacatecas en EPANET

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDIO

3.1. Metodología

En el presente trabajo se realizó un análisis hidráulico al sistema PCI de una industria petrolera mexicana, la cual tiene una vida útil de 28 años y está constituida por tubería de 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 y 24 in de diámetro para la red de distribución de agua, así como 2 casas de bombas, las cuales son alimentadas por la bocatoma “Las Pilas”, la finalidad de este análisis es determinar la zona hidráulicamente más desfavorable del sistema PCI, con el objetivo de plantear distintas propuestas técnico económicas que mejoren el funcionamiento del sistema PCI en la zona más desfavorable

Las zonas a analizarán en este trabajo son:

- Zona 1: Con la acción de las bombas P-106 A/B
- Zona 2: Con la acción de las bombas P- 106 A/B
- Zona 3: Con la acción de las bombas P- 106 A/B

En la Figura 11 se muestran las zonas de estudio



Figura 11 Zonas de estudio de la red de contra incendios.

La metodología a seguir para llevar a cabo el estudio de la situación actual del sistema PCI, así como las propuestas de mejorar se esquematiza en la Figura 12

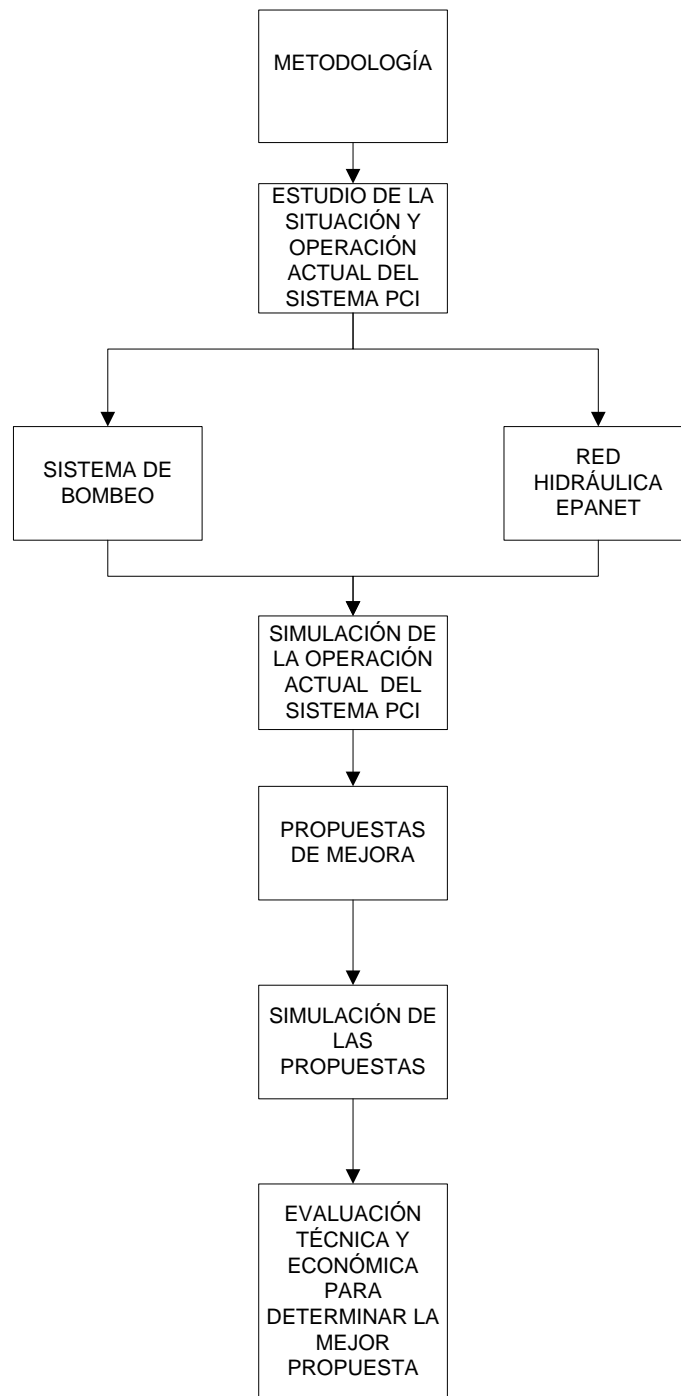


Figura 12 Metodología del estudio a realizar para el sistema PCI.



3.2. Situación y operación actual del sistema PCI

Las condiciones en las que opera el sistema PCI son las siguientes:

- La red de contra incendios opera a una presión de 7.5 kg/cm^2 (75 m.c.a.) en estado normal de operación.
- La secuencia de activación y operación de las bombas contra incendios es manual.
- El flujo de agua utilizada por el sistema PCI es de $3,641 \text{ m}^3/\text{día}$, donde se consideran fugas y tomas de seguridad. De donde:
 - ◆ 9.35 GPM ($51 \text{ m}^3/\text{día}$) por concepto de fugas.
 - ◆ 500.3 GPM ($2,727 \text{ m}^3/\text{día}$) de tomas parásitas y/o de seguridad.
 - ◆ 158.3 GPM ($863 \text{ m}^3/\text{día}$) del agua utilizada en tomas y fugas que no son visibles y/o medibles en tuberías enterradas.

Nota: La información anterior se obtuvo a partir de los datos históricos de las mediciones de flujo realizadas en las tuberías que suministran agua para el sistema contra incendios (Anexo.1).

Las condiciones de presión y flujo antes mencionadas hacen referencia a la operación normal actual del sistema PCI. Sin embargo, las condiciones de operación del sistema de bombeo, así como el estado físico de la red de distribución de agua en caso de un siniestro, los cuales servirán para realizar la evaluación hidráulica se describen a continuación.

3.2.1. Sistema de bombeo

El sistema de bombeo para este caso de estudio, está interconectado de acuerdo a la filosofía de operación del sistema contra incendios y se puede operar un evento con cualquiera de las dos casas de bombas. En la Figura 13 se muestra la ubicación de las casas de bombas; las bombas P106 A/B son el sistema principal de bombeo para el sistema PCI del presente caso de estudio.

