



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

“PROPUESTA DE ADECUACIÓN DE UNA RED CONTRA
INCENDIO EN UN COMPLEJO PETROQUÍMICO PARA
CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD TÉCNICA
CORRESPONDIENTE”

TÉSIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

HERNÁNDEZ ROMO GERMÁN BARUCH



MÉXICO, D.F.

2010



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. José Antonio Ortiz Ramírez

VOCAL: Prof. José Agustín Texta Mena

SECRETARIO: Prof. Alfonso Durán Moreno

1er. SUPLENTE: Prof. Néstor Noé López Castillo

2° SUPLENTE: Prof. Juan Pablo Aguayo Vallejo

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Alfonso Durán Moreno _____.

SUPERVISOR TÉCNICO:

Ing. Iván Frantz Blanco Hernández _____.

SUSTENTANTE:

Hernández Romo Germán Baruch _____.

Dedicatorias y Agradecimientos

Dedico este trabajo a mis Padres, que gracias a ellos y a su esfuerzo y su compromiso conmigo he logrado llegar hasta aquí, no sé qué hubiera hecho sin ustedes ni quiero imaginármelo, los amo.

A mi Padre, *Germán Ricardo Hernández Vargas*, por ser el pilar de mi hogar y jamás derrumbarse, sin duda la persona que más admiro, la imagen que siempre tendré de ti será de agradecimiento y ejemplo a seguir.

A mi Madre, *Gabriela Romo Sotres*, por ser esa fuerza que nos mantiene unidos como familia, sin duda la persona que más adoro, siempre te veré como una madre amorosa que nos ha dado todo y que daría todo por sus hijos.

A mis hermanos, *Gaby y Omar*, por ser mis amigos y compañeros de toda la vida, sé que siempre estarán a mi lado y siempre pueden apoyarse en mí para lograr lo que ustedes quieran, los recuerdos de nuestra infancia son los más gratos de mi vida.

Dedico este trabajo a mi prometida, *Georgina Guerrero Ledezma*, por ser siempre mi motivo para seguir adelante y por estar tanto tiempo a mi lado, por haberme ayudado siempre y por decidir seguir conmigo siempre. Durante este viaje que hemos hecho juntos he sido feliz. Te agradezco siempre motivarme y amarme como yo te amo a ti, “porque somos algo más”, te barugineo.

A toda mi familia, tíos y tías, primos y primas, y sobre todo a todos mis abuelos, que tengo la fortuna de aún tenerlos a mi lado, gracias por siempre haber confiado en mí y creer en mí, y considerarme capaz de muchas cosas.

Agradezco profundamente a mi asesor, Dr. Alfonso Durán Moreno, por haberme apoyado y adoptado para realizar este trabajo, gracias por su ayuda y por compartir su conocimiento conmigo.

Agradezco a mi supervisor técnico Frantz y a Daniel por haberme motivado a realizar este trabajo así como por proporcionarme el material necesario para realizarlo.

Agradezco a mis compañeros de trabajo de la Torre de Ingeniería, al Ing. David y a muchos otros por haberme ayudado cuando me trabé al realizar este trabajo.

A mis amigos de la Torre de Ingeniería, por haberme ayudado y también por esos momentos tan divertidos que me han ayudado para desestresarme.

A todos mis amigos de la Facultad de Química, a los Jacarandos, por haber sido tan buenos amigos y haber hecho de mi estancia en la Universidad algo inolvidable.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Alcance	13
1.2	Planteamiento del problema.....	13
1.3	Objetivo General	13
1.4	Objetivos Particulares	13
2	MARCO TEÓRICO	14
2.1	Sistemas de protección contra incendio.....	15
2.1.1	El agua como agente extintor	16
2.1.2	Red de agua contra incendio.....	17
2.1.3	Hidráulica de protección contra incendios	24
2.2	Normatividad técnica aplicable.....	36
2.3	Propuesta para la red contra incendio.....	40
2.3.1	Tubería de Polietileno de Alta Densidad.....	42
3	CASO DE ESTUDIO.....	51
3.1	Definición del caso de estudio de la red contra incendio.....	52
4	METODOLOGÍA.....	59
5	DESARROLLO	62
5.1	Comparación de dos simuladores hidráulicos.....	63
5.2	Simulación hidráulica del estado actual de la red contra incendio	71
5.3	Simulación hidráulica de la propuesta para la red contra incendio	73
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
6.1	Análisis Hidráulico.....	77

6.2	Análisis Financiero	84
7	CONCLUSIONES	88
8	BIBLIOGRAFÍA.....	91
9	ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 2-1 Detalle del hidrante de dos tomas	20
Figura 2-2 Detalle de hidrante de dos tomas con monitor	21
Figura 2-3 Distribución de válvulas de seccionamiento hidrantes y monitores	22
Figura 2-4 Conservación de materia en una malla	27
Figura 2-5 Suma de pérdidas de energía en una malla	28
Figura 2-6 Ejemplo de incrustaciones dentro de tubos de acero al carbón	41
Figura 3-1 Ruptura debido a corrosión externa en tubería metálica	54
Figura 3-2 Arreglo de una red contra incendio en un Complejo Petroquímico.....	57
Figura 3-3 Ruta hacia el punto hidráulicamente más desfavorable	58
Figura 4-1 Metodología utilizada en el presente trabajo	61
Figura 5-1 Simulación hidráulica de una red contra incendios en el software EPANET	64
Figura 5-2 Simulación hidráulica de una red contra incendios en el software EPANET	67
Figura 6-1 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas.....	79
Figura 6-2 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas.....	81
Figura 6-3 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas.....	82
Figura 6-4 Tiempo de vida de distintos materiales de tubería	83

Tabla 2-1 Diseño de consumo de hidrantes de acuerdo al diámetro de toma	18
Tabla 2-2 Diseño de consumo de monitores de acuerdo a las instalaciones.....	19
Tabla 2-3 Coeficiente de Hazen-Williams para tubería de fierro fundido	26
Tabla 2-4 Coeficientes de Hazen-Williams para diferentes materiales de tubería	29
Tabla 2-5 Coeficientes para las diferentes Fórmulas para calcular Pérdidas por Fricción.	33
Tabla 2-6 Lista de Materiales permitidos por la NFPA para tubería enterrada para servicio contra incendio.....	38
Tabla 2-7 Designación de Códigos Estándar para Composiciones de Tubos de PE Comerciales Disponibles Actualmente.....	47
Tabla 2-8 Aumentos de Presión Permisibles por encima de la PC o la PR para Tuberías hechas de PE4710 y PE3710.....	48
Tabla 2-9 Aumentos de Presión Permisibles por encima de la PC o la PR para Tuberías hechas de PE2708, PE3408, PE3608, PE3708 y PE4708	49
Tabla 2-10 Dimensiones de tuberías de acero normalizadas (IPS) para tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD).....	50
Tabla 5-1 Datos alimentados al simulador EPANET	64
Tabla 5-2 Datos alimentados al simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations.....	67
Tabla 5-3 Comparación de resultados entre los simuladores	69
Tabla 5-4 Condiciones de entrada y resultados del simulador	72
Tabla 5-5 Datos alimentados al simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations.....	74
Tabla 5-6 Condiciones de entrada y resultados del simulador	75
Tabla 6-1 Comparación de los resultados de las simulaciones	78
Tabla 6-2 Tabla Comparativa de Materiales	83
Tabla 6-3 Costo de Inversión Estimado.....	84
Tabla 6-4 Consideraciones Financieras	85
Tabla 6-5 Comparación financiera de ambos proyectos.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 9-1 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso Comparativo de Simuladores en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations	95
Anexo 9-2 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 1 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations	100
Anexo 9-3 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 2 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations	105
Anexo 9-4 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 3 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations	110

1 INTRODUCCIÓN

El sistema de protección contra incendios es una parte fundamental en la industria, ya que algún daño en las instalaciones de una empresa ocasionado por un siniestro de esta naturaleza afecta profundamente su economía. Se debe asumir la necesidad de una importante inversión en esta materia para asegurar y estar totalmente preparado ante una situación de riesgo. Lo anterior al menor costo posible.

La industria petrolera y petroquímica son pilares de muchas economías en Latinoamérica, paradójicamente en ésta zona geográfica no se cuenta con una sólida cultura de seguridad, lo cual se ha proyectado a la protección contra incendios, para la cual se cuenta con una variedad de normas, de las cuales algunas han sido adoptadas de Europa y la otra mayoría han sido parcialmente copiadas de Estados Unidos (Dominguez Betancourt, 2007).

El cumplimiento con un buen diseño de protección contra incendio implica la aplicación de Normas, Códigos y Reglamentos y un criterio común. Éste diseño se encamina hacia las más usadas, entre las que se encuentran la National Fire Protection Association (NFPA), American Petroleum Institute (API), American Society of Mechanical Engineers (ASME), National Electrical Manufacturers Association (NEMA), por mencionar las más importantes.

La protección contra incendios comprende varios componentes, uno de ellos es la red contra incendios la cual suministra el agua necesaria a aspersores, monitores, hidrantes y gabinetes. La red de agua contra incendio es por definición el conjunto de líneas de tubería, dispositivos y equipo de bombeo para salida de agua que formando anillos o circuitos sirven exclusivamente para distribuir y conducir respectivamente el agua contra incendio.

Un proyecto típico es el análisis de la red contra incendios de uno de los Complejos Petroquímicos que existen en este país. La mayoría de estos

Complejos se dieron al servicio a principios de la segunda mitad del siglo pasado. Sus bases de diseño, desde el punto de vista de protección contra incendios, estaban de acuerdo a la tecnología de la época. En aquella época era muy poco común el diseño hidráulico de redes de agua, sobre todo de redes en anillos.

Algo muy común en este tipo de industria es la utilización de la red contra incendios en labores de limpieza y mantenimiento de la planta, debido a la alta presión de la red de agua contra incendios. Consecuentemente, la red se deteriora y empieza a romperse hasta el punto en que se decide que es el momento de reemplazarla. Los criterios más importantes para considerar que ciertos tramos de tubería deben ser reemplazados son debido a que las pérdidas de presión por fricción son muy grandes y/o al espesor de la tubería es el mínimo aceptable (Moncada, 2007).

Estas redes tienen la característica de ser subterráneas, las cuales comúnmente cuentan con una tubería de acero al carbón, el cual con el paso del tiempo sufre de corrosión y otros problemas, lo cual repercute directamente en el flujo y la presión requerida del sistema. Esto trae como consecuencias fracturas y fugas en la tubería lo que ocasiona pérdidas en el consumo de agua y una mala operación debido al temor de los operadores de romper la tubería. La NFPA ya no permite desde el año 2007 la instalación de tuberías de acero al carbón en redes de protección contra incendio subterráneas (NFPA 24). Se propone cambiar el material de tubería subterránea debido a la necesidad de prolongar el tiempo de vida de estas redes, ya que las redes que están instaladas actualmente poseen un tiempo de vida mucho menor (15 años) al que deberían de tener (40 años) de acuerdo a su importancia.

1.1 Alcance

Este trabajo comprende los análisis y resultados de una propuesta de adecuación de una red de agua contra incendio por medio de una simulación del comportamiento hidráulico en un software comercial.

1.2 Planteamiento del problema

- Los Complejos Petroquímicos en México cuentan actualmente con tubería de acero al carbón en sus redes de protección contra incendio. La antigüedad de las redes ocasiona una mala operación en las mismas y una insegura protección contra incendios.

1.3 Objetivo General

- Realizar pruebas hidráulicas simuladas para analizar la posibilidad de un cambio en el material de tubería con el que se cuenta actualmente en la red de protección contra incendio de un Complejo Petroquímico de México

1.4 Objetivos Particulares

- Comparar las ventajas hidráulicas de un cambio en el material de tubería de acuerdo a las pruebas realizadas en el software de simulación.
- Analizar los beneficios que traería un cambio en el material de tubería de la red de protección contra incendio de un Complejo Petroquímico de México

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de protección contra incendio

La ingeniería de proyectos de seguridad industrial es la especialidad que se encarga de la aplicación de técnicas, normas, procedimientos, estándares o especificaciones reglamentarias, entre otras, sustentadas por todas las áreas y experiencias adquiridas en todos los campos encaminados a prevenir o evitar accidentes (Luis Reyes, 2009).

La ingeniería de seguridad en su rama de contra incendio engloba todos los factores de riesgo que pueden dar lugar a accidentes, de los cuales se produzcan daños a personas, bienes materiales o al ecosistema. Se entiende por riesgos “toda posibilidad de daño o pérdidas de los recursos humanos o materiales de una empresa”. Los riesgos a considerar son incendio, explosión y terremotos, por mencionar algunos, de los cuales los incendios y las explosiones son algunos de los riesgos más importantes a considerar.

Basados en lo anterior, el ingeniero de seguridad debe evaluar la potencialidad de estos riesgos a fin de evitarlos, determinando el riesgo existente a través de la aplicación de métodos y sistemas para prevención y/o corrección mediante un estudio de alternativas (PEMEX, 2001).

Otro aspecto que se debe considerar en este tema es el impacto ambiental, a fin de que la influencia del desarrollo industrial en el entorno humano no destruya el equilibrio ecológico. Se debe hacer énfasis a la armonía que debe existir entre el desarrollo humano y el medio ambiente, en la protección de los recursos naturales, su protección y su desgaste.

En el diseño de seguridad industrial de prevención y ataque contra incendio hay dos tipos: los sistemas fijos y los semifijos. Los sistemas fijos son aquellos que se componen de una instalación completa que no requiere de una fuente externa

para su funcionamiento y pueden ser el agua contra incendio, los sistemas dosificadores de espuma de presión balanceada; y el sistema de agente limpio y sistema de CO₂. En cuanto a los sistemas semifijos son los que requieren de una fuente complementaria para su funcionamiento, estos sistemas comprenden al sistema de espuma y los extintores.

2.1.1 El agua como agente extintor

El agua es el agente de extinción de fuego más comúnmente empleado en incendios pequeños, medianos y de grandes proporciones, esto se debe a su fácil manejo, transporte y almacenaje. Por su acción extintora se usa para enfriamiento, sofocación, emulsificación y dilución.

La extinción por enfriamiento consiste cuando el agua absorbe la mayor parte del calor del incendio cuando ésta se convierte en vapor, siendo su aplicación más eficaz en forma de gotas pequeñas, que son de 0.3 a 1.0 mm de diámetro. Para obtener mejores resultados el agua se debe aplicar con una velocidad suficiente y capaz de vencer la resistencia del aire, la gravedad, el viento, las llamas y el humo que se produce. Este tipo de extinción no es efectiva en líquidos cuya temperatura de inflamación está por debajo de los 38°C.

La extinción por sofocación es debido al desplazamiento de aire por el vapor producido cuando se lanza agua a un incendio, esto provoca la disminución del oxígeno necesario para la combustión y ahogando así el incendio.

El agua como agente para enfriamiento se utiliza para detener la liberación de vapores de la superficie de un líquido con la temperatura de vaporización y proteger al personal de la acción del calor radiante de ataque de fuego.

En cuanto a la calidad del agua, los suministros de agua que contengan sales o materiales análogos que afecten los sistemas de protección contra incendio, deben evitarse todo lo posible, de preferencia se debe utilizar agua limpia y dulce. Esta agua no debe emplearse para alimentar otras líneas que no sean la red contra incendio. En las instalaciones con sistemas de aspersión, siempre debe usarse agua limpia y dulce. En caso de utilizar agua salada, se debe efectuar un estudio que permita determinar el espesor total de pared del tubo, ya sea aplicando tolerancias para corrosión para acero al carbón o la utilización de otros materiales.

2.1.2 Red de agua contra incendio

La red de agua contra incendio es por definición el conjunto de líneas de tubería, dispositivos y equipo de bombeo para salida de agua que formando anillos o circuitos sirven exclusivamente para distribuir y conducir respectivamente el agua contra incendio a los puntos necesarios, en los cuales se conectan los hidrantes, monitores o torrecillas y otros dispositivos (PEMEX, 2007).

Deberá preocuparse que la red de distribución de agua forme circuitos cerrados en las áreas y zonas a proteger, contando con las facilidades para que puedan aislarse por medio de válvulas y además con sus respectivas salidas para hidrantes, monitores y sistemas fijos de aspersión.

Un hidrante es el dispositivo para salida de agua, integrado a la red de agua para servicio contra incendio; con una o dos tomas para conectar mangueras (ver Figura 2-1) (PEMEX, 2001). Es importante mencionar que en la industria se prefieren los hidrantes del tipo convencional con dos tomas para manguera, pero cuando estos no se utilicen se pueden fabricar con especificaciones listadas. Los hidrantes deben ser diseñados para que por cada toma proporcione los consumos mostrados en la Tabla 2-1. En las áreas de instalaciones de proceso y

almacenamiento de productos altamente inflamables, los hidrantes se deben colocar a una distancia entre 30 y 50 m. En áreas de almacenamiento de productos inflamables a una distancia no mayor de 100 m. En áreas de edificios administrativos, oficinas y almacenes de productos no inflamables a una distancia entre 75 y 90 m. En el caso de edificios con varios pisos, cada piso debe considerarse como un área diferente; entiéndase por área a la parte de una zona que queda protegida por parte de un ramal de la red de tuberías, la zona es el conjunto de áreas o parte de una planta industrial que queda protegida por una red de tuberías.

Tabla 2-1 Diseño de consumo de hidrantes de acuerdo al diámetro de toma

Diámetro Nominal	Consumos	
	LPS	GPM
38 mm (1 ½")	6	100
63 mm (2 ½")	16	250

(PEMEX, 2001)

Se da el nombre de monitor o torrecilla a un dispositivo con boquilla, de preferencia regulable, para dirigir un chorro de agua compacto o en forma de neblina; con mecanismos que permitan girar la posición de la boquilla 120° en el plano vertical y 360° en el plano horizontal y a la vez mantenerla estable en la dirección deseada (ver Figura 2-2) (PEMEX, 2001). Los monitores deben diseñarse para que cada uno proporcione el gasto requerido de acuerdo a las instalaciones de proceso, ya sean refinerías o plantas petroquímicas, según la Tabla 2-2. Los monitores se deben colocar de acuerdo al alcance que tengan con chorro y niebla, disposición, forma y riesgo inherente del equipo por proteger.

Tabla 2-2 Diseño de consumo de monitores de acuerdo a las instalaciones

Procesos	Consumos	
	LPS	GPM
De Refinación	31	500
De Petroquímica	61	1000

(PEMEX, 2001)

Las válvulas de seccionamiento son las válvulas que sirven para aislar una determinada parte del sistema contra incendio o una determinada fuente de abastecimiento (ver Figura 2-3).

Los sistemas fijos de aspersión de agua se emplean particularmente en recipientes para gas, llenaderas, recipientes que contengan líquidos inflamables, por mencionar los más importantes, para protegerlos de la radiación de un incendio adyacente, ya que éste incrementa la temperatura y presión de los líquidos y gases almacenados o en proceso.

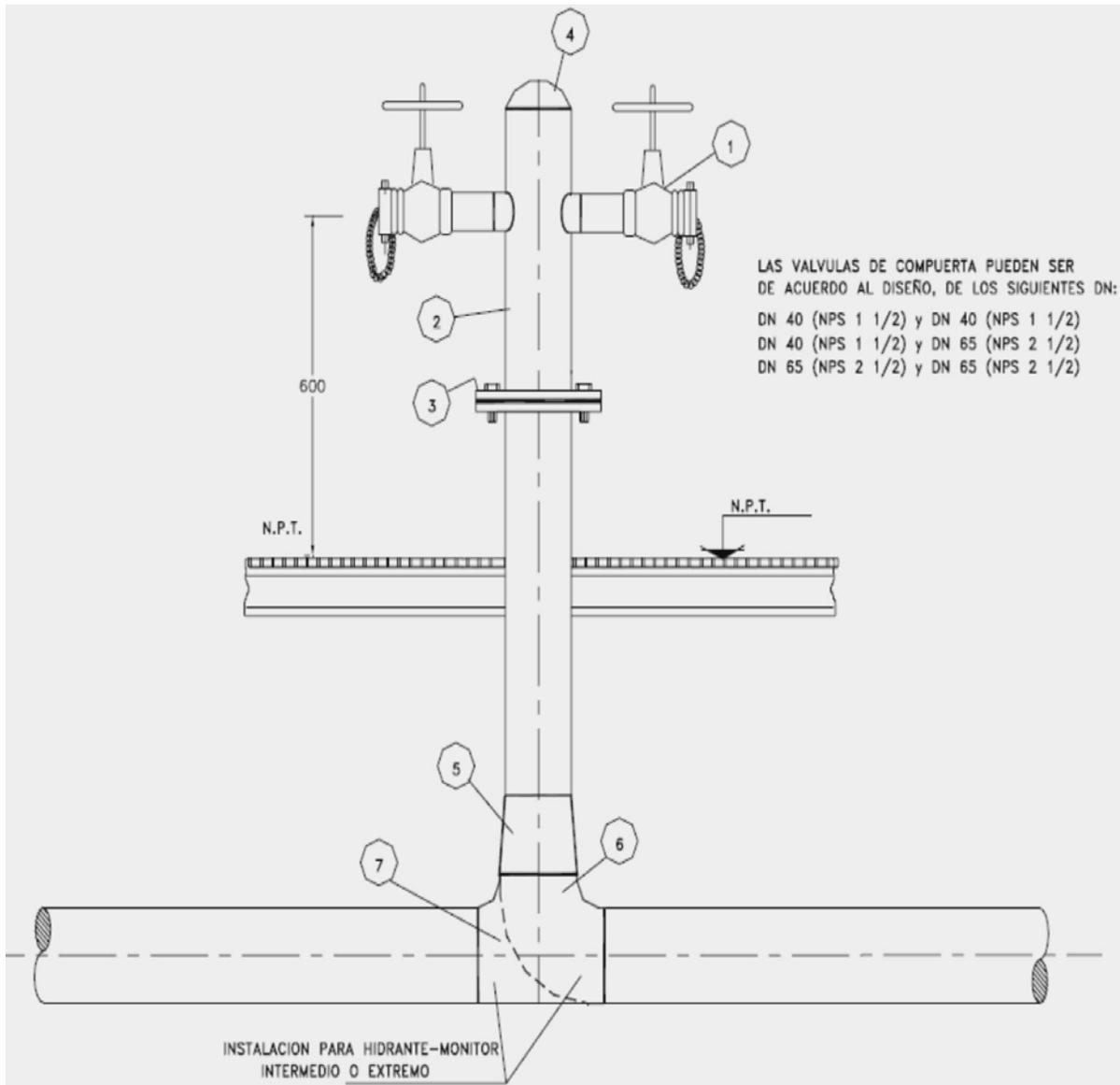


Figura 2-1 Detalle del hidrante de dos tomas

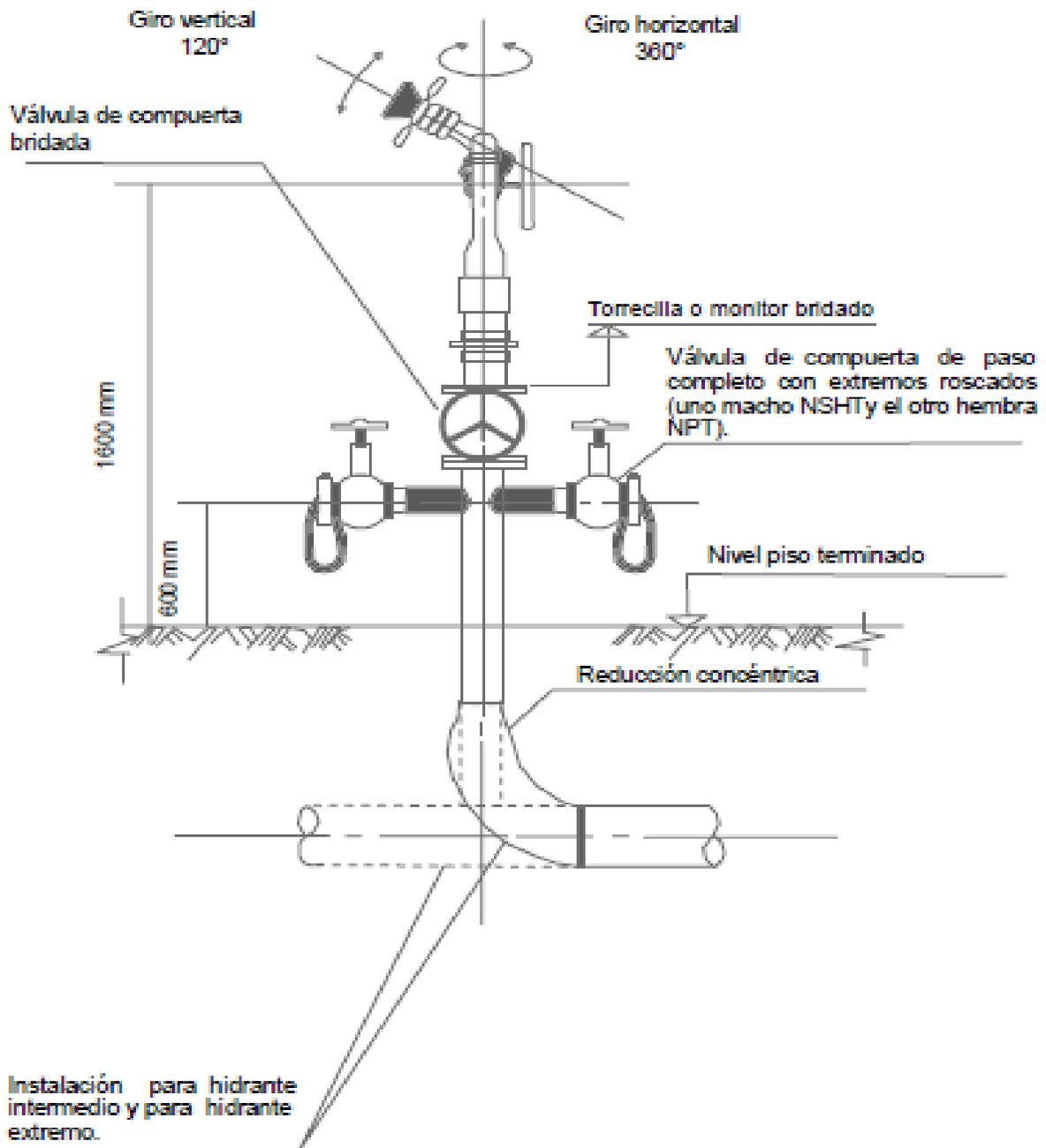
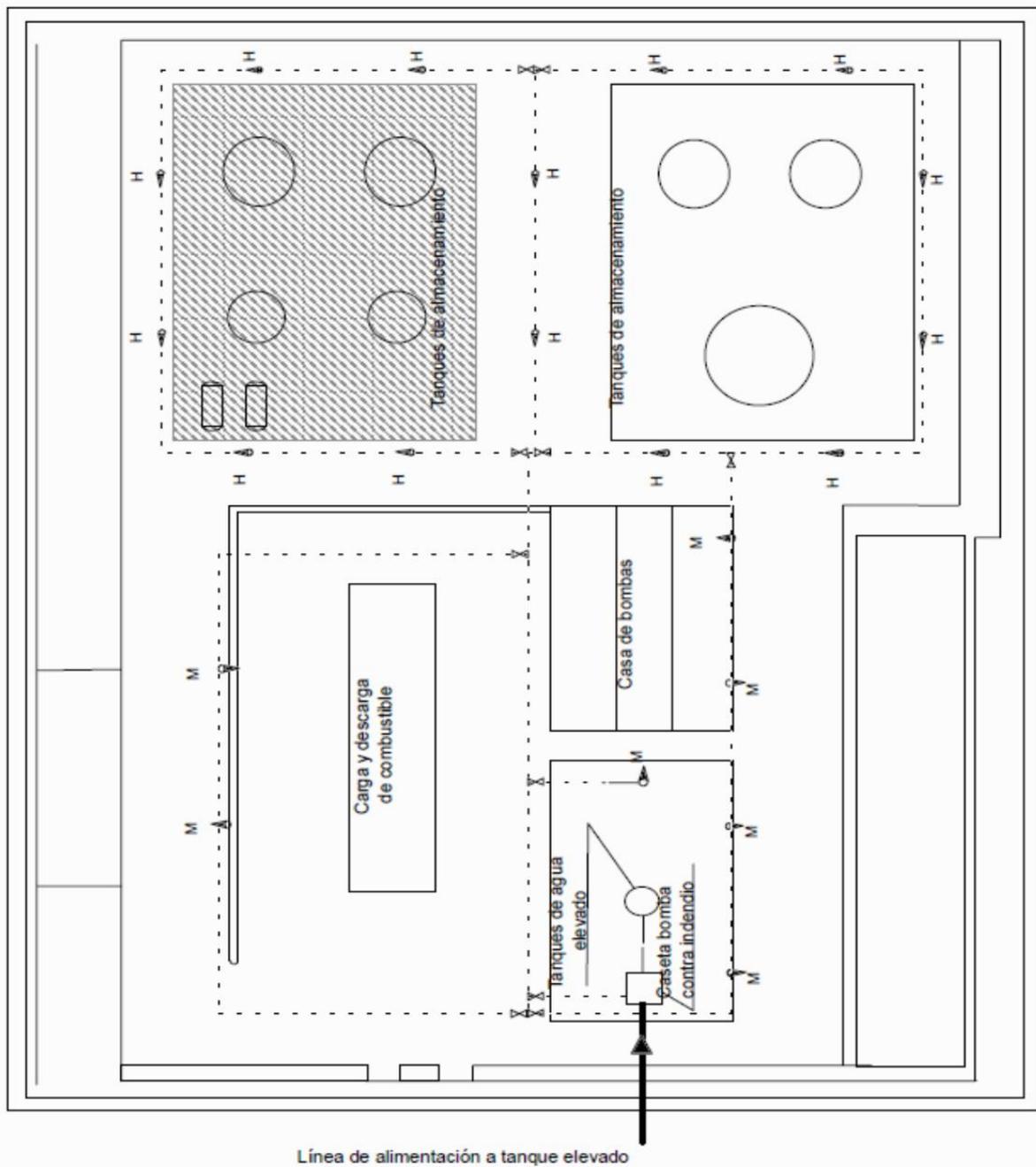


Figura 2-2 Detalle de hidrante de dos tomas con monitor



- Clave**
- M Monitor con hidrante
 - H Hidrante
 - Red contra incendio
 - | Válvula de seccionamiento
 - < Zona
 - Area

Figura 2-3 Distribución de válvulas de seccionamiento hidrantes y monitores

Para el diseño de una red contra incendio, las condiciones básicas que se deben tomar en cuenta para lograr un buen diseño de sistema de agua para servicio contra incendio en las instalaciones industriales (PEMEX, 2001), son las siguientes:

1. Consumo de agua, en litros por segundo (LPS) o galones/min (GPM)
2. Tiempo que debe mantener el suministro
3. La presión de descarga que debe tener el agua en la salida de los hidrantes o monitores más alejados (nunca menor de 7 kg/cm^2 manométrica)

Estas tres condiciones se determinan de acuerdo con las dimensiones de la instalación y contra el riesgo mayor.

Los sistemas de agua para servicio contra incendio se componen normalmente de:

1. Una fuente de abastecimiento de agua con un volumen tal que pueda satisfacer las necesidades de demanda.
2. Un sistema de bombeo que proporcione el agua en la cantidad y presión requerida de acuerdo con las necesidades y contra el riesgo mayor en cada caso.

La fuente de abastecimiento puede ser primaria, esta clase de fuente es cuando es exclusiva para el sistema de agua contra incendio. En cambio, la fuente de abastecimiento secundaria se utiliza para otra cosa, ejemplo agua de enfriamiento, agua de servicios, agua tratada y no es exclusiva para agua contra incendio.

La capacidad de la fuente primaria debe determinarse en función del gasto máximo requerido para el riesgo mayor que se tenga en la instalación que se va a proteger y el tiempo durante el cual el agua debe ser aplicada.