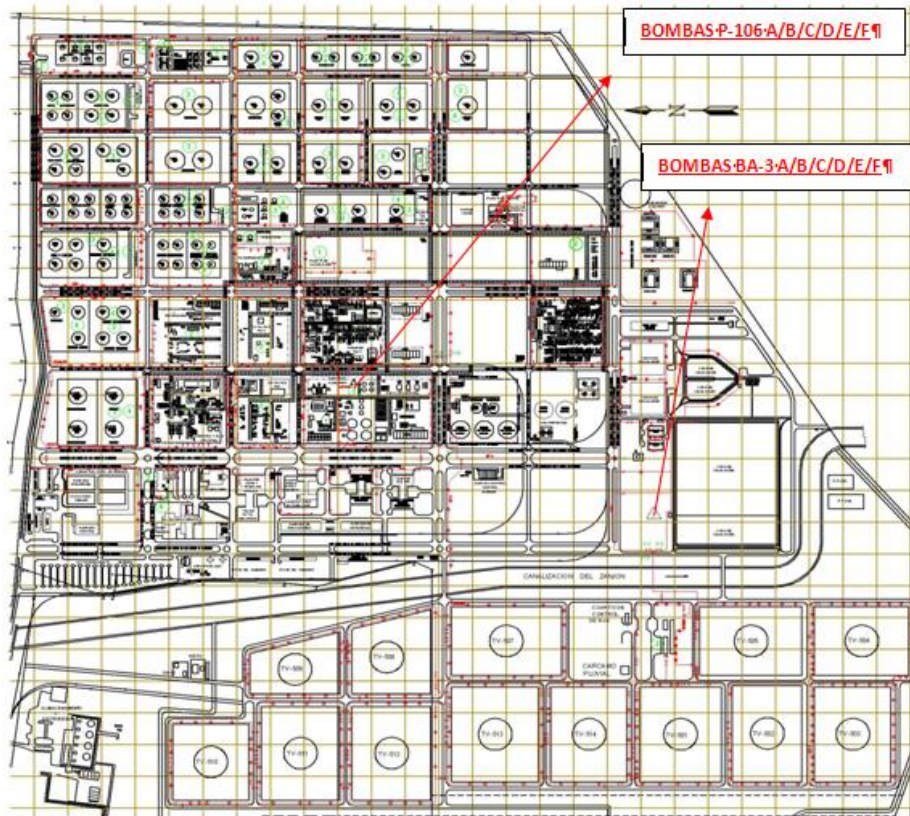


Figura 13 Ubicación de la casa de bombas.

A continuación en la Tabla 6 se describen las características generales de las bombas principales del sistema de protección contra incendios. Para la realización de este estudio sólo se consideran las bombas P-106A/B para la ejecución de la simulación.

Tabla 6 Características de bombas.

TAG Bomba	Clasificación	Potencia Motor	Flujo nominal	Presión nominal
P-106A	Principal (centrífuga) con Motor Eléctrico	700 HP	3000 GPM	12 kg/cm ²
P-106B	Principal (centrífuga) con Motor Eléctrico	500 HP	3000 GPM	12 kg/cm ²



3.2.2. Red de distribución de agua.

La red de distribución de agua de contra incendios se encuentra conectada al equipo de bombeo por medio de un cabezal de descarga de 20 pulgadas de diámetro y está diseñada en diferentes diámetros dentro de los principales están 20, 18, 16, 14 y 12 pulgadas.

Cabe destacar que la red de contra incendios tiene una vida útil de aproximadamente 28 años, a partir de lo anterior, el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams se obtiene mediante la gráfica coeficiente de rugosidad (C) vs tiempo (años), la cual se representa en la Figura 14 (NFPA, 1991).

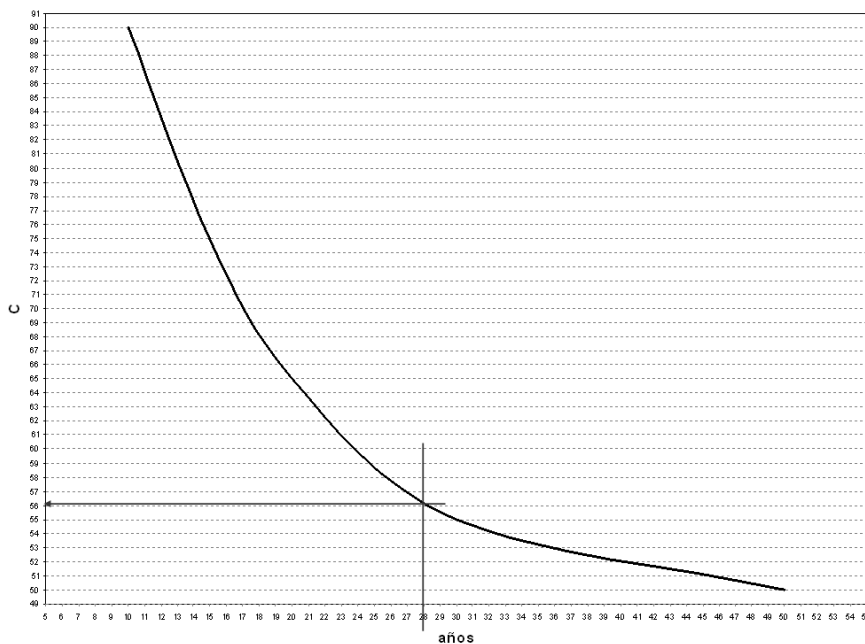


Figura 14 Diagrama coeficiente de rugosidad Hazen-Williams vs tiempo.

De lo anterior se determinó que el coeficiente de rugosidad Hazen-Williams de las tuberías de la red de distribución de agua para el sistema PCI es de 56, el cual se utiliza para realizar la simulación hidráulica.



3.3. Simulación del estado actual del sistema PCI

La simulación hidráulica de la red de distribución de agua del sistema PCI, se realizó con base en la siguiente información:

- Diagnóstico del DFP del sistema PCI.
- Diámetros y longitudes de tubería que conforman el sistema PCI.
- Flujo volumétrico requerido en cada zona de estudio.
- Flujo volumétrico de descarga de cada bomba.
- Sistema de unidades a utilizar en la simulación.
- Ecuación de Hazen-Williams para determinar las caídas de presión en la tubería.

A partir de los datos de sistema de bombeo y de la red de distribución de agua se realizan diferentes corridas en el simulador con la finalidad de determinar la zona hidráulicamente más desfavorable. A continuación se mencionan los flujos de agua requeridos por cada zona de estudio.

- La zona 1: Con la operación de las bombas P106 A/B y con un consumo total de 6,797 GPM (428.8 LPS), la demanda de líquido se determinó con respecto a la Tabla 7.

Tabla 7 Determinación de flujos para la zona1.

Cálculo de flujo requerido para la simulación de la zona 1					
Equipo	Cantidad	GPM	LPS	Total GPM	Totales LPS
Hidrante 2 tomas	5	250	15.77	1250	78.85
Hidrante 5 tomas	4	500	31.54	2000	126.16
Monitor	1	500	31.54	500	31.54
Toma camión	1	880	55.51	880	55.51
Anillo de enfriamiento de 1 esfera	1	2167	136.7	2167	136.7
Total	12			6797	428.76
Bombas operando	2	3000	189.27	6000	378.54



- La zona 2: Con la operación de las bombas P106 A/B y con un consumo total de 6,117 GPM (385.92 LPS), la demanda de líquido se determinó con respecto a la Tabla 8.

Tabla 8 Determinación de flujos para la zona 2.

Cálculo de flujo requerido para la simulación de la zona 2					
Equipo	Cantidad	GPM	LPS	Total GPM	Totales LPS
Hidrante 5 tomas	2	500	31.55	1000	63.09
Monitor	2	500	31.55	1000	63.09
Toma camión	1	880	55.52	880	55.52
Tanque de 100,000 bls.	1	2737	172.68	2737	172.68
Inyección superficial	1	500	31.55	500	31.55
Total	7			5117	385.92
Bombas operando	2	3000	189.27	6000	378.54

La zona 3: Con la acción de las bombas P106 A/B y con un consumo total de 6,497 GPM (409.9 LPS), la demanda de líquido se determinó con respecto a la Tabla 9

Tabla 9 Determinación de flujo para la zona 3.

Cálculo de flujo requerido para la simulación de la zona 3					
Equipo	Cantidad	GPM	LPS	Total GPM	Totales LPS
Hidrante 2 tomas	6	250	15.77	1500	94.64
Toma camión	2	880	55.52	1760	111.04
Tanque de 200,000 bls.	1	2737	172.68	2737	172.68
Inyección superficial	1	500	31.55	500	31.55
Total	10			6497	409.9
Bombas operando	2	3000	189.27	6000	378.54

Nota: la demanda de líquido que se observan en las tablas anteriores se obtienen de la norma **NFPA 14: Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems, 2007 clausula 7.10.1.1.2 y 7.10.1.1.3**

Los datos de flujo mostrados en las tablas anteriores, hacen referencia a la demanda de flujo de los distintos equipos en caso de un siniestro, los cuales serán suministrados al simulador para llevar a cabo la evaluación hidráulica de la red.



3.4. Procedimiento para la evaluación económica.

Para realizar la evaluación económica de las distintas propuestas de mejora de sistema PCI se llevará a cabo el siguiente procedimiento.

- Se calculó la inversión inicial para cada una de las propuestas.
- Se estimaron los parámetros necesarios para utilizar los métodos de análisis tomando como referencia los porcentajes de la Tabla 10.

Tabla 10 Consideraciones porcentuales de parámetros económicos

Parámetro	Porcentaje con respecto a la inversión inicial
Costos de operación	1
Gastos fijos	3
Depreciación	5
Capital de trabajo	0

Nota: Los porcentajes de los parámetros económicos se obtuvieron a partir de datos históricos de costos de equipos, con los cuales se realiza el estimado de inversión para las propuestas planteadas.

- Se calculan los ahorros de agua cruda de acuerdo a los precios establecidos dentro de la industria petrolera, para este caso de estudio el precio de agua cruda es de \$0.52USD/ m³ (7.19 \$MXP/m³).
- A partir de estimados de los costos y los ahorros obtenidos, se calcularon los flujos de efectivo para un periodo de 20 años utilizando Excel, en el año 5, 10,15 y 20 se reinvierte el 40% de la inversión inicial debido a que se considera que 5 años es el periodo en el que el mantenimiento de una bomba presenta un funcionamiento aceptable.
- Se calcula el VPN.
- El TIR se calculó utilizando Excel, el cual requiere los flujos de efectivo durante el periodo del proyecto.



Por último se utilizó el método de interpolación para calcular el PRI, tomando los valores de referencia del VPN negativo y el inmediato VPN positivo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS



4.1 Sistema de bombeo

A partir de los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas a las diferentes zonas de estudio de la red distribución de agua de contra incendios, se determinó la potencia de las bombas, con las que opera el sistema PCI en las diferentes zonas.

En la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 se muestran los resultados de la potencia de las bombas para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 11 Potencia de las bombas de la zona 1.

Potencia de bomba P-106 A	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 9904 =	11.983	kg/cm ²
hs = presión en nodo 9901 =	1.054	kg/cm ²
H =	10.929	kg/cm ²
Q=flujo en línea 703 =	213.84	LPS
Q =	769.82	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
Potencia de bomba =	305.66	kw
BHP =	409.89	hp
WHP =	307.44	hp
Potencia de bomba P106-B	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 9905 =	11.931	kg/cm ²
hs = presión en nodo 9901 =	1.054	kg/cm ²
H =	10.877	kg/cm ²
Q=flujo en línea 703	214.92	LPS
Q =	773.71	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
Potencia de bomba =	305.74	kw
BHP =	410	hp
WHP =	307.52	hp



Tabla 12 Potencia de las bombas de la zona 2.

Potencia de bomba P-106 A	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 9904 =	13.143	kg/cm ²
hs = presión en nodo 9901 =	1.239	kg/cm ²
H =	11.904	kg/cm ²
Q=flujo en línea 703 =	192.44	LPS
Q=	692.78	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
Potencia de bomba =	299.61	Kw
BHP =	401.77	Hp
WHP =	301.35	Hp
Potencia de bomba P-106B	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 9905 =	13.1	kg/cm ²
hs = presión en nodo 9901 =	1.239	kg/cm ²
H =	11.861	kg/cm ²
Q=flujo en línea 702 =	193.43	LPS
Q =	696.34	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
Potencia de bomba =	300.06	Kw
BHP =	402.38	Hp
WHP =	301.81	Hp

Tabla 13 Potencia de las bombas de la zona 3.

Potencia de bomba P-106 A	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 6207 =	11.35	kg/cm ²
hs = presión en nodo fosa1 =	0	kg/cm ²
H =	11.35	kg/cm ²
Q=flujo bomba P-106 A =	204.87	LPS
Q =	737.53	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
Potencia de bomba =	304.12	Kw
BHP =	407.82	Hp
WHP =	305.89	Hp
Potencia de bomba P-106B	Valor	Unidades
hd= presión en nodo 6208 =	11.348	kg/cm ²
hs = presión en nodo fosa 1 =	0	kg/cm ²
H =	11.348	kg/cm ²
Q=flujo bomba P-106 B =	204.97	LPS



Q =	737.59	m ³ /h
ε =	0.75	
ρ =	1000	kg/m ³
potencia de bomba =	304.09	Kw
BHP =	407.78	Hp
WHP =	305.86	Hp

4.2 Red de distribución de agua

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas a las tres zonas de estudio se reportan en la Tabla 14, donde se comparan las pérdidas de presión presentes en cada zona de estudio. En el Anexo.2 se muestran los resultados de la simulación realizada al sistema actual PCI.

Tabla 14 Resultados caída de presión.

	Zona 1	Zona2	Zona 3
Presión a la salida del sistema de bombeo	11.806 kg/cm ²	12.996 kg/cm ²	11.332 kg/cm ²
Presión a la salida del punto más desfavorable	6.264 kg/cm ²	9.152 kg/cm ²	6.384 kg/cm ²
Caída de presión	-5.542 kg/cm ²	-3.844 kg/cm ²	-4.948 kg/cm ²

De los resultados de la tabla anterior se aprecia que la zona 1 presenta mayor pérdida de presión, por lo tanto, es la zona de mayor riesgo en comparación a la zona 2 y zona 3, debido a esto las propuestas técnicas para mejorar el funcionamiento del sistema PCI van dirigidas a la zona 1.

4.3 Problemática a resolver

A partir de las simulaciones realizadas a la operación actual del sistema PCI, el principal problema que se presenta son las pérdidas de presión en la zona 1, esto debido a las condiciones físicas y de distribución de la red hidráulica, lo que provoca una presión de salida de 6.26 kg/cm², lo que trae como



consecuencia no cumplir con la presión de 7 kg/cm^2 mínima requerida por la norma para esta zona, por lo tanto se plantearon distintas propuestas técnico económicas que mejoren el funcionamiento del sistema PCI en dicha zona.

4.4 Propuestas de mejora.

Una vez que se ha determinado la zona hidráulicamente más desfavorable del sistema PCI se plantearon propuestas técnicas- económicas con la finalidad de resolver los problemas de pérdida de presión en el sistema y así cumplir con la presión requerida en dicha zona.

A continuación se describen las distintas propuestas técnicas- económicas para mejorar el sistema PCI.

Propuesta 1: Mantenimiento menor del sistema PCI

La cual considera la eliminación de fugas en los accesorios de la red PCI por medio de un “Mantenimiento correctivo y preventivo”, tomando en cuenta lo siguiente:

- Cambio de empaques en válvulas de: Hidrantes, monitores, tomas camión y de seccionamiento de la red, que se encuentran con problemas de fugas.
- Sustitución de válvulas dañadas en hidrantes, monitores, tomas camión y de seccionamiento de la red.
- Mantenimiento correctivo en bombas principales, para eliminación de fugas en empaquetaduras y sellos mecánicos, así como, la mejora en el sistema de lubricación de estos equipos, una adecuada protección contra la corrosión
- Eliminación de fugas en las tuberías y derivaciones del sistema PCI, por medio de la sustitución de las secciones de tuberías dañadas, y aplicación de silletas, parches o soldaduras donde sea requerido.
- La disminución en el uso de agua de tomas parásitas y de operaciones de seguridad por medio de “La optimización en las operaciones de



seguridad en maniobras de operación y mantenimiento a plantas”, aplicado a la apertura de hidrantes, monitores y /o sistemas de diluvio en tanques de plantas.