La capacidad de almacenamiento de la fuente secundaria debe ser capaz de mantener el gasto necesario en caso de incendio. En general, la capacidad de almacenamiento depende de la extensión, localización y peligrosidad del área por proteger. En algunos casos puede utilizarse el agua contenida en las torres de enfriamiento, plantas de tratamiento y otras, pero este volumen no debe considerarse como almacenamiento de la fuente secundaria.

En áreas fuera de las instalaciones industriales, áreas de acceso y en lugares en donde el clima lo permita, la tubería se puede instalar superficialmente o en trincheras poco profundas, cubiertas con rejillas. En áreas de instalaciones industriales, o lugares donde la temperatura ambiente baja de 0°C se debe enterrar a una profundidad de 750 mm.

En las instalaciones de proceso y en sus áreas de almacenamiento se debe procurar que la red de agua contra incendio forme anillos que contengan 12 hidrantes y/o monitores como máximo, debiéndose instalar válvulas de seccionamiento superficiales en lugares que permitan aislar secciones del sistema de tubería cuando haya necesidad de efectuar reparaciones o ampliaciones.

Para seleccionar la tubería se debe considerar como mínimo la capacidad, la presión máxima de trabajo, las condiciones del medio, las cargas externas y la calidad del agua. De acuerdo a la NFPA 24 no debe ser instalada tubería de menos de 6 pulgadas de diámetro como un servicio principal privado de suministro a hidrantes.

2.1.3 Hidráulica de protección contra incendios

La hidráulica de protección contra incendios, una parte de la mecánica de fluidos, estudia el flujo de agua que pasa por la tubería y orificios. El cálculo y diseño de la

red es primordial en el desarrollo de un proyecto para definir las características del sistema, su fuente de suministro, el equipo de bombeo, los diámetros de la tubería que garanticen el consumo requerido en los hidrantes, los monitores y las espreas para el ataque al fuego.

Para calcular la red de distribución de agua contra incendio, de acuerdo a los criterios de cálculo, se debe cumplir con lo siguiente (PEMEX, 2007):

- a) La presión disponible en el hidrante o monitor de localización más desfavorable será de 7 kg/cm² como mínimo.
- b) El gasto proporcionado será suficiente para alimentar la cantidad de mangueras, monitores y cualquier otro sistema contra incendio que deba emplearse simultáneamente para combatir el incendio de riesgo mayor existente en la instalación.
- c) Las pérdidas a través del hidrante no deben ser mayores de 0.14 kg/cm². Al estar trabajando con su gasto máximo.
- d) La capacidad de las bombas debe ser tal que permita mantener los gastos y presiones requeridas para combatir el incendio de un riesgo mayor existente en la instalación. La capacidad nominal de las bombas que se instalen pueden ser: 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 y 2500 GPM.
- e) La velocidad del agua para la selección del diámetro de la tubería, es de 1.83 a 3.66 m/s cuando se trate de agua dulce. Para redes de agua contra incendio que manejen exclusivamente agua salada, se debe considerar una velocidad de 1.22 a 2.44 m/s.

Para calcular la velocidad, caída de presión y gasto en cualquier tramo de la red contra incendio, se puede hacer uso de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Caída de Presión (P)} = \frac{4.524 Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

(PEMEX, 2001)

$$Gasto (Q) = 0.422d^{2.63} C \left(\frac{P_1 - P_2}{L} \right)^{0.54} = \frac{Cd^{2.63}p^{0.54}}{94.19} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

(PEMEX, 2001)

$$Velocidad (V) = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

(PEMEX, 2001)

Donde:

V= Velocidad en ft/s, m/s

Q=Gasto en GPM o ft³/s, m³/s

C= Coeficiente de Hazen y Williams para el tubo depende del material y tiempo de uso (ver Tabla 2-3)

P= caída de presión en psi por cada 1000 pies de tubería.

D= Diámetro interior del tubo en pulg o m.

Tabla 2-3 Coeficiente de Hazen-Williams para tubería de fierro fundido

Clase de tubería	Coeficiente "C"
Tubería de fierro fundido, hierro o Tubería de acero con superficie interior lisa	
Tubería nueva	120
Tubería con 10 años de uso	110
Tubería con 15 años de uso	100
Tubería con 20 años de uso	90
Tubería con 30 años de uso	80

(PEMEX, 2001)

Manualmente, se puede resolver una red hidráulica, para hacerlo se puede utilizar el método de Hardy Cross, el método de aproximaciones sucesivas está basado en el cumplimiento de dos principios o leyes básicas y en iterar a partir de flujos

conocidos y estimados de la red y corrigiéndolos con un factor ΔQ hasta converger. Estos principios son:

- Ley de Continuidad de masa en los nudos
- Ley de conservación de la energía en los circuitos

La primera ley declara que la suma algebraica de los caudales en un nudo debe ser igual a cero. Esto significa que el gasto que entra en un nudo debe ser igual a la suma de los gastos que salen del nudo, como se puede observar en la Figura 2-4.

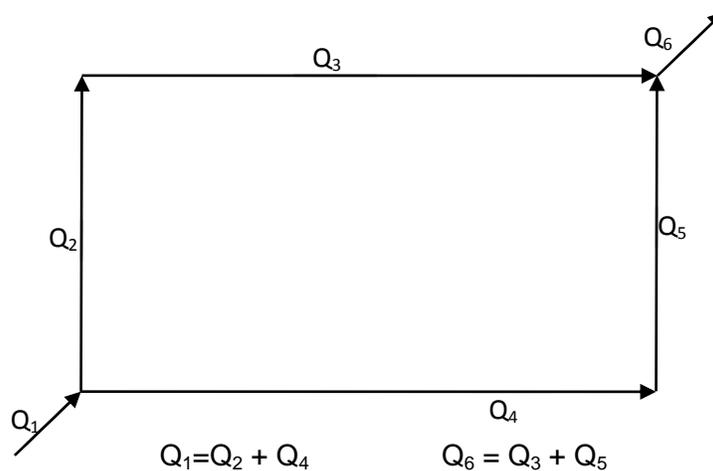


Figura 2-4 Conservación de materia en una malla

El planteamiento de la segunda ley implica el uso de una ecuación de pérdida de carga o de “pérdida” de energía, bien sea la ecuación de Hazen-Williams o la ecuación de Darcy-Weisbach. La suma de estas pérdidas de energía en una malla debe ser igual a cero, como se muestra en la Figura 2-5.

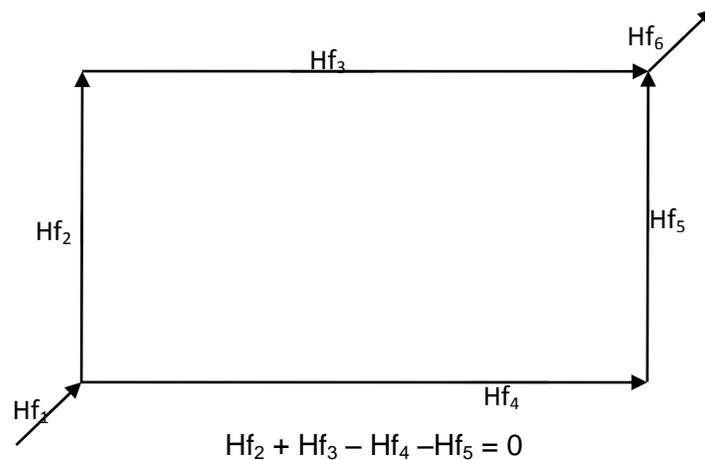


Figura 2-5 Suma de pérdidas de energía en una malla

La ecuación de Hazen-Williams, de naturaleza empírica, limitada a través de tuberías de diámetro mayor de 2", ha sido, por muchos años, empleada para calcular las pérdidas por fricción en los tramos de tuberías, en la aplicación del Método de 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 por fricción. La formulación de Hazen-Williams es la siguiente:

$$h = \frac{kL}{D^{1.16}} \left(\frac{V}{C} \right)^{1.85} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde,

D = Diámetro (en pies o m)

V = Velocidad (en pies/s o m/s)

C = factor de Hazen-Williams

L = Longitud en pies o m

k = 6.79 para V en m/s, D en m ó

k = 3.02 para V en pies/s, D en pies

Para la determinación del coeficiente de Hazen-Williams se puede medir en campo u obtenido en calibración. Este coeficiente da una idea de la rugosidad de las tuberías y es específico para cada sistema, es decir, a menor coeficiente C la tubería va a ser más rugosa y por lo tanto va a tener mayores pérdidas de carga. En promedio, el valor típico de C para una tubería muy lisa es de 150, para un diseño típico se puede considerar de 130, mientras que para tuberías viejas con tuberculación se considera un coeficiente C de 40. A continuación en la Tabla 2-4 se presentan algunos ejemplos de los valores del coeficiente de Hazen-Williams.

Tabla 2-4 Coeficientes de Hazen-Williams para diferentes materiales de tubería

Material de tubería	C
Cemento Asbestos	140
Bronce	130 – 140
Alcantarillado de Ladrillo	100
Hierro Fundido	
• Nueva	130
• 10 años	107 – 113
• 20 años	89 – 100
• 30 años	75 – 90
• 40 años	64 – 83
Concreto con recubrimiento	140
Molde de acero girado centrifugadamente	135
Cobre	130 – 140
Hierro Galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130 – 140
Plástico	140 – 150
Acero	
• Esmalte de Alquitrán de carbón	145 – 150
• Ribeteado	110
Hojalata	130
Cerámica Vitrificada	110 – 140

(Bentley Systems, 2008)

En cambio, la ecuación de Darcy-Weisbach, de naturaleza racional y de uso universal, casi nunca se ha empleado acoplada 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 que a su vez depende del caudal en las tuberías.

Existen diversos programas de computadora que realizan simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Por mencionar algunos ejemplos de simuladores hidráulicos se cuenta actualmente con el software EPANET, el cual se utiliza para redes de agua en general, mientras que también se cuenta con el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations el cual es especializado en redes de agua contra incendio.

2.1.3.1 Funcionamiento del software EPANET

EPANET es un programa para computadora desarrollado por la Environmental Protection Agency (EPA) y el National Risk Management Research Laboratory que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías y la presión en los nudos entre otras cosas, a lo largo del periodo de simulación. Su más reciente versión y actualmente utilizada es la 2.0 en Español.

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula las alturas piezométricas en los nudos y los caudales en las líneas, dados los niveles iniciales en los embalses y depósitos, y la sucesión en el tiempo de las demandas aplicadas en

los nudos. De un instante al siguiente se actualizan los niveles en los depósitos conforme a los caudales calculados que entran o salen de los mismos, y las demandas en los nudos y niveles en los embalses conforme a sus curvas de modulación. Para obtener las alturas y caudales en un determinado instante se resuelven simultáneamente las ecuaciones de conservación del caudal en los nudos y las ecuaciones de pérdidas en todos los tramos de la red. Este proceso conocido como “balance hidráulico”, requiere el uso de métodos iterativos para resolver las ecuaciones de tipo no lineal involucradas. EPANET emplea a tal fin el Método del Gradiente. Este método 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, puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas.

EPANET asume que las tuberías del modelo hidráulico están completamente llenas en todo momento, y por consiguiente que el flujo es a presión. Los principales parámetros de una tubería son:

- Los nudos inicial y final
- El diámetro
- La longitud
- El coeficiente de rugosidad (para calcular pérdidas de cargas)

Los resultados en una tubería contemplan:

- El caudal de circulación
- La velocidad del flujo
- La pérdida de carga unitaria

La pérdida de carga (o de altura piezométricas) en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse utilizando tres fórmulas de pérdidas diferentes:

- La fórmula de Hazen-Williams
- La fórmula de Darcy-Weisbach
- La fórmula de Chezy-Manning

La fórmula de Hazen-Williams es la más utilizada en los Estados Unidos de América. Sin embargo, no puede utilizarse para líquidos distintos del agua, y fue desarrollada originalmente sólo para flujo turbulento. Desde el punto de vista académico, la fórmula de Darcy-Weisbach es la más correcta, y es aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes. Finalmente, la fórmula de Chezy-Manning es utilizada usualmente para canales y tuberías de gran diámetro, donde la turbulencia está muy desarrollada.

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

$$h_L = Aq^B$$

Ecuación 2-5

Donde h_L = pérdida de carga (en unid. Longitud), q = caudal (en unidades volumen/tiempo), A = coeficiente de resistencia, y B = exponente del caudal. En la Tabla 2-5 se listan las expresiones del coeficiente de resistencia y el valor del exponente del caudal para cada una de las fórmulas de pérdidas indicadas. Cada

fórmula utiliza un coeficiente de rugosidad distinto, el cual debe determinarse empíricamente.

Tabla 2-5 Coeficientes para las diferentes Fórmulas para calcular Pérdidas por Fricción

Fórmula	Coeficiente de Resistencia (A)	Exponente del Caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674C^{-1.852}d^{-4.871}L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827f(\varepsilon, d, q)d^{-5}L$	2
Chezy-Manning	$10.294n^2d^{-5.33}L$	2
Donde: C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams ε = Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m) 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)		

2.1.3.2 Funcionamiento del software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

El programa FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations está desarrollado por Elite Software que realiza los cálculos hidráulicos para sistemas automáticos de rociadores al igual que para redes de agua contra incendio, utilizando su versión 5.0 en sistema MS-DOS desarrollada en 1992. A través de los años, se han realizado muchos trabajos sobre los principios que gobiernan una red hidráulica; sin embargo, todas las teorías hidráulicas están basadas en los dos principios de la continuidad de la masa y continuidad potencial. Continuidad potencial significa que la diferencia de potencial total en cualquier circuito cerrado de una red hidráulica es cero. En otras palabras, la diferencia de presión entre dos puntos cualesquiera en una red es la misma no importando el camino que se tome.

Estos dos principios deben ser cumplidos antes de que una solución se considere la correcta. Mientras que estos requerimientos pueden ser simples y obvios, no es un trabajo sencillo para que una solución matemática encaje con las condiciones necesarias para cumplir con estos principios. Existen muchas variables en las redes hidráulicas y el diseñador debe tomar numerosas decisiones concernientes al arreglo de la red, los tamaños de la tubería, material de la tubería, caudales, velocidades y presiones. Para complicar más esto, todas estas variables están relacionadas entre ellas mismas.

FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations usa una variante del método de Hardy Cross/Newton Raphson para realizar los cálculos hidráulicos. Este método está orientado a los nodos, siendo los cambios en la presión de los nodos la variable independiente. El proceso de cálculo puede ser descrito de la siguiente forma:

- 1) Las presiones de Línea Hidráulica Gradual (LHG) son asumidas para cada nodo. Basados en las presiones LHG asumidas, una ecuación de continuidad de masa es escrita para cada nodo, balanceando la suma de todos los flujos que entran al nodo con la suma de todos los flujos que salen.
- 2) Las ecuaciones de continuidad de masa forman un sistema de ecuaciones no lineales describiendo matemáticamente las condiciones de flujo en la red. Cada una de estas condiciones no lineales es entonces diferenciada parcialmente con respecto a cada uno de los nodos que contiene.
- 3) Estas ecuaciones diferenciales parciales subsecuentemente forman un sistema de ecuaciones lineales que son resueltas simultáneamente usando matemáticas matriciales. Las soluciones a las ecuaciones lineales se convierten en las correcciones a la presión en los nodos que se aplican a las asumidas inicialmente.
- 4) Las presiones LHG de los nodos se revisan y son entonces aplicadas a las ecuaciones no lineales. Si las entradas y salidas de flujo están balanceadas

para cada nudo con su debida tolerancia, las condiciones de flujo han sido encontrados. De otro modo, otro ciclo de cálculo es iniciado para corregir nuevamente la presión en los nodos.

FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations provee dos modos de cálculo. Si la presión del agua en el nudo de entrada no es conocida, se está limitado a utilizar el método Demanda, lo que lleva una forma más lenta de cálculo. Para un cálculo más rápido con una presión de entrada conocida, debe ser utilizado el método Suministro.