- Continuar con las brigadas de inspección de la red y localización oportuna de nuevas fugas, así como, su eliminación inmediata, adicionalmente crear un programa de apertura y cierre de válvulas para verificar la funcionalidad de cada uno de los accesorios que conforman el sistema PCI.

Propuesta 2: Rehabilitación del sistema PCI

Aumento de la eficiencia del sistema de PCI partiendo de la sustitución de 1300 m de tubería de 12 pulgadas de diámetro a 14 pulgadas, así como todos los accesorios que se derivan de dicho tramo (válvulas, hidrantes, tomas camión, monitores, entre otros), con lo que se pretende cumplir con la demanda mínima de presión de 100 lb/in^2 (7.0 kg/cm^2) a 6800 GPM, además de disminuir el consumo de agua por concepto de fugas y tomas de seguridad (Figura 15).



Figura 15 Tramo de tubería a modificar en diámetro de 12 a 14 pulgadas.

Propuesta 3: Renovación del sistema PCI

Aumento de la eficiencia del sistema de PCI con la sustitución de 11300 m tubería de 12 pulgadas de diámetro a 20 pulgadas de diámetro y la rehabilitación de 7700 m y 266 m de tubería de 20 in y 24 in respectivamente así como todos los accesorios que se derivan de dicho tramo (válvulas, hidrantes, tomas camión, monitores, entre otros), un sistema de automatización para las bombas y un sistema de rociadores en las 2 casas de maquinas (casa de bombas), al igual que la eliminación de fugas y optimización de tomas de seguridad (ver Figura 16).



Figura 16 Tramo de tubería a sustituir en diámetro.

4.4.1. Simulación del sistema PCI aplicando propuestas de mejora.



Una vez mencionadas las distintas propuestas técnicas de mejora se realiza la simulación hidráulica de las propuestas 2 y 3, con la finalidad de determinar los beneficios hidráulicos que aplicarán al sistema PCI, esto debido a que la propuesta 1 sólo tiene beneficios de ahorro de agua.

A continuación se da una descripción de los beneficios obtenidos de cada una de las propuestas implementadas.

Propuesta 1: "Mantenimiento menor del sistema PCI"

En esta propuesta no se realizó una simulación ya que los beneficios que se obtienen para el sistema PCI son el ahorro de agua mediante la aplicación de un mantenimiento correctivo preventivo, donde se eliminan las fugas y se optimiza el uso de agua para tomas de seguridad dentro de la instalación petrolera, las cuales se describen en la Tabla 15 donde se reporta lo siguiente:

Tabla 15 Volumen de agua asociado a fugas y tomas parásitas

Fugas (m³/d)	Tomas parasitas y/o de seguridad (m³/d)	Tomas y fugas no localizadas en inspección (m³/d)	Total (m³/d)	Total (m³/a)
51	2,727	863	3,641.	1,328,965

Nota: valores obtenidos de históricos de mediciones de flujo en la instalación petrolera.

A partir de la implementación de la propuesta 1 donde se elimina las fugas presentes en la red de distribución de agua y se optimiza el uso de agua para tomas de seguridad con el que se pretende ahorrar el 2% de estas tomas y donde los ahorros obtenidos se muestran en la Tabla 16.



Tabla 16 Ahorro de agua con implementación de propuesta.

Ahorro por fugas (m ³ /d)	Ahorro del 2% por tomas de seguridad (m ³ /d)	Total de ahorro de agua (m ³ /d)	Total (m ³ /a)
51	55	106	38,690

Se debe tomar en cuenta que esta opción sólo solucionará las pérdidas de agua que se tiene en el sistema de PCI por fugas, tomas parásitas y de seguridad, no así los requerimientos mínimos de presión y de operación del sistema PCI en el punto de más desfavorable, que es 100 lb/in² (7.0 kg/cm²) a 6800 GPM en la zona 1.

Propuesta 2 “Rehabilitación del sistema PCI”

Los resultados de la simulación realizada (ver Anexo.5) a partir de la sustitución de 1300 m de tubería de 12 pulgadas de diámetro a 14 pulgadas se observan en la Tabla 17.

Tabla 17 Resultados propuesta 2.

<u>Propuesta 2 “Rehabilitación del sistema PCI”</u>			
Flujo total del sistema de bombeo	=	428.76 LPS	= P-106A + P106B
Presión a la salida del sistema			Nodo
De bombeo	=	11.8 kg/cm ²	9906
Presión a la salida del punto			Nodo
más desfavorable	=	7.3 kg/cm ²	0131
Caída de presión	=	-4.4 kg/cm ²	



Propuesta 3 “Renovación del sistema PCI”

Los resultados de la simulación realizada (ver Anexo.6) a partir de la sustitución de 11300 m tubería de 12 pulgadas de diámetro a 20 pulgadas de diámetro y la rehabilitación de 7700 m y 266 m de tubería de 20 in y 24 in se observan en la Tabla 18.

Tabla 18 Resultados propuesta 3

Propuesta 3 “Renovación del sistema PCI”			
Flujo Tota Del Sistema De Bombeo	=	428.76 LPS	= P-106A + P106B
Presión a la salida del sistema de bombeo	=	12.6 kg/cm ²	Nodo 9906
Presión a la salida del punto más desfavorable	=	10.3 kg/cm ²	Nodo 0131
Caída de presión	=	-2.3 kg/cm ²	

De los resultados obtenidos de la simulación de la red de distribución de agua de las propuestas 2 y 3, se pretende determinar cuál es la mejor opción en función de los beneficios técnicos que presente cada propuesta.

4.5 Análisis de propuesta de mejora

Como se mencionó anteriormente la propuesta 1 únicamente soluciona el problema de pérdidas de agua, es por esto que en la Tabla 19 se comparan únicamente los resultados de la simulación realizada al del estado actual del sistema PCI, así como las propuestas técnicas de mejora 2 y 3.



Tabla 19 Comparación operativa de las propuestas.

	Nodo	Presión operación actual (kg/cm ²) manométrica	Presión operación propuesta 2 (kg/cm ²) manométrica	Presión operación propuesta 3 (kg/cm ²) manométrica
Presión a la salida del sistema de bombeo	9906	11.8	11.8	12.6
Presión a la salida del punto más desfavorable	131	6.3	7.4	10.3
Caída de presión		-5.5	-4.4	-2.3

Como se observa en la tabla anterior las propuestas 2 y 3 aumentan la presión a la salida del punto más desfavorable de la zona 1, cumpliendo así con la presión mínima requerida en ese punto. Por lo tanto ambas propuestas son aplicables ya que mejoran hidráulicamente el funcionamiento del sistema PCI.

4.6 Evaluación económica

Una vez establecidos los beneficios técnicos de las distintas propuestas de mejora, se presenta una estimación de los costos de inversión de las propuestas planteadas, las cuales se calcularon en Excel (ver Anexo.7) y se obtuvieron mediante la cotización de equipos y servicios necesarios para la implementación de cada una de ellas.