En el modo Demanda, FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations desarrolla los cálculos hasta que la presión de suministro más baja del sistema satisface la presión residual mínima requerida para el nudo hidráulicamente más desfavorable (HMD). Mientras que en el modo Suministro el principal propósito es permitir al usuario comprobar si la presión residual en el nudo HMD es mayor o igual a la presión residual mínima requerida para un sistema con una presión de entrada dada.

El programa FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations utiliza la ecuación de Hazen-Williams para calcular las pérdidas por fricción:

$$p = \frac{4.52Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}}$$

Ecuación 2-6

También utiliza una forma alterna de la fórmula de Hazen-Williams para calcular el flujo que pasa por las tuberías:

$$Q = \frac{p^{0.5405} C d^{2.63}}{2.26} \quad \text{Ecuación 2-7}$$

En donde para ambas ecuaciones:

p = Pérdidas por fricción (psi/ft)

Q = Caudal (GPM)

d = Diámetro interno de la tubería (inch)

C = Coeficiente de pérdidas por fricción (GPM/inch psi)

2.2 Normatividad técnica aplicable

Para los sistemas contra incendio existen una variedad de normas, ejemplo de ellas son la NFPA y las Normas de Referencia PEMEX. Muchas veces una norma está referenciada al mismo tiempo de otra norma, ejemplo de ello es que las normas de referencia PEMEX están referenciadas a las normas NFPA.

Las normatividad técnica aplicable respecto a las redes de distribución de agua contra incendio de la NFPA son:

- NFPA 13 Norma para la instalación de sistemas de rociadores

- NFPA 14 Norma para la instalación de sistemas de tubería vertical y de mangueras
- NFPA 15 Norma para sistemas fijos de aspersores de agua para protección contra incendios
- NFPA 20 Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios
- NFPA 22 Norma para los tanques de agua para servicio privado de incendio
- NFPA 24 Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendio y sus accesorios
- NFPA 25 Norma para la inspección, pruebas y mantenimiento de sistemas hidráulicos de protección contra incendios

De acuerdo a la especificación técnica para proyectos de obras de PEMEX para Sistemas de Agua de Servicio Contra Incendio, en lugares donde el clima lo permita y en áreas fuera de límites de batería de las instalaciones de una planta, la tubería se puede instalar arriba del nivel de piso; mientras que en aquellos lugares donde existe el peligro de congelación, zonas de instalaciones de planta y en áreas de tránsito, la tubería debe ir enterrada y debe cumplir con las especificaciones necesarias y recomendaciones de la NFPA 24. Para evitar la corrosión externa en la tubería enterrada, debe protegerse mediante recubrimiento y en caso necesario completarse con protección catódica. En las tuberías enterradas, se deben prever la protección contra efectos de cargas externas que puedan dañarla: Esta protección puede llevarse a cabo por medio de trincheras, camisas o una mayor profundidad de su instalación, la tubería no debe pasar bajo construcciones o bodegas.

La norma NFPA 24 señala que las tuberías subterráneas deben estar listadas para servicio de protección contra incendio y los materiales deben cumplir con las normas de la Tabla 2-6.

De acuerdo a la NFPA, no debe ser utilizada tubería de acero para servicio subterráneo general a menos que este específicamente listada para tal servicio (NFPA, 2007). Listado se refiere al equipo, materiales o servicios incluidos en una lista publicada por una organización aceptable a la autoridad competente y encargada de evaluación de productos o servicios, que mantenga inspección periódica de la producción de los equipos o materiales listados o evaluación periódica de servicios y cuyo listado indique que el equipo, material o servicio cumple con las normas apropiadas o ha sido probado y encontrado adecuado para un propósito especificado.

Tabla 2-6 Lista de Materiales permitidos por la NFPA para tubería enterrada para servicio contra incendio

Materiales y Dimensiones (Especificaciones)	Norma
Hierro Dúctil	
<i>Revestimiento de Cemento-Mortero para tuberías de Hierro Dúctil y Accesorios para Agua</i>	AWWA C104
<i>Encerramiento de Polietileno para sistemas de tubería de Hierro Dúctil</i>	AWWA C105
<i>Accesorios de Hierro Dúctil y Hierro Gris, 3 pulgadas hasta 48 pulgadas para Agua y otros Líquidos</i>	AWWA C110
<i>Uniones de empaquetadura de Caucho para Tubería a Presión y Accesorios de Hierro Dúctil</i>	AWWA C111
<i>Tubería Bridada de Hierro Dúctil con Bridas Roscadas de Hierro Dúctil o Hierro Gris</i>	AWWA C115
<i>Recubrimiento Epóxico de Protección Pegadas por Fusión para las Superficies Interior y Exterior de Accesorios de Hierro Dúctil y Hierro Gris para Servicio de Suministro de Agua</i>	AWWA C116
<i>Espesores de Diseño para Tubería de Hierro Dúctil</i>	AWWA C150
<i>Tubería de Hierro Dúctil, Formada Centrífugamente para Agua</i>	AWWA C151
<i>Accesorios Compactos de Hierro Dúctil para Servicio de Agua</i>	AWWA C153
<i>Norma para la Instalación de Tuberías Principales de Agua de Hierro Dúctil y sus Accesorios</i>	

Materiales y Dimensiones (Especificaciones)	Norma
<p>Acero <i>Tubería de Acero para Agua de 6 pulgadas y mayores</i> <i>Cubiertas y Revestimientos Protectores de Carbón-Alquitrán para Tubería de Acero para Agua Esmaltada y Encintada aplicada en Caliente</i> <i>Revestimientos y Cubiertas Protectoras de Cemento-Mortero para Tubería de Acero para Agua de 4 pulgadas y Mayores Aplicadas en Taller</i> <i>Soldadura en Campo de Tubería de Acero para Agua</i> <i>Bridas de Tubería de Acero para Servicio de Acueductos, Tamaños de 4 pulgadas hasta 144 pulgadas</i> <i>Dimensiones para Accesorios de Tubería de Agua Fabricados en Acero</i> <i>Una Guía para Diseño e Instalación de Tubería de Acero</i></p>	<p>AWWA C200 AWWA C203 AWWA C205 AWWA C206 AWWA C207 AWWA C208 AWWA M11</p>
<p>Concreto <i>Tubería de Presión en Concreto Reforzado, Tipo Cilindro de Acero para Agua y otros Líquidos</i> <i>Tubería de Presión en Concreto Pretensado, Tipo Cilindro de Acero para Agua y otros Líquidos</i> <i>Tubería de Presión en Concreto Reforzado, No del Tipo Cilindro de Acero, Pretensado, para Agua y otros Líquidos</i> <i>Tubería de Presión en Concreto Reforzado, Tipo Cilindro de Acero, Pretensado, para Agua y otros Líquidos</i> <i>Norma para Tubería de Distribución de Asbesto-Cemento, 4 pulgadas hasta 16 pulgadas, para Agua y Otros Líquidos</i> <i>Práctica Normativa para la Selección de Tubería de Asbesto-Cemento para Agua</i> <i>Revestimiento de Cemento-Mortero para Líneas de Tubería para Agua de 4 pulgadas y más, en el Sitio</i> <i>Norma para la Instalación de Tubería de Agua de Asbesto-Cemento</i></p>	<p>AWWA C300 AWWA C301 AWWA C302 AWWA C303 AWWA C400 AWWA C401 AWWA C602 AWWA C603</p>
<p>Cobre <i>Especificación para Tubo de Cobre sin Costura</i> <i>Especificación para Tubo de Cobre para Agua sin Costura</i> <i>Requisitos para Tubo de Cobre Forjado sin Costura y Tubo de Aleación de Cobre</i></p>	<p>ASTM B75 ASTM B88 ASTM B251</p>
<p>Plástico <i>Tubería de Presión de Cloruro de Polivinilo (PVC) de 4 pulgadas hasta 12 pulgadas, para Agua y Otros Líquidos</i> <i>Tubería y Accesorios a Presión en Polietileno (PE), 4 pulgadas (100 mm) hasta 63 pulgadas (1575 mm) para Distribución y Transporte de Agua</i></p>	<p>AWWA C900 AWWA C906</p>

(NFPA, 2007)

La tubería debe ser diseñada para resistir una presión de trabajo del sistema no menor a 150 psi. El tipo y clase de tubería para una instalación subterránea particular debe ser determinado a través de la consideración de los factores siguientes:

- 1) Resistencia al fuego de la tubería
- 2) Presión de trabajo máxima del sistema
- 3) Profundidad a la cual va a ser instalada la tubería
- 4) Condiciones del suelo
- 5) Corrosión
- 6) Susceptibilidad de la tubería a otras cargas externas, incluyendo cargas de tierra, instalación bajo edificios y cargas de tráfico o vehículos.

2.3 Propuesta para la red contra incendio

Para realizar una propuesta para la tubería de la red de PCI, se deben tomar en cuenta las características de la tubería a seleccionar y verificar si son apropiadas para los requerimientos del sistema.

Al considerar el diseño de tuberías, generalmente los tubos se dividen en dos categorías:

- Rígidos
- Flexibles

Los tubos rígidos son aquellos que no aceptan deflexión sin que se presente una falla estructural. Ejemplo de este tipo de tubos son los de concreto, barro y de hierro.

Los tubos flexibles son definidos como aquellos que se deflecan por lo menos un 2% sin que se presente una falla en su estructura, los materiales que entran en esta clasificación son los de acero, aluminio y plástico. Dentro de los tubos flexibles existen los tubos elásticos y los visco elásticos. En la primera categoría están los tubos de metal y PVC; mientras que el polietileno es un material visco elástico.

Los diferentes tipos de tubería pueden tener diferentes límites de desempeño de acuerdo al tipo, material y diseño de la pared. La resistencia a los esfuerzos en la pared debidos a cargas externas es crítico para la tubería rígida, mientras que para la tubería flexible, la rigidez es importante para resistir la deflexión y el posible pandeo.

Generalmente para este tipo de servicio contra incendio se cuenta actualmente con tubería de acero al carbón, el cuál presenta varias desventajas, una de ellas y tal vez la más importante son las incrustaciones que se generan por la calidad del agua que fluye por el sistema. Otra desventaja es la necesidad del recubrimiento catódico en el caso de las tuberías enterradas, ya que sin este y debido a la electrólisis causada por el suelo habría una fuerte corrosión en los tubos.



Figura 2-6 Ejemplo de incrustaciones dentro de tubos de acero al carbón

Como se mencionó anteriormente, y de acuerdo a la norma NFPA 24, su listado de materiales y los requisitos para la selección del material de tubería, se plantea como propuesta el Polietileno de Alta Densidad (PEAD).

2.3.1 Tubería de Polietileno de Alta Densidad

El sistema de tuberías de PEAD es liviano, flexible, resistente a los agentes químicos y a la abrasión, lo que le permite sus usos en diferentes tipos de aplicaciones.

La tubería de PEAD también está protegida contra la degradación causada por los rayos ultravioleta y el calor, por lo que tiene una larga duración en instalaciones al aire libre, pero este no es el caso de interés, pues de acuerdo a la especificación técnica de sistema contra incendios, la tubería para servicio contra incendio dentro de las zonas de instalaciones de planta y del límite de batería debe ir enterrada.

Para la tubería de PEAD se utiliza polietileno de alta densidad y alto peso molecular PE 3408. La especificación técnica va según la norma AWWA-C906 y ASTM-F714. La tubería de PEAD presenta las siguientes características:

- Resistencia química: La tubería de PEAD tiene una resistencia química sobresaliente. La mayoría de los agentes químicos, ácidos, sales y suelos son calientes, no atacan a la tubería de polietileno de alta densidad, ni le causan degradación. No se oxida, pudre o corroe. No permite desarrollo de bacterias o algas.
- Factores de flujo: La tubería de PEAD tiene una superficie interior sumamente lisa. Mantiene excelentes propiedades de flujo durante toda su vida de servicio debido a su sobresaliente resistencia a la abrasión y agentes químicos. Gracias a sus paredes lisas y con características no mojantes, se cuenta con una capacidad de caudal mayor y menor pérdida

por fricción, lo que se traduce en ahorros en el costo de operación. En la ecuación de Hazen-Williams se emplea un factor “C” de 150 para caudal de flujo presurizado y con la fórmula de Manning se emplea un factor “n” de 0.009 para el fluido por gravedad.

- Son tubos aislantes térmicos y eléctricos, por lo cual las corrientes vagabundas y telúricas que afectan a los tubos metálicos aquí no existen, por lo que los efectos de electrolisis que destruyen los tubos enterrados no les afectan.
- Entierro directo de la tubería: La tubería de PEAD se entierra utilizando prácticas de diseño de sistema de tubería flexible y suelo. Realmente, la tubería se vuelve más resistente con la tierra que la rodea, lo que le permite soportar cargas adicionales. Mediante la selección apropiada de tubería y relleno se puede enterrar a profundidades superiores a 30 m.
- Debido a la facilidad de manejo, este tipo de tubería se coloca rápidamente en la cepa con el mínimo de espacio abierto. Al comparar tuberías similares se encontró que las tuberías de PEAD pesan 8 veces menos que el acero (cédula 40) y 3 veces menos que el asbesto cemento, lo que genera ahorros considerables en el manejo para acarreo e instalación de éstos sistemas, principalmente en zonas montañosas o lugares de difícil acceso.
- Se puede usar en aplicaciones a presión, hasta una temperatura de operación de 60°C para temperaturas mayores se utiliza en aplicaciones de corto plazo y en fluidos por gravedad. Para bajas temperaturas se han efectuado pruebas y se ha comprobado que sus propiedades se ven incrementadas, mantiene su flexibilidad e integridad a temperatura de -117.8°C

La tubería de PEAD es suave, no porosa y tiene superficies no mojantes. Con la naturaleza no porosa de la tubería de PEAD, el factor C no cambia con el tiempo. La tubería no se oxida, pudre, agujerea ni se corroe. Con la combinación del factor C de 150 y el hecho de que la tubería no cambia con el tiempo, da como resultado

un menor costo de operación. Entonces como la superficie de la tubería no cambia, los costos de bombeo permanecerán bajos.

Los accesorios de un sistema de tuberías crean pérdidas de carga o de presión. Estas caídas de presión son causadas debido a la turbulencia adicional que se causa cuando el fluido fluye por el accesorio. En muchas situaciones esta tubería puede ser doblada y el número de accesorios disminuye, lo que beneficia al sistema al haber menores pérdidas de carga.

Este sistema de tubería y conexiones de PEAD debido a su avanzada técnica, ofrece la mejor alternativa para la conducción de fluidos de muy diversas naturalezas. Uno de los principales problemas en el tendido de tuberías de todos los otros sistemas que transportan fluidos los constituye su unión, la gran mayoría de las fugas son principalmente en esta parte del sistema, por tal motivo es de vital importancia que la unión tenga las siguientes características: facilidad y rapidez de ejecución, hermeticidad total y económica. La unión entre tuberías y conexiones de PEAD básicamente se lleva a cabo por medio del sistema de termofusión, teniendo así una unión permanente y una hermeticidad total, formando un tramo de tubería continua y monolítica (una sola pieza). Este sencillo procedimiento visual utiliza temperaturas reguladas y presión para producir una junta fundida libre de fugas mucho más resistente que la misma tubería, tanto en tensión como en carga hidrostática, esto debido a que se fortalece su orientación molecular al llevarse a cabo éste proceso. Teniendo así, un sistema 100% confiable y seguro, y que nos ayuda a evitar problemas de fugas o pérdidas de agua, con ello ayudamos a hacer más eficiente el buen uso del agua. El sistema de unión por termofusión es una de las características que diferencian a éste de los sistemas convencionales.

La termofusión consiste en calentar ambos extremos de la tubería hasta alcanzar el grado de fusión necesario para que después, con una presión controlada entre

ambos extremos, se logre una unión monolítica más resistente que la tubería misma y 100% hermética. La unión se genera al compenetrarse ambas caras del tubo formando una misma pared, la pared del tubo tiene una ubicación molecular lineal, después del proceso de termofusión, las moléculas se conforman en una orientación molecular axial que la hace aún más sólida. No existe ningún producto químico o cementante que pueda unir la tubería o conexiones, pero se tiene la opción de poder realizar uniones mecánicas o de transición con válvulas, bombas u otro tipo de tuberías mediante el empleo de adaptadores bridados o adaptadores tuerca unión.