Enseguida se da una descripción de los beneficios económicos que cada una de las propuestas planteadas ofrece.

Propuesta 1: “Mantenimiento menor del sistema PCI”

Esta propuesta sólo incluye el ahorro de agua (Tabla 20) que se pierde por fugas y tomas parásitas y/o de seguridad mediante la implementación de un mantenimiento correctivo-preventivo, en la Tabla 21 se mencionan los costos asociados la propuesta 1



Tabla 20 Benéficos por ahorro de agua al año

Ahorro de agua (m3 / d)	Costo De Agua (\$USD/m3)	Ahorro (\$USD/a)
106	0.52	20,158

Tabla 21 Costo asociado para la propuesta 1

Propuesta 1	
Equipo y material	\$USD
Material eléctrico	\$ 11,446
Instrumentos	\$ 321
Pintura	\$ 399
Aislamiento	\$ 1,243
Instalación	\$ 21,103
Total	\$ 34,512

Los índices económicos de la propuesta 1 se muestran en la Tabla 22

Tabla 22 Los índices económicos de la propuesta 1.

Indicadores de la Propuesta 1	Valor
Inversión Directa (USD\$)	39,861
Capital de Trabajo (USD\$)	0
Inversión Total (USD\$)	39,861
Valor Presente Neto (USD\$)	58,810
Valor Presente de la Inversión (USD\$)	45,530
Índice de Rentabilidad (VPN/VPI)	1.29
Tasa Interna de Retorno	33.59%
Recuperación (años de operación)	7

Propuesta 2: “Rehabilitación del sistema PCI”

Para esta caso se considera el cambio de una sección de la red de distribución de agua de 12 pulgadas de diámetro a 14 pulgadas (Figura 17), el monto de inversión asociado a la implementación de esta propuesta se presenta en la Tabla 23

Tabla 23 Costos asociados para la propuesta 2

Propuesta 2	
Equipo y material	\$USD
Tubería 14 in	\$ 208,364
Material eléctrico	\$ 6,201
Instrumentos	\$ 13,643
Concreto	\$ 12,403
Pintura	\$ 3,721
Aislamiento	\$ 14,883
Instalación	\$ 137,017
Total	\$ 396,232



Figura 17 Propuesta 2 “Rehabilitación del sistema PCI”

Esta alternativa considera un aumento de la eficiencia del sistema PCI, así como un ahorro de agua cruda por la eliminación de fugas y optimización de tomas de seguridad. Estos ahorros se observan en la Tabla 24.



Tabla 24 Ingresos por ahorro de agua

Ahorro de agua (m3 / d)	Costo de agua (\$USD/m3)	Ahorro (\$USD/a)
106	0.52	\$20,158

Los índices económicos de la propuesta de inversión 2 presentan en Tabla 25

Tabla 25 Indicadores económicos propuesta 2

Indicadores de la Propuesta 2	Valor
Inversión Directa (USD\$)	497,509
Capital de Trabajo (USD\$)	0
Inversión Total (USD\$)	497,509
Valor Presente Neto (USD\$)	-414,352
Valor Presente de la Inversión (USD\$)	503,178
Índice de Rentabilidad (VPN/VPI)	No Aplica
Tasa Interna de Retorno	-6.66%
Recuperación (años de operación)	No Recupera

Propuesta 3 “Renovación del sistema PCI”

Esta propuesta incluye la sustitución de los tramos de tubería de 12 pulgadas de diámetro a 20 pulgadas de diámetro (Figura 18), el monto de inversión para esta propuesta de inversión se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26 Costos asociados a la propuesta 3

Propuesta 3	
Equipo y material	\$USD
Tubería 12 in	\$ 937,045
Tubería 20 in	\$1,284,339
Tubería 24 in	\$ 37,452
Sistema de rociadores	\$ 41,716
Sistema de automatización	\$ 62,227
Material eléctrico	\$ 77,807
Instrumentos	\$ 526,648
Concreto	\$ 155,614
Pintura	\$ 46,684
Aislamiento	\$ 186,736

Propuesta 3	
Equipo y material	\$USD
Instalación	\$1,753,620
Total	\$5,109,888



Figura 18 Propuesta 3 “Renovación del sistema PCI”

Esta propuesta mejora el funcionamiento del sistema PCI, así como una disminución de agua como recurso natural, por la eliminación de fugas y optimización en el uso de tomas de seguridad. Los ingresos obtenidos por la implementación de esta propuesta se presentan en la Tabla 27

Tabla 27 Ingresos por ahorro de agua

Ahorro de agua (m ³ / d)	Costo de agua (\$USD/m ³)	Ahorro (\$USD/a)
106	0.52	\$20,158

En la Tabla 28 se muestran los índices económicos de la propuesta 3.



Tabla 28 Indicadores económicos propuesta 3.

Indicadores de la propuesta 3	Valor
Inversión Directa (USD\$)	5,941,782
Capital de Trabajo (USD\$)	0
Inversión Total (USD\$)	5,941,782
Valor Presente Neto (USD\$)	-6,552,623
Valor Presente de la Inversión (USD\$)	5,947,451
Índice de Rentabilidad (VPN/VPI)	No Aplica
Tasa Interna de Retorno	No Disponible
Recuperación (años de operación)	No Recupera

En la Tabla 29 se comparan los índices económicos de las propuestas 2 y 3 ya que la propuesta 1 sólo elimina pérdidas de agua, por lo que no mejora el funcionamiento del sistema PCI, es por esta razón que no se considera en la siguiente comparativa.

Tabla 29 Comparativa de los índices económicos de las dos propuestas.

Indicadores	Propuesta 2	Propuesta 3
Inversión Directa (USD\$)	497,509	5,941,782
Capital de Trabajo (USD\$)	0	0
Inversión Total (USD\$)	497,509	5,941,782
Valor Presente Neto (USD\$)	-414,352	-6,552,623
Valor Presente de la Inversión (USD\$)	503,178	5,947,451
Índice de Rentabilidad (VPN/VPI)	No Aplica	No Aplica
Tasa Interna de Retorno	No Disponible	No Disponible
Recuperación (años de operación)	No Recupera	No Recupera

Como se observa en la Tabla 29 las propuestas de inversión planteadas para mejorar el sistema PCI no tienen un beneficio económico evidente, sin embargo, el beneficio que se obtiene en ambos casos es el operativo.



En la Tabla 30 se observan los costos de operación, gastos fijos y costo de capital considerados para las propuestas evaluadas.

Tabla 30 Costos para los escenarios.

CONCEPTOS	Propuesta 2	Propuesta 3
	(\$USD)	(\$USD)
Ingreso Total Anual	\$ 20,071	\$ 20,071
Costo Total en Efectivo de Operación	\$ 8,179	\$ 101,090
Costo Total de Operación	\$ 21,810	\$ 269,574
Utilidades después de Impuestos	-\$ 1,739	-\$ 249,504
Depreciación	\$ 13,631	\$ 168,484
Flujo de efectivo después de impuestos	\$ 11,892	-\$ 81,020

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES



5.1 Conclusiones.

En este trabajo, se evaluó la red de distribución de agua del sistema de protección contra incendios, el cual tiene una vida útil de aproximadamente 28 años, lo que provoca caídas de presión grandes en la red de distribución de agua. Aunado a esto, dichas pérdidas de presión también son debidas a que la red de distribución de agua, en su mayoría está diseñada con tubería de 12 pulgadas de diámetro en los anillos interiores, esto provoca que la zona de mayor riesgo no cumpla el requerimiento mínimo de presión (7 kg/cm^2) que solicita la norma NFR-016-PEMEX-2010.

Por lo anterior se plantearon propuestas de inversión con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema de distribución de agua de la red de contra incendios y así cumplir con la presión de descarga en el punto de mayor riesgo.

La propuesta 1” **Mantenimiento menor del sistema PCI**” soluciona las pérdidas de agua que hay en el sistema PCI, con el cual se obtiene un beneficio económico pero no mejora los requerimientos mínimos de presión en la zona de mayor riesgo.

En la propuesta 2 **Rehabilitación del sistema PCI**” sólo se obtiene una solución rápida para mejorar el funcionamiento de la red de contra incendios, únicamente en la zona 1, con el cual se cumple los requerimientos de presión y flujo en la zona de mayor riesgo.

En la propuesta 3, **Renovación del sistema PCI**” se mejora del funcionamiento de la red de contra incendios tanto para el zona1 como la zona 2 y cumple con el flujo y la presión de descarga en el punto de mayor riesgo.

Técnicamente las propuestas 2 y 3 solucionan el principal problema de la red no obstante la propuesta 3 da mayores beneficios operativos al sistema PCI como son:



- Mejor funcionamiento del sistema PCI lo que propicia un ataque más rápido y efectivo en caso de un siniestro.
- Ahorro de agua, lo que se convierte en un beneficio económico ya que el costo de este vital líquido se incrementa con la escasez de éste.
- Ambientalmente se reduce el consumo de agua de los recursos naturales de la región.
- Aumento de la vida útil de la red de contra incendios.

A partir de los índices de evaluación económica realizados a las propuestas, se determinó que la propuesta 1 recupera la inversión realizada para llevar a cabo el mantenimiento correctivo-preventivo, en tanto que las propuestas 2 y 3 la inversión para la aplicación de cada una de ellas es elevada en comparación de los beneficios económicos obtenidos, cabe señalar que ambas propuestas mejoran el funcionamiento del sistema PCI cumpliendo los requerimientos mínimos de presión en la zona de mayor riesgo. Sin embargo, por cuestiones de seguridad, la propuesta a implementar es la propuesta 3, ya que con esta se obtienen mayores beneficios operativos y de seguridad dentro de la industria petrolera.

5.2 Recomendaciones

Las perspectivas para este trabajo de tesis es establecer distintas recomendaciones con la finalidad de optimizar el funcionamiento del sistema PCI, así como el ahorrar agua dentro de la industria petrolera, tales como:

- Cambio de tipo de material de las líneas de distribución de agua
- Mantenimientos periódico

Cambio de tipo de material de las líneas de distribución de agua

Como se mencionó anteriormente la mayoría de la red de contra incendios en la industria es superficial, la recomendación a seguir es el cambio del material en las líneas de distribución de agua de acero al carbón a polietileno de alta



densidad (PEAD) se realiza con base a las siguientes mejoras que se obtendrán por la sustitución del tipo de material como son:

- Material más económico
- Fácil instalación
- Mayor durabilidad
- No se corroe
- Coeficientes de rugosidad de Hazen-Williams más altos.

En el Anexo.8 se comparan algunas características de los materiales utilizados para la fabricación de tubería.

Hay que tomar en cuenta que la tubería de PEAD en sistemas de protección contra incendios va enterrada, sólo los cabezales de distribución y tubería de protección de equipos que este superficial se mantendrá de acero al carbón.

Mantenimiento periódico

Al término de la rehabilitación de la red de contra incendios, se recomienda tener brigadas de inspección, prueba y mantenimiento, para monitorear las condiciones físicas de la red enterrada pero además:

- Prevenir y disminuir las fugas.
- Mejorar el funcionamiento de la red.
- Asegurar respuestas oportunas en caso de un siniestro.

En el Anexo.9 muestran los requisitos mínimos para la inspección prueba y mantenimiento regulares de los accesorios que componen la red de contra incendios.

Reflexión Personal

Durante la realización de este trabajo me quedo claro que la seguridad dentro de la industria petrolera es fundamental para su buen funcionamiento y el sistema PCI proporciona a las industrias en general la seguridad del personal e instalaciones, ya que en caso de algún conato previene afectaciones a la integridad de estos. Tanto la instalación del sistema de protección contra



incendios (PCI) como los accesorios que la conforman se basan en normas internacionales como la NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), así como en las normas de referencia de PEMEX donde se establecen los criterios para la instalación de equipos y accesorios referentes al sistema de protección contra incendios.

BIBLIOGRAFÍA



Artículos:

- Omer Arioiz (2007). "Effects of elevated temperatures on properties of concrete". Fire Safety Journal, Vol. 42, November, pp. 516-522.
- Ping Li(2005) "Research on the danger of fires in oil tanks with sulfur" Fire Safety Journal vol 40 pp. 331–338.
- Margrethe Kobes (2009). "Building safety and human behaviour in fire: A literature review". Fire Safety Journal. Vol 45 pp-1-11.
- Raimundo António M. (2009),"Personal protective clothing and safety of firefighters near a high intensity fire front", Fire Safety Journal , Vol. 44, pp. 514–521.
- Sánchez Marín J.E.(2007)."An estimation of cogeneration potential byusing refinery residuals in Mexico", Energy Policy, Vol. 35, pp. 5876–5891
- Wang Lei (2009),"An analysis of compartment fire doorway flows", Fire Safety Journal ,Vol.44, pp. 718–731.
- Zhigang Liu (2007)."A study of portable water mist extinguishers used for extinguishment of the multiple fire type.", Fire Safety Journal , Vol. 42,pp. 25-42.
- Villareal F.G. (2009) La red de agua y PUMAGUA: una respuesta de la UNAM ante la crisis hídrica. Vol 84, pp. 40-42.

Libros:

- Baca Urbina G. (2003). Fundamentos de Ingeniería Económica. Mc Graw Hill, México, pp. 77-92.
- Balderas Valiente A. (2007). Problemas de Flujo de Fluidos. Limusa S.A. de C.V. México , pp 286-288
- Brière. G.F. (2005). Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia, Presses inter Polytechnique, Francia, pp. 132-135



- Flowserve (1980) Pump engineering manual, Dayton, Ohio, pp.23-95
- Inst. Ingeniería del Agua y M.A. Universidad Politécnica de Valencia (2002) Manual de uso de EPANET. Grupo Redes hidráulicas y sistemas a presión (REDHISP).
- Kenneth J. (1997). Bombas, uso y mantenimiento, McGraw-Hill, México, pp. 71-75
- Blank Leland T. (1999). Ingeniería Económica. McGraw Hill, Colombia, pp. 386.
- Mott Roberto L. (2006) Mecánica de Fluidos, Editorial Educación de México, México, pp. 237
- Neira Rodríguez J.A. (2008). Instalaciones de protección contra incendios,-FC Editorial, Madrid, pp. 155-158.
- NFPA (1991) Manual de Protección contra Incendio, Decimoséptima edición, Editorial MAPFRE, Sección 5- Capítulo 2, "Hidráulica", pp. 756-782
- PEMEX (2001). Sistemas para agua de servicio contra incendio. Unidad de Normatividad Técnica pp. 4-26.
- PEMEX (2010). Diseño de redes de contra incendio (instalaciones terrestres).
- PEMEX (2007). Redes de agua contra incendio en instalaciones industriales terrestres. Construcción y pruebas
- U.S. Environmental Protection Agency (2000). EPANET 2 user's manual. EPA/600/r-00/057 September 2000.
- Warring R. (1977). Selección de bombas sistemas y aplicaciones, Labor, Barcelona, pp. 34-39.