En todos los diámetros de la tubería de PEAD es posible disminuir considerablemente la cantidad de codos para el cambio de dirección (horizontal y vertical), debido a su gran flexibilidad se adapta a diferentes perfiles topográficos, generando ahorros considerables en conexiones y en tiempos de instalación.

El tiempo de vida útil estimado para la tubería en redes subterráneas que conducen agua a 23°C y en condiciones normales de operación es de 50 años, lo que supera con creces cualquier estimado de amortización en este capítulo de servicios públicos.

Los sistemas de tuberías de PEAD por sus características, pueden ser utilizados en diversos campos como son:

- Conducción de agua potable
- Sistemas de riego
- Minería y dragados
- Conducción de drenajes o aguas residuales
- Conducción de desechos industriales
- Conducción de gas natural o gas LP
- Procesos químicos en la industria en general
- Conductores eléctricos y de comunicación

- Redes contra incendio

Para establecer la propuesta de adecuación a cambiar el material de tubería de la red de agua contra incendio, se requiere precisar los requerimientos técnicos de la misma, y con base en esto seleccionar la tubería indicada de diámetro nominal de la tubería de PEAD.

El término RD, utilizado como referencia para establecer las diferentes clasificaciones de las tuberías de PEAD según su rango de presión de trabajo, es la abreviatura de Relación de Dimensiones. Esta se refiere a la proporción entre el diámetro exterior y el espesor mínimo de pared del tubo. Dentro de un mismo RD la proporción entre el diámetro exterior y el espesor de pared se mantiene constante. Esto significa que en un RD-17 el diámetro exterior es 17 veces mayor que el espesor de pared, esto sin importar del diámetro que se trate; por ejemplo una tubería de diámetro nominal de 4" (100 mm) con diámetro exterior real de 114.3 mm y un espesor de pared de 6.7 mm es un RD 17. O un tubo de 12" nominal (300 mm) con un diámetro exterior real de 323.8 mm y un espesor de pared de 19 mm es también un RD 17.

La RD establece las diferentes presiones de trabajo de la tubería de PEAD, siendo que para seleccionar la cédula correspondiente se deberá especificar la presión de trabajo a la cual se operará continuamente o en caso de un conato de incendio. En el caso del PEAD hay principalmente clasificaciones del material de acuerdo a su esfuerzo hidrostático de diseño (EHD), según la clasificación hay 800 y 1000 que se representan en los dos últimos dígitos de su clasificación, como se muestra en la Tabla 2-7. Una vez seleccionada la clasificación del material de acuerdo a su EHD, se calcula la RD necesaria para trabajar a condiciones de diseño de acuerdo a la Tabla 2-9 según sea el caso. En la Tabla 2-10 se muestran las dimensiones

nominales IPS de la tubería de PEAD así como su presión de trabajo correspondiente.

Tabla 2-7 Designación de Códigos Estándar para Composiciones de Tubos de PE Comerciales Disponibles Actualmente

Código designado Estándar	Denotación de los Dígitos en el Código		
	1er Dígito	2do Dígito	3er Dígito
	Número de celda basado en la Densidad en acuerdo con la ASTM D3350	Número de celda basado en la Resistencia a la Falla de Crecimiento Lento en acuerdo con ASTM D3350	Categoría de Esfuerzo Hidrostático de Diseño (EHD) Estándar para agua a 73°F (23°C) (psi)
PE2406	Celda número 2	Celda número 4	630
PE2708		Celda número 7	800
PE3408	Celda número 3	Celda número 4	800
PE3608		Celda número 6	
PE3708		Celda número 7	800
PE3710			1,000
PE4708	Celda número 4	Celda número 7	800
PE4710			1,000

Tabla 2-8 Aumentos de Presión Permisibles por encima de la PC o la PR para Tuberías hechas de PE4710 y PE3710

Relación de Diámetro Estándar (SDR)	Rango de presión estática (PR) o Clase de Presión (PC) para agua @ 73°F, psig	Aumento de Presión Momentánea Estándar Permisible por encima de la PC o PR			
		Permisión de Aumento Recurrente		Permisión de Aumento Ocasional	
		Aumento de Presión Permisible, psig	Resultante Cambio de Velocidad Repentino Permisible, fps	Aumento de Presión Permisible, psig	Resultante Cambio de Velocidad Repentino Permisible, fps
32.5	63	32	4	63	8
26	80	40	4.5	80	9
21	100	50	5	100	10
17	125	63	5.6	125	11.2
13.5	160	80	6.2	160	12.4
11	200	100	7	200	14
9	250	125	7.7	250	15.4
7.3	320	160	8.7	320	17.4

Tabla 2-9 Aumentos de Presión Permisibles por encima de la PC o la PR para Tuberías hechas de PE2708, PE3408, PE3608, PE3708 y PE4708

Relación de Diámetro Estándar (SDR)	Rango de presión estática (PR) o Clase de Presión (PC) para agua @ 73°F, psig	Aumento de Presión Momentánea Estándar Permisible por encima de la PC o PR			
		Permisión de Aumento Recurrente		Permisión de Aumento Ocasional	
		Aumento de Presión Permisible, psig	Resultante Cambio de Velocidad Repentino Permisible, fps	Aumento de Presión Permisible, psig	Resultante Cambio de Velocidad Repentino Permisible, fps
32.5	50	25	3.1	50	6.2
26	63	32	3.6	63	7.2
21	80	40	4	80	8
17	100	50	4.4	100	8.8
13.5	125	63	4.9	125	9.8
11	160	80	5.6	160	11.2
9	200	100	6.2	200	12.4
7.3	250	125	6.8	250	13.6

Para realizar la simulación hidráulica de la propuesta, se seleccionó la cédula SDR 11, ya que de acuerdo al estándar aprobado para tubería enterrada de polietileno de alta densidad de Factory Mutual, la tubería debe estar diseñada para una presión de operación mínima de 150 psi. De acuerdo a la Tabla 2-8 y Tabla 2-9, la SDR que atiende a este rango de presión estática (RP) mayor a 150 psi, independientemente de la calidad de polietileno, es la SDR 11 y la SDR 9. El principal factor de elección entre la SDR 11 y la SDR 9 es principalmente que la SDR 9 no posee los diámetros nominales necesarios para cumplir con el flujo requerido en este caso de estudio.

Tabla 2-10 Dimensiones de tuberías de acero normalizadas (IPS) para tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD)

Factor C: 150		SDR33			SDR26			SDR21			SDR17			SDR 13,6			SDR11		
Tubos en PE80		4,0 bar (58 psi)			5,0 bar (72.5 psi)			6,3 bar (91.4 psi)			8,0 bar (116 psi)			10,0 bar (145 psi)			12,5 bar (181.3 psi)		
Tubos en PE 100		5,0 bar (72.5 psi)			6,3 bar (91.4 psi)			8,0 bar (116 psi)			10,0 bar (145 psi)			12,5 bar (181.3 psi)			16,0 bar (232 psi)		
Nominal Size	Actual O.D.	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf	Min. Wall	Average I.D.	Weight lb/lf
3/4"	1.050"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.095"	0.848"	0.125
1"	1.315"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.120"	1.062"	0.197
1 1/4"	1.660"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.151"	1.340"	0.312
1 1/2"	1.900"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.173"	1.534"	0.409
2"	2.375"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.140"	2.079"	0.429	0.176"	2.002"	0.531	0.216"	1.917"	0.639
3"	3.500"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.206"	3.064"	0.932	0.259"	2.950"	1.153	0.318"	2.825"	1.387
4"	4.500"	0.138"	4.206"	0.831	0.173"	4.133"	1.03	0.214"	4.046"	1.262	0.265"	3.939"	1.54	0.333"	3.793"	1.906	0.409"	3.633"	2.294
5"	5.375"	0.165"	5.024"	1.186	0.207"	4.937"	1.47	0.256"	4.832"	1.801	0.316"	4.705"	2.197	0.398"	4.531"	2.718	0.489"	4.339"	3.272
5"	5.563"	0.171"	5.200"	1.27	0.214"	5.109"	1.574	0.265"	5.001"	1.929	0.327"	4.869"	2.353	0.412"	4.689"	2.912	0.506"	4.491"	3.505
6"	6.625"	0.204"	6.193"	1.801	0.255"	6.085"	2.233	0.315"	5.956"	2.736	0.390"	5.799"	3.338	0.491"	5.585"	4.13	0.602"	5.348"	4.971
7"	7.125"	0.219"	6.660"	2.083	0.274"	6.544"	2.582	0.339"	6.406"	3.165	0.419"	6.236"	3.86	0.528"	6.006"	4.779	0.648"	5.752"	5.75
8"	8.625"	0.265"	8.062"	3.053	0.332"	7.922"	3.784	0.411"	7.754"	4.637	0.507"	7.549"	5.657	0.639"	7.271"	7.001	0.784"	6.963"	8.425
10"	10.750"	0.331"	10.049"	4.742	0.413"	9.873"	5.878	0.512"	9.665"	7.204	0.632"	9.409"	8.788	0.796"	9.062"	10.875	0.977"	8.678"	13.089
12"	12.750"	0.392"	11.918"	6.671	0.490"	11.710"	8.269	0.607"	11.463"	10.134	0.750"	11.160"	12.362	0.944"	10.748"	15.298	1.159"	10.293"	18.412
14"	14.000"	0.431"	13.087"	8.044	0.538"	12.858"	9.97	0.667"	12.587"	12.218	0.824"	12.254"	14.905	1.037"	11.801"	18.445	1.273"	11.302"	22.199
16"	16.00"	0.492"	14.956"	10.506	0.615"	14.695"	13.022	0.762"	14.385"	15.959	0.941"	14.005"	19.467	1.185"	13.487"	24.092	1.455"	12.916"	28.994
18"	18.00"	0.554"	16.826"	13.296	0.692"	16.532"	16.48	0.857"	16.183"	20.198	1.059"	15.755"	24.638	1.333"	15.173"	30.491	1.636"	14.531"	36.696
20"	20.00"	0.615"	18.695"	16.415	0.769"	18.369"	20.346	0.952"	17.981"	24.936	1.176"	17.506"	30.418	1.481"	16.859"	37.643	1.818"	16.145"	45.304
22"	22.00"	0.677"	20.565"	19.863	0.846"	20.206"	24.619	1.048"	19.779"	30.172	1.294"	19.256"	36.805	1.630"	18.545"	45.548	2.000"	17.760"	54.818
24"	24.00"	0.738"	22.434"	23.638	0.923"	22.043"	29.299	1.143"	21.577"	35.907	1.412"	21.007"	43.801	1.778"	20.231"	54.206	2.182"	19.375"	65.237
26"	26.00"	0.800"	24.304"	27.742	1.000"	23.880"	34.385	1.238"	23.375"	42.141	1.529"	22.758"	51.406	1.926"	21.917"	63.617	2.364"	20.989"	76.563
28"	28.00"	0.862"	26.174"	32.174	1.077"	25.717"	39.879	1.333"	25.173"	48.874	1.647"	24.508"	59.618	2.074"	23.603"	73.781	2.545"	22.604"	88.795
30"	30.00"	0.923"	28.043"	36.934	1.154"	27.554"	45.779	1.429"	26.971"	56.105	1.765"	26.259"	68.439	2.222"	25.289"	84.697	2.727"	24.218"	101.934
32"	32.00"	0.985"	29.913"	42.023	1.231"	29.391"	52.086	1.524"	28.770"	63.835	1.882"	28.009"	77.869	2.370"	26.975"	96.367	2.909"	25.833"	116.67
34"	34.00"	1.046"	31.782"	47.44	1.308"	31.228"	58.814	1.619"	30.568"	72.064	2.000"	29.760"	87.907	2.519"	28.661"	109.332	3.091"	27.447"	130.93
36"	36.00"	1.108"	33.652"	53.186	1.385"	33.065"	65.922	1.714"	32.366"	80.791	2.118"	31.511"	98.553	2.667"	30.347"	121.96	3.273"	29.062"	146.78
42"	42.00"	1.292"	39.260"	72.392	1.615"	38.575"	89.727	2.000"	37.760"	109.966	2.471"	36.762"	134.141	3.111"	35.404"	166.8	---	---	---
48"	48.00"	1.477"	44.869"	94.552	1.846"	44.086"	117.194	2.286"	43.154"	143.629	2.824"	42.014"	175.205	3.556"	40.462"	217.895	---	---	---
54"	54.00"	1.662"	50.478"	119.668	2.077"	49.597"	148.324	2.571"	48.549"	182.298	3.176"	47.266"	222.547	---	---	---	---	---	---
63"	62.99"	1.938"	58.881"	162.98	2.423"	57.854"	202.01	3.000"	56.631"	247.8	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(Plastics Pipe Institute, 2da edicion)

3 CASO DE ESTUDIO

3.1 Definición del caso de estudio de la red contra incendio

La red de protección contra incendio tiene como función distribuir y conducir el agua de servicio contra incendio a través de todo el centro de trabajo cubriéndolo por completo para el ataque y mitigación de un conato de incendio. Sin el agua y la presión requerida, la red no cumpliría su finalidad, de allí la importancia de aprovechar este recurso al máximo para el buen funcionamiento de la red de protección contra incendio.

El buen funcionamiento del sistema de PCI depende enteramente de las condiciones físicas y a su vez de la presión de trabajo y requerida en el sistema, el uso que se le dé al agua de servicio que se emplea con esta función también recaerá en la eficiencia y eficacia del sistema de PCI. Para procurar un uso adecuado del agua de servicio contra incendio se deben evitar tomas parásitas pero sobre todo las fugas, ya que ambas reflejan directamente un déficit en la presión requerida por el sistema de PCI.

Una fuga se define, en este caso, como la salida o escape de agua en un sistema por una abertura provocada accidentalmente o producto de la corrosión en el material que transporta el fluido a lo largo del sistema. Mientras que una toma parásita es la inserción de accesorios para provocar una salida de líquido en un sistema de forma intencional, para darle un uso distinto al del propósito original para el que fue creado o diseñado.

Se cuenta con información de diferentes Complejos Petroquímicos de México en la cual se describe la identificación de problemas en cuanto a la tubería contra incendio y sus posibles causas. Dentro de estos, el problema más común es el

exceso de fugas en el sistema PCI; y sus posibles causas pueden ser varias: el poco mantenimiento que se le da a las tuberías subterráneas, el deterioro de la protección a la corrosión (protección catódica), la calidad de agua utilizada en el sistema y la falla de empaques y juntas.

La falla de empaques y juntas junto con la mala calibración en el apriete de conexiones entre la tubería y los accesorios provoca múltiples problemas como las fugas en juntas de tuberías, la vibración en los accesorios y fugas en accesorios. Mientras que la protección contra corrosión deteriorada y el poco mantenimiento a la tubería enterrada provocan problemas graves como el exceso de fugas tanto en tramos de tubería, en juntas de tubería y en accesorios y sus conexiones con la tubería, y otros problemas como la baja presión de descarga de la bomba.

Es importante mencionar que la tubería subterránea de acuerdo a la normatividad correspondiente debe contar con protección catódica que evitará la corrosión debido a la electrólisis del suelo y así evitar fugas futuras, esta protección anticorrosiva debe ser renovada y/o se le debe de dar mantenimiento cuando acabe su tiempo de vida útil. En caso de ser tubería tendida, a nivel de suelo, esta protección no es necesaria, pero la tubería para la red de agua de servicio contra incendio a nivel de suelo está sujeta a ciertas restricciones, es decir, la tubería puede ir a nivel de suelo siempre y cuando las condiciones climatológicas y de otra naturaleza lo permitan.