Páginas web:



- National Fire Protection Association (2010). Normatividad para la inspección prueba y mantenimiento de sistema contra incendios basados en agua. Disponible en: http://www.nfpa.org/onlinepreview/online_preview_document_esp.asp?id=2508E#. Consultas realizadas entre Marzo y Octubre del 2010.
- ITT Industries (2010) Sistema de bombas contra incendios disponible en : <http://www.acfirepump.com/>
- Science Direct (2010) fire safety journal disponible en: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V37-482B2MY2H&_user=945819&_coverDate=12%2F31%2F1984&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1614235701&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C00048981&_version=1&_urlVersion=0&_userid=945819&md5=b4929c791b4ede8c2ee1793355309fdd&searchtype=a.
- Junta municipal de agua y saneamiento (JMAS) (2007) Referencia del uso del EPANET disponible en: <http://www.waterymex.org/doctos/resumenP.pdf>.
- Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)(2007) Referencia del uso del EPANET disponible en: <http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/vijornadasdeinvestigacion/mesa13/Proyecto%20Ejecutivo%20%20del%20Sistema%20de%20Riego%20a%20Baja%20Presi%F3n.pdf>.



ANEXOS



Anexo.1. Cuantificación de agua utilizada por el sistema PCI

Tipo de reporte	Balances Históricos 2008 (m3)	Mediciones con Panametrics (m3)
Diario	3,465	3,641
Mensual	104,449	110,768
Anual	1,253,855	1,329,067

Anexo.2. Resultados simulación estado actual del sistema PCI (simulación zona 1)

RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA				
Estado de los Nudos de la Red zona 1				
	Cota	Demanda Base	Presión	
ID Nudo	m	LPS	m	
Nudo 0129	0	0	82.64	
Nudo 0107	0	15.77	82.63	
Nudo 0108	0	15.77	82.63	
Nudo 0109	0	31.54	82.63	
Nudo 0110	0	31.54	82.79	
Nudo 0111	0	0	84.14	
Nudo 0112	0	0	84.42	
Nudo 0113	0	0	84.66	
Nudo 0114	0	0	84.94	
Nudo 0115	0	0	85.21	
Nudo 0116	0	0	85.87	
Nudo 0117	0	0	85.98	
Nudo 0119	0	0	85.25	
Nudo 0120	0	0	84.47	
Nudo 0121	0	31.54	83.97	
Nudo 0122	0	31.54	83.92	
Nudo 0123	0	31.54	83.92	
Nudo 0126	0	15.77	83.28	
Nudo 0127	0	15.77	82.9	



RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA				
Estado de los Nudos de la Red zona 1				
	Cota	Demanda Base	Presión	
ID Nudo	m	LPS	m	
Nudo 0128	0	15.77	82.75	
Nudo 0131	20	136.7	62.64	
Nudo 0130	0	0	84.07	
Nudo 0132	0	0	83.11	
Nudo 0133	0	55.51	84.09	
Nudo 9902	0	0	10.64	
Nudo 9901	0	0	10.54	
Nudo 9905	0	0	119.31	
Nudo 9903	0	0	10.54	
Nudo 9906	0	0	118.06	
Nudo 9904	0	0	119.83	
Depósito 9991	20	Sin Valor	1	

Anexo.3. Simulación Zona 2

RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA				
Estado de los Nudos de la Red				
	Cota	Demanda Base	Presión	
ID Nudo	m	LPS	m	
Nudo 3815	0	0	114.52	
Nudo 3821	0	0	112.82	
Nudo 3816	0	31.54	111.85	
Nudo 3817	0	31.54	111.6	
Nudo 3818	0	31.54	111.47	
Nudo 3819	0	31.54	111.47	
Nudo 3820	0	0	111.66	
Nudo 3823	0	0	111.72	
Nudo 3824	0	0	111.6	
Nudo 3825	0	55.51	111.52	
Nudo 3826	20	172.66	91.52	
Nudo 3827	0	0	112.34	
Nudo 3828	0	0	113.49	
Nudo 3829	0	31.54	114.56	
Nudo 9902	0	0	12.48	
Nudo 9901	0	0	12.39	
Nudo 9904	0	0	131.43	
Nudo 9905	0	0	131	
Nudo 9903	0	0	12.39	



RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA			
Estado de los Nudos de la Red			
	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Nudo 9906	0	0	129.96
Nudo 9995	0	0	128.93
Depósito 9991	20	Sin Valor	1

Anexo.4. Simulación Zona 3

RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA			
Estado de los Nudos de la Red			
	Cota	Demanda Base	Presión
Nudo 7215	0	0	87.92
Nudo 7216	0	0	85.69
Nudo 7217	0	0	85.14
Nudo 7218	0	15.77	83.52
Nudo 7219	0	31.54	83.01
Nudo 7220	0	15.77	82.65
Nudo 7221	0	55.51	82.38
Nudo 7222	0	15.77	82.01
Nudo 7223	0	0	81.9
Nudo 7224	0	0	81.86
Nudo 7225	0	0	81.82
Nudo 7226	0	55.51	81.78
Nudo 7227	0	15.77	81.78
Nudo 7228	0	0	81.78
Nudo 7229	0	0	81.79
Nudo 7230	0	15.77	81.81
Nudo 7231	20	172.66	61.84
Nudo 7232	0	15.77	83.11
Nudo 7233	0	0	85.1
Nudo 7214	0	0	87.92
Nudo 6207	0	0	113.5
Nudo 6208	0	0	113.46
Nudo 6209	0	0	113.32
Embalse FOSA_2	0	Sin Valor	0
Embalse FOSA_1	0	Sin Valor	0



Anexo.5. Resultados simulación del sistema PCI con propuestas
(simulación propuesta 2)

RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA			
Estado de los Nudos de la Red			
	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	m	LPS	m
Nudo 0129	0	0	93.33
Nudo 0107	0	15.77	93.31
Nudo 0108	0	15.77	93.25
Nudo 0109	0	31.54	93.21
Nudo 0110	0	31.54	93.27
Nudo 0111	0	0	93.98
Nudo 0112	0	0	94.13
Nudo 0113	0	0	94.26
Nudo 0114	0	0	94.4
Nudo 0115	0	0	94.55
Nudo 0116	0	0	94.89
Nudo 0117	0	0	94.95
Nudo 0119	0	0	94.58
Nudo 0120	0	0	94.18
Nudo 0121	0	31.54	93.96
Nudo 0122	0	31.54	93.96
Nudo 0123	0	31.54	94.01
Nudo 0126	0	15.77	93.72
Nudo 0127	0	15.77	93.54
Nudo 0128	0	15.77	93.45
Nudo 0131	20	136.7	73.2
Nudo 0130	0	0	93.94
Nudo 0132	0	0	93.44
Nudo 0133	0	55.51	93.99
Nudo 9902	0	0	10.64
Nudo 9901	0	0	10.54
Nudo 9905	0	0	119.31
Nudo 9903	0	0	10.54
Nudo 9906	0	0	118.06
Nudo 9904	0	0	119.83
Depósito 9991	20	Sin Valor	1



Anexo.6. Resultados simulación del sistema pci con propuesta (simulación propuesta 3)