Otro rasgo importante de mencionar es que las fugas muchas veces se encuentran localizadas en las juntas de tubería y/o en las conexiones entre tubería y accesorio, esto se adjudica normalmente al efecto que tiene una mala instalación del sistema o aún más importante a la operación del sistema, es decir, cuando se

requiere mantener el sistema presurizado es importante que el sistema esté calibrado para soportar esta presión, de caso contrario lo primero que se ve afectado por este defecto son las juntas. El lugar más común donde se localizan las fugas son las juntas y esto es debido a la mala operación del sistema o a la mala instalación del mismo. Las pocas veces que un sistema puede presentar fugas en un tramo de tubería es debido a la corrosión externa como se muestra en la Figura 3-1.



Figura 3-1 Ruptura debido a corrosión externa en tubería metálica

Dentro de una inspección de la tubería de un sistema PCI se pueden encontrar diversos tipos de fugas, existen por supuesto fugas que son consideradas despreciables por el mínimo volumen (goteos en lapsos de tiempos muy prolongados) que se desperdicia en comparación con las cantidades con las que se opera el sistema. Existen también las fugas debido al rompimiento o fractura de la tubería subterránea. Este tipo de fugas es problemática debido a su naturaleza de ser enterradas, esto repercute en no poder medir con exactitud el volumen de

la fuga, pero si se puede observar una inundación en el piso, es por eso que se puede notar una fuga subterránea.

Las fugas mencionadas anteriormente repercuten directamente en el uso del agua, lo cual es importante tomar muy en cuenta si se desea hacer un análisis ambiental para el aprovechamiento de este líquido vital. En algunos casos el porcentaje de agua perdido en fugas en un centro puede reportarse hasta del 2% del agua total consumida por el centro de trabajo. Y la mayoría de estas fugas están localizadas subterráneamente en la tubería enterrada la cual presenta corrosión y rompimiento, debido a la falta de protección catódica anticorrosiva o inclusive a la mala selección del material de la tubería el cual es acero al carbón y no es adecuado para ir enterrado sin la protección y el mantenimiento correspondiente.

Las fugas en uniones de la tubería también son un problema muy común, esto es debido que al paso del tiempo y el movimiento del suelo la tubería enterrada puede desalinearse.

En los centros de trabajo petroleros y petroquímicos existen particularmente dos áreas de interés, las cuales son el área de mayor riesgo y el punto hidráulicamente más desfavorable. La zona de mayor riesgo es determinada de acuerdo a su naturaleza de mayor probabilidad de sufrir un conato de incendio, así como la necesidad de mayor volumen de agua para combatirlo en caso de que se presente uno.

Mientras que el punto hidráulicamente más desfavorable, se trata del hidrante o monitor que se encuentra en principio más alejado de la estación de bombeo,

siguiendo la trayectoria a través de la tubería. Para encontrar este punto, se deben tomar en cuenta no solamente la distancia recorrida por el agua dentro de la tubería, sino que también los diámetros los accesorios, los diámetros y principalmente las cotas. Las cotas son las elevaciones sobre el nivel de piso que generan una fuerza hidrostática que se debe vencer para que el agua que fluye alcance ese punto. En un centro en el cual se cuenta con todas las plantas y tuberías con la misma elevación o con diferencias menores que no son significativas, no se cuenta con este problema.

Para el presente trabajo, se identificó un arreglo típico de un Complejo Petroquímico, que se muestra en la Figura 3-2, en donde se puede identificar la red contra incendio con las líneas rojas y los hidrantes, monitores e hidrantes con toma para camión son los puntos rojos que pertenecen a esta misma red. Los hidrantes y monitores como se puede observar están localizados formando anillos, estos anillos por lo general cubren un área que puede ser una planta, un almacén o un edificio administrativo por mencionar algunas.



Figura 3-2 Arreglo de una red contra incendio en un Complejo Petroquímico

En este esquema se puede localizar el hidrante hidráulicamente más desfavorable. La ruta de la casa de bombas a este hidrante se traza en la Figura 3-3.

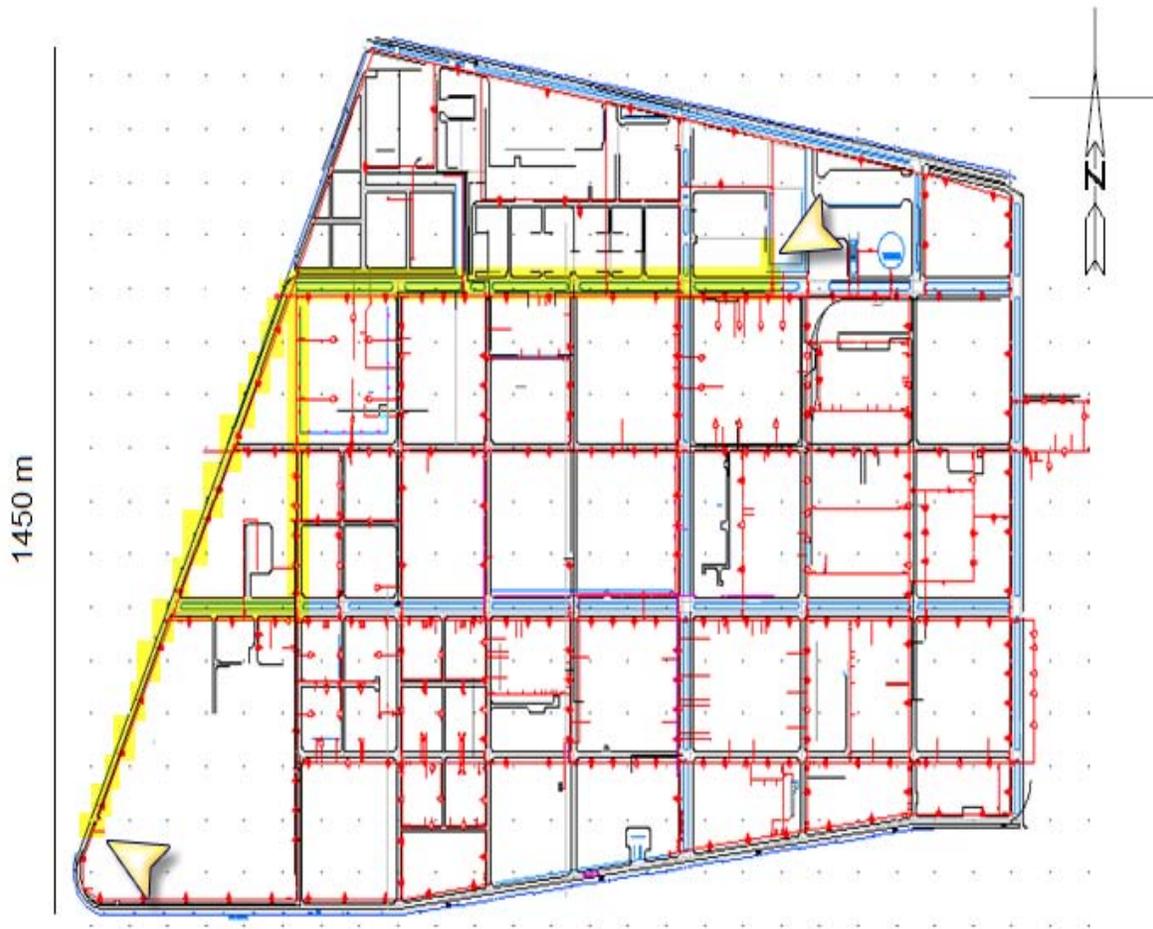


Figura 3-3 Ruta hacia el punto hidráulicamente más desfavorable

El caso de estudio abarca aproximadamente 1830 m de tubería de diámetro nominal 20" y 2710 m de tubería de diámetro nominal 14", ambas enterradas, hasta el hidrante hidráulicamente más desfavorable.

4 METODOLOGÍA

En el caso de estudio del presente trabajo de investigación se utilizará como modelo la situación que se presenta actualmente en uno de los Complejos Petroquímicos de México, se analizará el diagnóstico de la operación actual del sistema de PCI para lo cual se tomará como muestra un anillo de la red contra incendio de este Complejo. Específicamente se tomará el punto hidráulicamente más desfavorable para realizar pruebas hidráulicas en dos software de simulación hidráulica y se analizará los resultados verificándolos que cumplan con la normatividad. Más adelante se realizará la prueba correspondiente con la propuesta de este trabajo, se cambiará el tipo de material de la tubería en la simulación, y se analizarán los resultados comparándolos con la situación actual.

La metodología empleada para este trabajo se muestra en la Figura 4-1.

Para realizar las pruebas hidráulicas se utilizarán como herramientas dos software diferentes. Primero se realizarán en el software EPANET debido a que es más comúnmente utilizado en simulaciones de comportamientos hidráulicos. De igual forma se realizarán simulaciones hidráulicas en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations, que es un software más especializado en protección contra incendios.

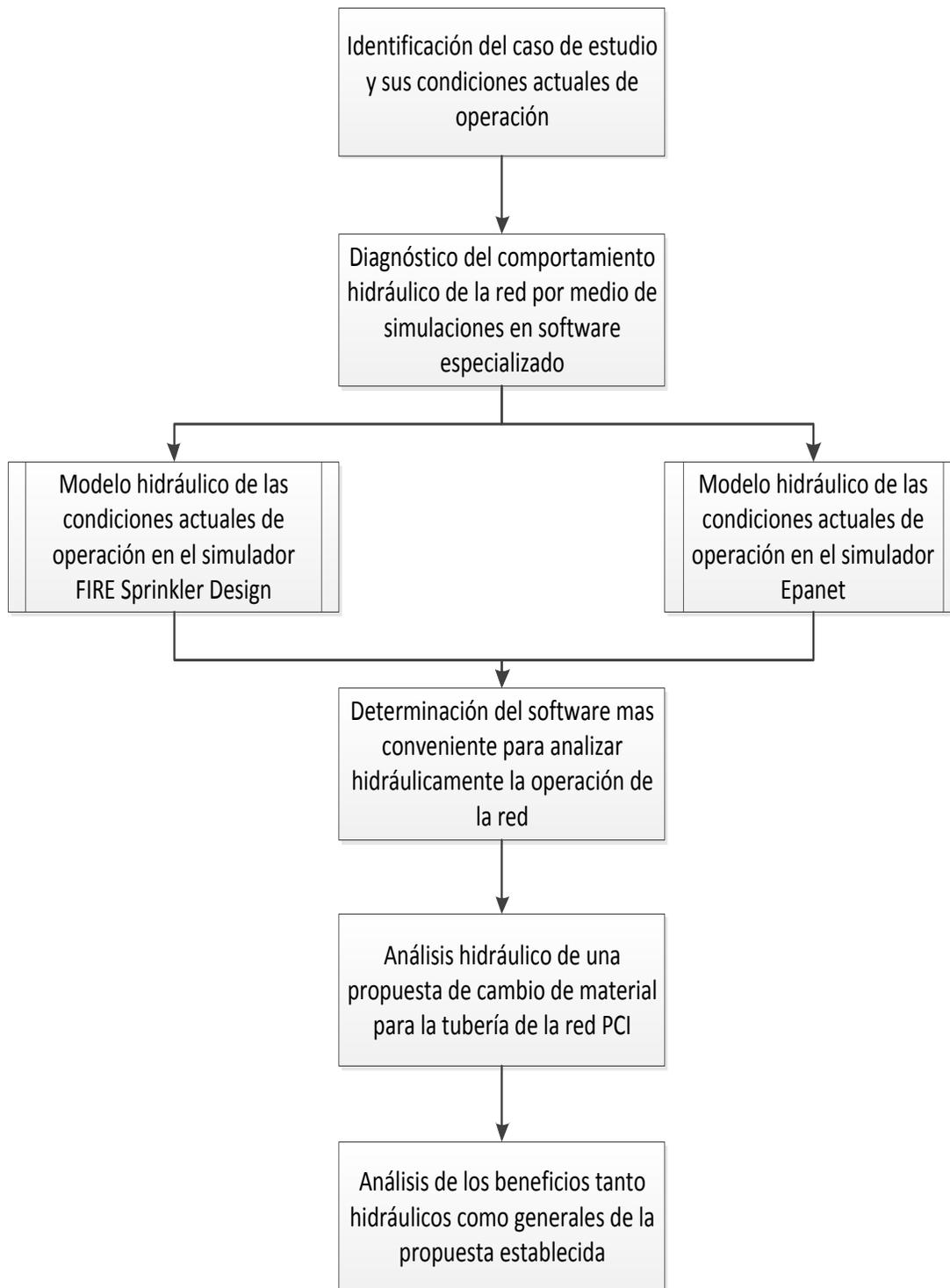


Figura 4-1 Metodología utilizada en el presente trabajo

5 DESARROLLO

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron que tomar en cuenta varios escenarios, así como la comparación de dos simuladores para elegir uno con el cual se realizarán las pruebas hidráulicas de la propuesta de este trabajo.

Dentro de los escenarios que se plantean, uno es la evaluación hidráulica respecto a la situación actual que presenta el sistema PCI de este Complejo Petroquímico, es decir, evaluándolo respecto a las pruebas in situ que se han realizado y creando una simulación que represente el estado actual de la red contra incendio.

Otro escenario es crear la simulación para que el sistema, sin tomar en cuenta la situación actual, cumpla hidráulicamente con la normatividad correspondiente. Es por eso que esta simulación demanda una presión de 7 kg/cm^2 en el hidrante hidráulicamente más desfavorable y con esta premisa se calculará el comportamiento hidráulico tanto con una tubería de acero nueva y una vieja (30 años) como con la propuesta de una tubería de PEAD.

5.1 Comparación de dos simuladores hidráulicos

De acuerdo a la información compilada y analizada, se realizó un diagnóstico de la operación de este sistema en el software EPANET, el cuál se utiliza para simular redes hidráulicas y su comportamiento en los tramos de tubería y en los nodos, como se puede observar en la Figura 5-1. Los datos de entrada que se le proporcionaron a la simulación fueron tales como los diámetros y las longitudes de la tubería, así como el coeficiente de rugosidad general para toda la tubería $C=80$ de acuerdo a la fórmula de Hazen-Williams, de acuerdo a la edad de la tubería instalada. Los datos alimentados se pueden observar en la Tabla 5-1.

Para realizar los cálculos de esta simulación, se requirió una demanda base en el hidrante (nodo 510) de 80 LPS (1268 GPM), este dato es tomado de pruebas in situ a la cual ha sido sometida el sistema PCI de este Complejo Petroquímico.