RED HIDRAULICA CONTRA INCENDIOS REFINERIA				
Estado de los Nudos de la Red				
	Cota	Demanda Base	Presión	
ID Nudo	m	LPS	m	
Nudo 0129	0	0	119.69	
Nudo 0107	0	15.77	119.69	
Nudo 0108	0	15.77	119.68	
Nudo 0109	0	31.54	119.68	
Nudo 0110	0	31.54	119.72	
Nudo 0111	0	0	120.15	
Nudo 0112	0	0	120.24	
Nudo 0113	0	0	120.32	
Nudo 0114	0	0	120.41	
Nudo 0115	0	0	120.5	
Nudo 0116	0	0	120.72	
Nudo 0117	0	0	120.77	
Nudo 0119	0	0	120.72	
Nudo 0120	0	0	120.64	
Nudo 0121	0	31.54	120.61	
Nudo 0122	0	31.54	120.62	
Nudo 0123	0	31.54	120.69	
Nudo 0126	0	15.77	120.29	
Nudo 0127	0	15.77	119.98	
Nudo 0128	0	15.77	119.84	
Nudo 0131	20	136.7	99.68	
Nudo 0130	0	0	120.13	
Nudo 0132	0	0	119.83	
Nudo 0133	0	55.51	120.61	
Nudo 9902	0	0	16.7	
Nudo 9901	0	0	16.65	
Nudo 9905	0	0	125.58	
Nudo 9903	0	0	16.65	
Nudo 9906	0	0	125.06	
Nudo 9904	0	0	125.8	
Depósito 9991	20	Sin Valor	1	



Anexo.7. Monto de inversión para las propuestas

Suma de Intregal Tot				ESCENARIO	No. PROP	
				BAJA		
				Mtto Menor	MEDIA	ALTA
GRUPO	TAG	QTY		1		
EQD	P-106	1		\$34,157		
Total EQD				\$34,157		
TNK	TUB	1		\$355		
	TUB1	1			\$396,232	
	TUBN	1				\$1,781,918
	TUBN1	1				\$2,442,346
	TUBN2	1				\$71,220
	VAL	1				\$180,943
	VAL1	1				\$467,497
	VAL2	1				\$27,541
Total TNK				\$355	\$396,232	\$4,971,466
SIS						\$138,422
Total general				\$34,512	\$396,232	\$5,109,888

Anexo.8. Comparación de los distintos materiales utilizados para la fabricación de tubería

Comparativo de Materiales

Material	Costo			Vida			Resist. a Agentes Químicos			Flexibilidad		
	Alto	Medio	Bajo	Larga	Media	Corta	Bajo	Medio	Alto	Nulo	Medio	Alto
fo. Galvanizado	X				X		X			X		
PVC		X				X		X			X	
PEAD			X	X					X			X

Anexo.9. Requisitos mínimos para la inspección prueba y mantenimiento regulares de los accesorios de la red.

Rociadores.

Los requisitos mínimos para la inspección prueba y mantenimiento regulares en los sistemas de rociadores.



Ítem	Frecuencia
Inspección	
Indicadores (Secos, Pre-acción, Inundación)	Semanal/mensual
Válvulas de control	Semanal/mensual
Dispositivos de flujo de agua	Trimestral
Dispositivos de supervisión de Válvulas	Trimestral
Dispositivos de Señal de Supervisión (excepto interruptores de supervisión de válvulas)	Trimestral
Manómetros (sistemas de tubería húmeda)	Mensual
Rótulo hidráulico	Trimestral
Edificios	Anualmente (antes de la estación de heladas)
Abrazaderas/soportes sísmicos	Anual
Tubos y conexiones	Anual
Rociadores	Anual
Rociadores de repuesto	Anual
Conexiones del cuerpo de bomberos	Trimestral
Válvulas (todos los tipos)	
Obstrucción	5 años
Prueba	
Dispositivos de flujo de agua	Trimestral/semestral
Dispositivos de supervisión de Válvulas	Semestral
Dispositivos de Señal de Supervisión (excepto interruptores de supervisión de válvulas)	Semestral
Drenaje principal	Anual
Solución anticongelante	Anual
Manómetros	5 años
Rociadores –temperatura extra alta	5 años
Rociadores – respuesta rápida	A 20 años y cada 10 años después
Rociadores	A 50 años y cada 10 años después
Mantenimiento	
Válvulas (todos los tipos)	Anualmente o cuando se necesite
Investigación de obstrucciones	5 años o cuando se necesite
Drenajes de punto bajo (sistema de tubería seca)	Anualmente antes de las heladas y cuando se necesite

Tubería

Los requisitos mínimos para la inspección prueba y mantenimiento regulares de tubería de servicios privados de contra incendios y sus accesorios.



Item	Frecuencia
Inspección	
Casetas de mangueras	Trimestral
Hidrantes (cilindro seco y de pared)	Anual y después de cada operación
Boquillas monitoras	Semestral
Hidrantes (cilindro húmedo)	Anual y después de cada operación
Filtros en tubería principal	Anual y después de cada gasto de flujo considerable
Tuberías (expuestas)	Anual
Tuberías (enterradas)	Ver 7.2.2.2
Prueba	
Boquillas monitoras	Fluir, anualmente (alcance y operación)
Hidrantes	Fluir, anualmente
Tuberías (expuestas y enterradas) (prueba de flujo)	5 años
Mantenimiento	
Filtros en tubería principal	Anual y después de cada operación
Casetas de mangueras	Anual
Hidrantes	Anual
Boquillas monitoras	Anual

Bombas

Los requerimientos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento regulares de los equipos de bombas contra incendios se ven en la figura

Resumen de inspección, prueba y mantenimiento de bombas contra incendios

Item	Frecuencia
Inspección	
Caseta de bombas, rejilla de ventilación de calefacción	Semanal
Sistema de bombas de incendio	Semanal
Prueba	
Operación de la bomba	
Sin flujo	Semanal
Con flujo	Anual
Mantenimiento	
Hidráulico	Anual
Transmisión mecánica	Anual
Sistema eléctrico	Variable
Regulador, diferentes componentes	Variable
Motor	Anual
Sistema de máquina diesel, diferentes componentes	Variable



Tanques de almacenamiento de agua

Los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de rutina de tanques de almacenamiento de agua dedicados a uso para protección contra incendios se ven en la figura

Item	Frecuencia
Inspección	
Estado del agua en el tanque	Mensual/trimestral*
Temperatura del agua	Diaria/semanal*
Sistema de calefacción	Diaria/semanal*
Válvulas de control	Semanal/mensual
Agua – nivel	Mensual/trimestral
Presión de aire	Mensual/trimestral
Exterior del Tanque	Trimestral
Estructura de soporte	Trimestral
Pasarelas y escaleras	Trimestral
Área circundante	Trimestral
Aros y enrejados	Anual
Superficies pintadas o revestidas	Anual
Juntas de expansión	Anual
Interior	5 años / 3 años
Válvulas de retención	5 años
Prueba	
Alarmas de temperatura	Mensual*
Interruptores de límite de alta temperatura	Mensual*
Alarmas de nivel de agua	
Indicadores de nivel	Semestral
Indicadores de presión	5 años
	5 años
Mantenimiento	
Nivel del agua	—
Desagüe del Sedimento	Semestral
Válvulas controladoras	Anual
Tela revestida sostenida por el terraplén (ESCF)	—
Válvulas de retención	—

* Clima frío / temporada de calefacción solamente.



Anexo.10. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías y factor de fricción para flujos en régimen turbulento