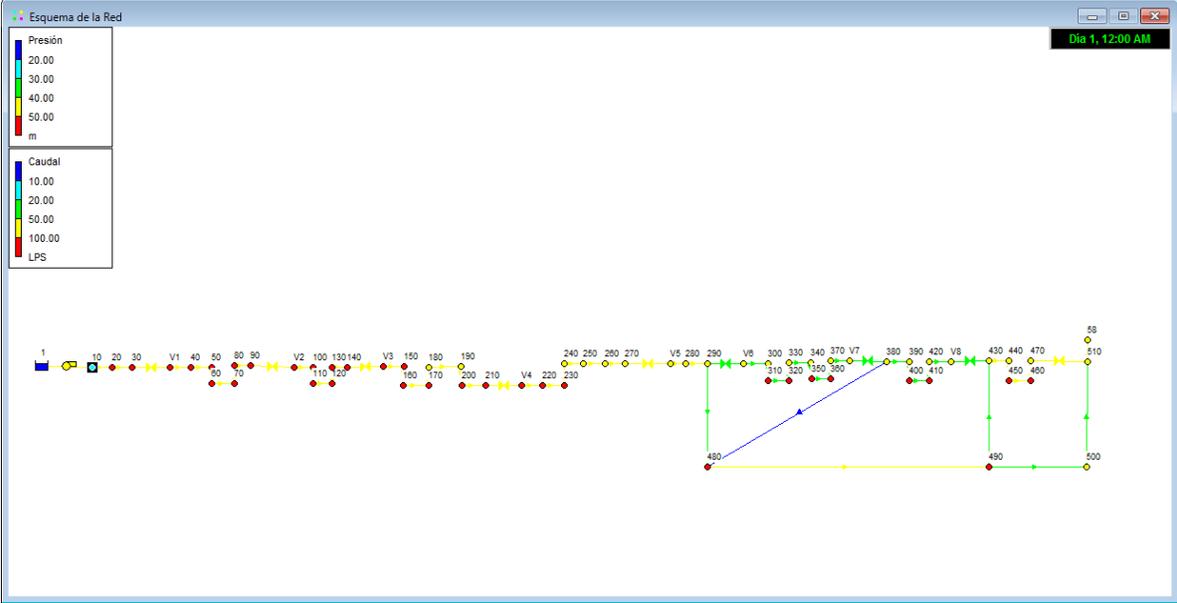


Figura 5-1 Simulación hidráulica de una red contra incendios en el software EPANET

Tabla 5-1 Datos alimentados al simulador EPANET

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Accesorio
1	10	20	36.1	508	
2	20	30	31.2	508	
3	V1	40	31.2	508	
4	40	50	100	508	
5	50	60	4	508	
6	60	70	13	508	
7	70	80	4	508	
8	80	90	22.5	508	
9	V2	100	22.5	508	
10	100	110	4	508	

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Accesorio
11	110	120	21	508	
12	120	130	4	508	
13	130	140	61	508	
14	V3	150	61	508	
15	150	160	4	508	
16	160	170	563	508	
17	170	180	4	508	
18	180	190	25	508	
19	190	200	4	508	
20	200	210	130	508	
21	V4	220	130	508	
22	220	230	250	508	
23	230	240	4	508	
24	240	250	7	508	
25	250	260	11	508	
26	260	270	7.5	508	
27	V5	280	7.5	508	
28	280	290	55.5	356	
29	V6	300	55.5	356	
30	300	310	4	356	
31	310	320	14	356	
32	320	330	4	356	
33	330	340	135	356	
34	340	350	4	356	
35	350	360	20	356	
36	360	370	4	356	
37	370	V7	138	356	
38	380	390	138	356	
39	390	400	4	356	
40	400	410	42	356	
41	410	420	4	356	
42	420	V8	198.5	356	
43	430	440	198.5	356	
44	440	450	4	356	
45	450	460	25	356	
46	460	470	4	356	
47	470	510	Sin Valor	356	Válvula
48	480	490	279.33	508	
49	490	500	468.91	356	

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Accesorio
50	500	510	495	356	
51	290	480	251.29	356	
52	380	480	151.77	356	
53	490	430	294.2	356	
101	1	10	Sin Valor	Sin Valor	Bomba
102	30	V1	Sin Valor	508	Válvula
103	90	V2	Sin Valor	508	Válvula
104	140	V3	Sin Valor	508	Válvula
105	210	V4	Sin Valor	508	Válvula
106	270	V5	Sin Valor	508	Válvula
107	290	V6	Sin Valor	356	Válvula
108	V7	380	Sin Valor	356	Válvula
109	V8	430	Sin Valor	356	Válvula
110	510	58	0.3	63.5	

De acuerdo a los mismos datos de entrada se realizó la misma simulación pero ahora en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations, como se puede observar en la Figura 5-2, y los datos alimentados se muestran en la Tabla 5-2. Para realizar esta simulación, se le indicó al programa que realizará los cálculos de forma "Demanda", para el hidrante hidráulicamente más desfavorable (nodo 510) con una presión requerida de 68 psi, presión tomada de pruebas in situ que se le han realizado a este sistema PCI de este Complejo Petroquímico. La medición de la presión en el hidrante HMD no es la presión requerida de acuerdo a la normatividad, sino de 4.8 kg/cm² (68.34 psi). La causa de esto pueden ser varios factores, pero principalmente son las fugas que existen en el sistema, mismas que son causadas al mismo tiempo por la corrosión externa que presenta la tubería debido a la electrólisis del suelo ya que estas son líneas de tuberías que son enterradas. Los acoples de tubería con los accesorios también son en gran parte la causa de las fugas, ya que los sismos o simplemente el paso del tiempo se encarga de desalinearse estos acoples y presentar fugas.

Para calcular el nodo 510 como el hidrante más lejano es preciso calcularlo de acuerdo a su factor k , el factor k es la constante que relaciona la presión de descarga con el flujo, de acuerdo a la Ecuación 5-1. De acuerdo con la NFPA, el valor de k para un hidrante cuyo diámetro nominal de descarga es de 2½", es 167.8 en unidades inglesas (NFPA, 1991).

$$Q = k \sqrt{p}$$

Ecuación 5-1

The screenshot shows the FIRE.EXE application window with a table of pipe data and node information. The table is divided into two main sections: 'PIPE DATA OVERVIEW/EDIT' and 'NODE DATA'. The 'PIPE DATA' section lists 13 pipe sections with columns for Pipe Section, Pipe Type, Pipe Material, Pipe Diam, Pipe Length, Standard Fittings, NSIND F. LEN, Total Eq. Len, and TYP GRP. The 'NODE DATA' section lists nodes 80 and 90 with columns for Node Num, K-FACT, Press. Est, Node Eleu, Sprk. Area, Group, and Non-Sprk. Flow. A legend at the bottom lists function keys: F1-KEY HELP, F2-ADD PIPE, F3-DEL PIPE, F4-DEACTIVATE, F5-EDIT NODES, F6-CREATE TREE, F7-CREATE GRID, F8-ADD PUMP, F9-ADD METER, and ↑F1-GLOBAL EDIT.

PIPE SECTION	PIPE TYPE	PIPE MATERIAL	PIPE DIAM	PIPE LENGTH	STANDARD FITTINGS	NSIND F. LEN	TOTAL EQ. LEN	TYP GRP
10-20	37	SCHED 40 WET ST	19.999	118.4		0	118.4	
20-30	37	SCHED 40 WET ST	19.999	102.4		0	102.4	
30-40	37	SCHED 40 WET ST	19.999	102.4	G	0	103.4	
40-50	37	SCHED 40 WET ST	19.999	328.1		0	328.1	
50-60	37	SCHED 40 WET ST	19.999	13.1		0	13.1	
60-70	37	SCHED 40 WET ST	19.999	42.6		0	42.6	
70-80	37	SCHED 40 WET ST	19.999	13.1		0	13.1	
80-90	37	SCHED 40 WET ST	19.999	73.8		0	73.8	
90-100	37	SCHED 40 WET ST	19.999	73.8	G	0	74.8	
100-110	37	SCHED 40 WET ST	19.999	13.1		0	13.1	
110-120	37	SCHED 40 WET ST	19.999	68.9		0	68.9	
120-130	37	SCHED 40 WET ST	19.999	13.1		0	13.1	

NODE NUM	K-FACT	PRESS. EST	NODE ELEU	SPRK. AREA	GROUP	NON-SPRK. FLOW
80	0	69.91	13.10	0		0
90	0	69.90	13.10	0		0

Figura 5-2 Simulación hidráulica de una red contra incendios en el software EPANET

Tabla 5-2 Datos alimentados al simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

Beg. Node	End. Node	Pipe material	Nom. Diam. Inch	Fittings	Length	Eq. Length	Total length	C fact
10	20	Sched 20 wet steel	19.999	-----	118.4	0	118.4	80
20	30	Sched 20 wet steel	19.999	-----	102.4	0	102.4	80

Beg. Node	End. Node	Pipe material	Nom. Diam. Inch	Fittings	Length	Eq. Length	Total length	C fact
30	40	Sched 20 wet stee	19.999	G	102.4	11.2	113.6	80
40	50	Sched 20 wet stee	19.999	-----	328.1	0	328.1	80
50	60	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
60	70	Sched 20 wet stee	19.999	-----	42.6	0	42.6	80
70	80	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
80	90	Sched 20 wet stee	19.999	-----	73.8	0	73.8	80
90	100	Sched 20 wet stee	19.999	G	73.8	11.2	85	80
100	110	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
110	120	Sched 20 wet stee	19.999	-----	68.9	0	68.9	80
120	130	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
130	140	Sched 20 wet stee	19.999	-----	200.1	0	200.1	80
140	150	Sched 20 wet stee	19.999	G	200.1	11.2	211.3	80
150	160	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
160	170	Sched 20 wet stee	19.999	-----	1847.1	0	1847.1	80
170	180	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
180	190	Sched 20 wet stee	19.999	-----	82	0	82	80
190	200	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
200	210	Sched 20 wet stee	19.999	-----	426.5	0	426.5	80
210	220	Sched 20 wet stee	19.999	G	426.5	11.2	437.7	80
220	230	Sched 20 wet stee	19.999	-----	820.2	0	820.2	80
230	240	Sched 20 wet stee	19.999	-----	13.1	0	13.1	80
240	250	Sched 20 wet stee	19.999	-----	23	0	23	80
250	260	Sched 20 wet stee	19.999	-----	36	0	36	80
260	270	Sched 20 wet stee	19.999	-----	24.6	0	24.6	80
270	280	Sched 20 wet stee	19.999	G	24.6	11.2	35.8	80
280	290	Sched 20 wet stee	14	-----	182	0	182	80
290	300	Sched 20 wet stee	14	-----	182.1	0	182.1	80
290	480	Sched 20 wet stee	14	-----	824.5	0	824.5	80
300	310	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
310	320	Sched 20 wet stee	14	-----	45.9	0	45.9	80
320	330	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
330	340	Sched 20 wet stee	14	-----	442.1	0	442.1	80
340	350	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
350	360	Sched 20 wet stee	14	-----	65.6	0	65.6	80
360	370	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
370	380	Sched 20 wet stee	14	G	452.8	8	460.8	80
380	390	Sched 20 wet stee	14	-----	452.8	0	452.8	80
380	480	Sched 20 wet stee	14	-----	497.8	0	497.8	80
390	400	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
400	410	Sched 20 wet stee	14	-----	137.8	0	137.8	80

Beg. Node	End. Node	Pipe material	Nom. Diam. Inch	Fittings	Length	Eq. Length	Total length	C fact
410	420	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
420	430	Sched 20 wet stee	14	-----	651.2	0	651.2	80
430	440	Sched 20 wet stee	14	-----	651.2	0	651.2	80
430	490	Sched 20 wet stee	14	-----	965.2	0	965.2	80
440	450	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
450	460	Sched 20 wet stee	14	-----	82	0	82	80
460	470	Sched 20 wet stee	14	-----	13.1	0	13.1	80
470	510	Sched 20 wet stee	14	G	0	8	8	80
480	490	Sched 20 wet stee	19.999	-----	916.4	0	916.4	80
490	500	Sched 20 wet stee	14	-----	1538.4	0	1538.4	80
500	510	Sched 20 wet stee	14	-----	1624.1	0	1624.1	80

Los datos arrojados por el simulador muestran principalmente las presiones de los nodos, en este sentido podemos establecer una comparación entre ambos simuladores, como se muestra en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3 Comparación de resultados entre los simuladores

ID Nudo	Presión (psi)		Diferencia
	EPANET	FIRE	
10	71.91	72.36	0.45
20	71.87	72.31	0.44
30	71.84	72.27	0.43
40	71.78	72.23	0.45
50	71.67	72.1	0.43
60	77.36	77.76	0.40
70	77.34	77.75	0.41
80	71.64	72.07	0.43
90	71.63	72.04	0.41
100	71.57	72.01	0.44
110	77.26	77.68	0.42
120	77.23	77.65	0.42
130	71.54	71.97	0.43
140	71.47	71.89	0.42
150	71.38	71.81	0.43
160	77.06	77.48	0.42
170	76.45	76.74	0.29
180	70.76	71.06	0.30
190	70.73	71.03	0.30
200	76.42	76.7	0.28

ID Nudo	Presión (psi)		Diferencia
210	76.28	76.53	0.25
220	76.11	76.36	0.25
230	75.84	76.03	0.19
240	70.13	70.35	0.22
250	70.13	70.34	0.21
260	70.12	70.33	0.21
270	70.10	70.32	0.22
280	70.08	70.31	0.23
290	69.73	69.88	0.15
300	69.66	69.79	0.13
310	75.34	75.45	0.11
320	75.32	75.43	0.11
330	69.62	69.75	0.13
340	69.45	69.52	0.07
350	75.12	75.18	0.06
360	75.10	75.15	0.05
370	69.41	69.47	0.06
380	69.22	69.24	0.02
390	69.09	69.08	0.01
400	74.78	74.75	0.03
410	74.74	74.7	0.04
420	69.05	69.03	0.02
430	68.88	68.81	0.07
440	68.33	68.12	0.21
450	74.00	73.78	0.22
460	73.93	73.69	0.24
470	68.23	68	0.23
480	113.29	113.25	0.04
490	113.15	113.26	0.11
500	68.67	68.54	0.13
510	68.23	68	0.23

De acuerdo a la tabla, se puede observar que tanto el EPANET como el FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations arrojan resultados similares, habiendo una diferencia mínima entre ellos y esto hace que se pueda confiar en ambos resultados.

En este caso de estudio, se utilizará el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations, debido a que es un programa especializado en redes contra

incendio. Esta especialidad lleva a que el método de cálculo esté regido por la NFPA, así como la presentación de los informes. Otra razón por la cual se decidió usar este software es por la facilidad de manejo de hidrantes y/o monitores así como rociadores, es decir, se podría manejar con facilidad un sistema mixto de una red contra incendio y un sistema de rociadores. También se decidió por usar este software debido a que tiene dos métodos para realizar los cálculos, el modo Demanda y el modo Suministro, entonces de acuerdo a los datos con los que se cuente se utilizará uno de estos métodos.

5.2 Simulación hidráulica del estado actual de la red contra incendio

El Complejo Petroquímico en cuestión, cuenta con una red contra incendio siendo la tubería principal enterrada y de acero. De acuerdo a la especificación técnica de PEMEX, todos los hidrantes, incluido el hidráulicamente más desfavorable, debe cumplir con el requerimiento de tener una presión residual de 7 kg/cm^2 (100 psi). Presión residual se refiere a la presión que queda cuando el flujo del hidrante anterior es abierto totalmente.

De esta forma, se toma la premisa de tener tubería de acero al carbón recién instalado, siendo su coeficiente de Hazen Williams $C=120$. Los datos alimentados al simulador hidráulico FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations son los mismos que se muestran anteriormente en la Tabla 5-2 salvo que en este caso se considera un factor C de 120 y se calcula por el método "Demanda" requiriendo una presión de 100 psi en el hidrante HMD (nodo 510), obteniendo así los resultados de las presiones y flujo a través de cada uno de los nodos y tuberías. Los resultados de las simulaciones se muestran en los anexos.

Se debe tomar en cuenta que este coeficiente para la tubería sólo es cierto cuando es nuevo, es decir recién instalado. Para realizar la simulación del estado actual de la red se debe tomar en cuenta un coeficiente de Hazen-Williams $C= 80$. Esta consideración se basa en la recomendación de acuerdo a la NFPA y la norma PEMEX para tuberías que ya tengan más de 30 años de uso, las cuales, debido a la corrosión interna, el factor de rugosidad disminuye considerablemente a través de los años. Entonces, los datos de alimentación son los mismos que de la Tabla 5-2. Una vez alimentados los datos, para realizar la simulación se estableció de igual forma como condición de cálculo que cumpla con la presión requerida de 100 psi (7 kg/cm^2).

Los resultados completos de estas dos simulaciones se muestran en los anexos, pero dentro de este capítulo en la Tabla 5-4 se indican los datos de mayor de interés para la naturaleza de este estudio.

Tabla 5-4 Condiciones de entrada y resultados del simulador

Simulación	Condiciones de entrada al simulador		Resultados del simulador		
	Coeficiente de Hazen-Williams	Presión en el hidrante HMD (psi)	Presión de entrada (psi)	Flujo de salida del hidrante (GPM)	Pérdidas por fricción (psi)
Caso 1	120	100	102.95	1500	4.36
Caso 2	80	100	106.23	1500	9.31

En esta tabla se representa la importancia de cada uno de los dos casos posibles de esta evaluación.

El primero representa la base de diseño y su comportamiento, es decir, un tramo de la red contra incendio del Complejo Petroquímico recién instalada, cuyo coeficiente de rugosidad de 120 es el correspondiente a la tubería de acero nueva y está diseñada para trabajar a la presión requerida por la normatividad de 7 kg/cm^2 (100 psi) en el hidrante HMD.

El siguiente caso representa la situación actual del mismo tramo de la red de PCI; cuyo coeficiente de rugosidad al ser ya una tubería vieja (mínimo de 30 años) se debe considerar de $C=80$.

Como se puede observar hay dos principales problemáticas que resaltan respecto a los resultados de estas simulaciones: el primero es el problema que presenta el coeficiente de rugosidad a través de los años, su rápida disminución, y el otro es notablemente las pérdidas por fricción que presenta la tubería.

5.3 Simulación hidráulica de la propuesta para la red contra incendio

La simulación hidráulica de la propuesta para la red contra incendio de igual forma se realizó en el simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations, con el mismo tramo de tubería que se estudió en las simulaciones anteriores y evaluando el hidrante HMD.

De acuerdo con los fabricantes de tubería de PEAD, para esta simulación se harán los cálculos hidráulicos con un coeficiente de Hazen-Williams $C=150$ y requiriendo una presión en el hidrante HMD de 100 psi, cumpliendo con la normatividad. También es importante mencionar que de acuerdo a la SDR de la tubería, se requirió cambiar el diámetro nominal de los tramos, con la finalidad de

cumplir con el flujo requerido para la simulación. Los datos de alimentación al simulador se muestran en la Tabla 5-5

Tabla 5-5 Datos alimentados al simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

Beg. Node	End. Node	Pipe material	Nom. Diam. Inch	Fittings	Length	Eq. Length	Total length	C fact
10	20	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	118.4	0	118.4	150
20	30	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	102.4	0	102.4	150
30	40	HDPE PIPE RD11	2.4	G	102.4	12.1	114.5	150
40	50	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	328.1	0	328.1	150
50	60	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
60	70	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	42.6	0	42.6	150
70	80	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
80	90	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	73.8	0	73.8	150
90	100	HDPE PIPE RD11	2.4	G	73.8	12.1	85.9	150
100	110	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
110	120	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	68.9	0	68.9	150
120	130	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
130	140	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	200.1	0	200.1	150
140	150	HDPE PIPE RD11	2.4	G	200.1	12.1	212.2	150
150	160	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
160	170	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	1847.1	0	1847.1	150
170	180	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
180	190	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	82	0	82	150
190	200	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
200	210	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	426.5	0	426.5	150
210	220	HDPE PIPE RD11	2.4	G	426.5	12.1	438.6	150
220	230	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	820.2	0	820.2	150
230	240	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	13.1	0	13.1	150
240	250	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	23	0	23	150
250	260	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	36	0	36	150
260	270	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	24.6	0	24.6	150
270	280	HDPE PIPE RD11	2.4	G	24.6	12.1	36.7	150
280	290	HDPE PIPE RD11	16	-----	182	0	182	150
290	300	HDPE PIPE RD11	16	-----	182.1	0	182.1	150
290	480	HDPE PIPE RD11	16	-----	824.5	0	824.5	150
300	310	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
310	320	HDPE PIPE RD11	16	-----	45.9	0	45.9	150
320	330	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150

Beg. Node	End. Node	Pipe material	Nom. Diam. Inch	Fittings	Length	Eq. Length	Total length	C fact
330	340	HDPE PIPE RD11	16	-----	442.1	0	442.1	150
340	350	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
350	360	HDPE PIPE RD11	16	-----	65.6	0	65.6	150
360	370	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
370	380	HDPE PIPE RD11	16	G	452.8	9.8	462.6	150
380	390	HDPE PIPE RD11	16	-----	452.8	0	452.8	150
380	480	HDPE PIPE RD11	16	-----	497.8	0	497.8	150
390	400	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
400	410	HDPE PIPE RD11	16	-----	137.8	0	137.8	150
410	420	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
420	430	HDPE PIPE RD11	16	-----	651.2	0	651.2	150
430	440	HDPE PIPE RD11	16	-----	651.2	0	651.2	150
430	490	HDPE PIPE RD11	16	-----	965.2	0	965.2	150
440	450	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
450	460	HDPE PIPE RD11	16	-----	82	0	82	150
460	470	HDPE PIPE RD11	16	-----	13.1	0	13.1	150
470	510	HDPE PIPE RD11	16	G	0	9.8	9.8	150
480	490	HDPE PIPE RD11	2.4	-----	916.4	0	916.4	150
490	500	HDPE PIPE RD11	16	-----	1538.4	0	1538.4	150
500	510	HDPE PIPE RD11	16	-----	1624.1	0	1624.1	150

Los resultados en resumen se muestran en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Condiciones de entrada y resultados del simulador

Simulación	Condiciones de entrada al simulador		Resultados del simulador		
	Coefficiente de Hazen-Williams	Presión en el hidrante HMD (psi)	Presión de entrada (psi)	Flujo de salida del hidrante (GPM)	Pérdidas por fricción (psi)
Caso 3	150	100	102.22	1500	3.34

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis Hidráulico

La comparación de los software de simulación que se mostraron en el desarrollo, es para conocer las herramientas con las se puede contar para estudiar comportamientos hidráulicos, en este caso se compararon el software EPANET, que es un programa actualmente de mucho uso para todo tipo de simulaciones hidráulicas en general, en cambio se plantea como alternativa utilizar el simulador FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations que es un programa con especialidad en redes contra incendio, en donde se pueden simular tanto sistemas de rociadores como sistemas de hidrantes y monitores. Es por todo esto que se hizo la prueba con ambos simuladores. La Tabla 5-3 en donde se muestra la comparación de ambos simuladores muestra la semejanza de resultados, esto es debido a que ambos utilizan la misma secuencia de cálculo con la fórmula de Hazen-Williams para obtener el caudal que pasa por cada tramo de tubería o la presión en los nodos.

Una vez seleccionado el software que se utilizará como herramienta para realizar la simulación hidráulica que describirá el comportamiento de la red de agua contra incendio, se plantean tres panoramas para su análisis de acuerdo a su naturaleza.

El primero de los casos, es la importancia de plantear la simulación en caso de operar de acuerdo a la base de diseño. Normalmente para este tipo de redes se cuenta con tubería de acero, ya que sus instalaciones son ya de hace más de 20 años, es por eso que se hace la simulación en caso de ser tubería totalmente nueva de acero y operando a condiciones de bases de diseño. Los resultados se muestran en los anexos pero el resumen de los resultados se muestra en la Tabla 6-1 junto con los de los demás casos.

El segundo caso representa el paso del tiempo en la instalación de una red contra incendio y es como se encuentra actualmente en el Complejo Petroquímico. Mientras que el tercero es la simulación hidráulica en caso de ser aceptada la propuesta.

Tabla 6-1 Comparación de los resultados de las simulaciones

Simulación	Condiciones de entrada al simulador		Resultados del simulador		
	Coefficiente de Hazen-Williams	Presión en el hidrante HMD (psi)	Presión de entrada (psi)	Flujo de salida del hidrante (GPM)	Pérdidas por fricción (psi)
Caso 1	120	100	102.95	1500	4.36
Caso 2	80	100	106.23	1500	9.31
Caso 3	150	100	102.22	1500	3.34

Si se compara el Caso 1 con el Caso 2, se está comparando el estado de la red con el paso del tiempo, y son listadas las observaciones pertinentes:

- Siendo que el Caso 2 es el que describe la situación actual de la red contra incendio del Complejo Petroquímico, las pérdidas por fricción que se reportan en la Tabla 6-1 son las que existen en la tubería actual para que cumpla con la presión requerida en el hidrante HMD (100 psi).
- Se puede observar claramente que en 30 años, las pérdidas por fricción aumentan más del doble. Esto representaría claramente mucho mayor mantenimiento y mayor gasto de energía eléctrica por parte de las bombas del sistema.

En la Figura 6-1 sólo se muestra la comparación de la tubería nueva de acero y la misma pero 30 años después, pero éste es precisamente el límite inferior, cuando se habla del tiempo de vida útil de la red se habla de 30 años como máximo, ya que a esta edad la tubería ya está en su límite y probablemente presente corrosión tanto interna y principalmente externa, incrustaciones y altamente probable fugas que limitan la operación y provocan pérdidas significativas de agua. Cuando se encuentra en esta situación las instalaciones de protección contra incendios es necesaria una pronta adecuación, de lo contrario continuará su mala operación y por lo tanto no cubrirá con su objetivo en caso de sufrir un conato de incendio.

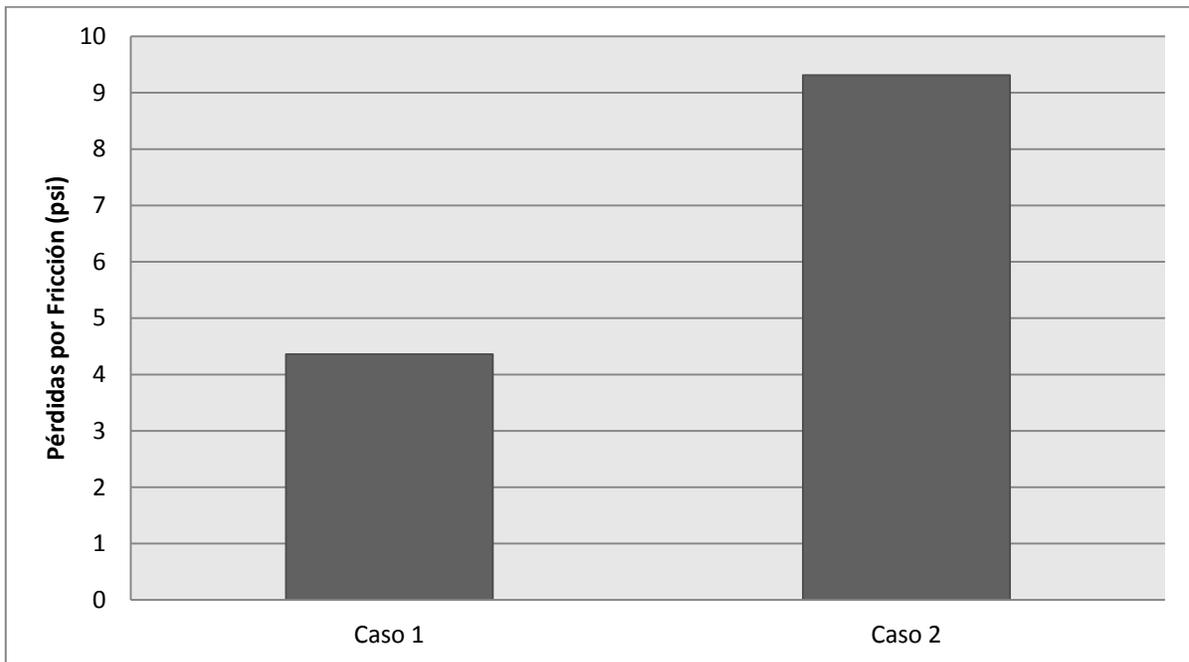


Figura 6-1 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas

Al comparar el Caso 1 con el Caso 3, entraría el supuesto de comparar tecnologías en caso de ser requerida una completa renovación para la tubería de la red. Se deberá seleccionar entre dos tipos de tubería, ambas nuevas por supuesto, y calculadas hidráulicamente sobre las bases de diseño que impliquen

con lo requerido según las especificaciones técnicas. Siendo el Caso 1 el que represente en caso de ser seleccionada tubería nueva de acero, y el Caso 3 siendo seleccionada la tubería de PEAD. Es totalmente lógico el caso de seleccionar la tubería de PEAD después de observar la Figura 6-2 pues como se observa, la diferencia de pérdidas por fricción es mayor; las pérdidas por fricción en la tubería de acero son mayores que las de la tubería de PEAD, particularmente para este tramo de unos cuantos kilómetros tiene muy poco de relevancia, pero si se hace extensiva esta relación a toda la red contra incendio las pérdidas por fricción serían mucho mayores.

El análisis de esta comparación es importante también debido a que se mencionó anteriormente, ambos casos en cuestión son con el supuesto de ser tubería nueva, y aun así la tubería de PEAD supera en menores pérdidas por fricción a la tubería de acero, pero con el paso del tiempo esta diferencia sólo será mayor, ya que el coeficiente de fricción de la tubería de acero irá disminuyendo gradualmente de forma notable hasta que el tiempo de vida de la misma haya terminado y presente tantos problemas que tendrá que ser nuevamente reemplazada. La disminución del coeficiente en la tubería de acero y el aumento de las pérdidas por fricción provoca la necesidad de más equipos de bombeo o bombas con mayor capacidad, lo que repercute claramente en el aumento de los costos de operación debido al aumento del consumo de energía eléctrica.

Por otra parte, la tubería de PEAD mantiene constante su coeficiente de fricción de Hazen-Williams a través de los años debido a sus propiedades no porosas, lo que hace que estas pérdidas por fricción causadas por la tubería se mantengan constantes a través de los años, así como su pared exterior debido a su resistencia a la corrosión subterránea; todo esto provoca que la tubería de PEAD no tenga la necesidad de ser reemplazada en un largo tiempo debido a su largo

ciclo de vida, y consecuentemente se mantengan los costos de operación, y más importante aún, no haya pérdidas de agua por problemas de fugas.

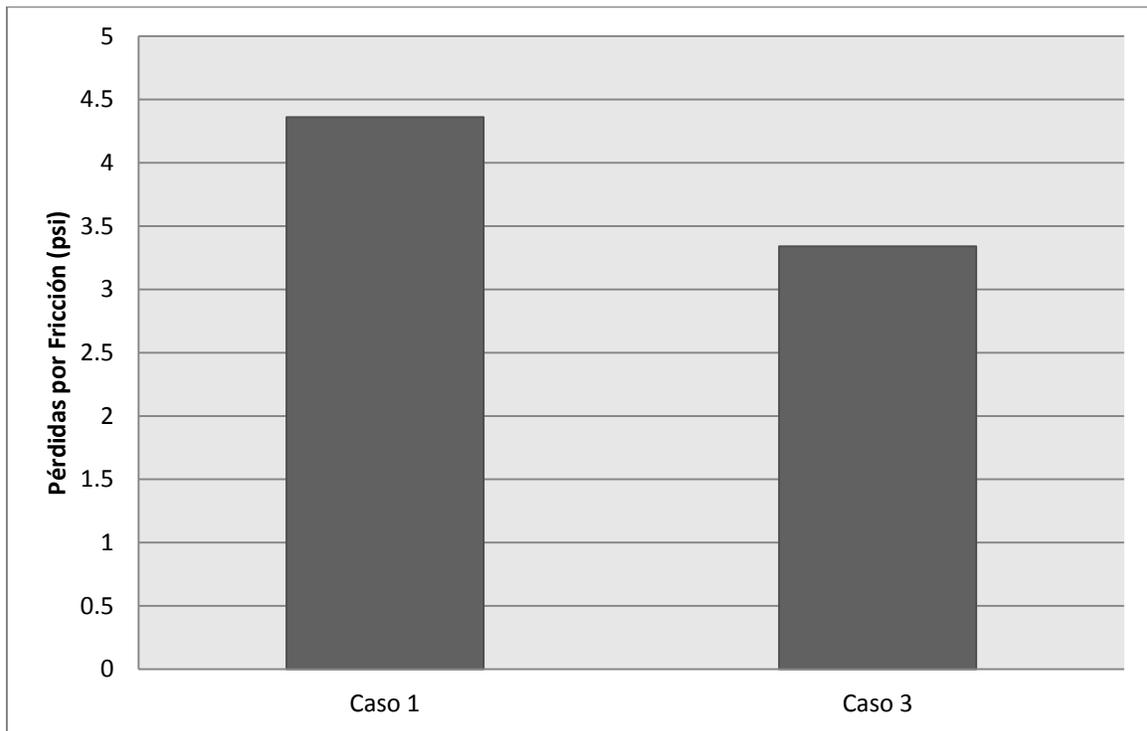


Figura 6-2 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas

Finalmente comparando los tres casos, se puede observar que los que sufren mayores pérdidas por fricción son los que tienen tubería de acero. Cabe mencionar también que estas simulaciones sólo son para un tramo o una parte de la red contra incendio, así que cuando se habla de mayores pérdidas por fricción, mayores costos de operación o menores caídas de presión es extensivo para toda la red.

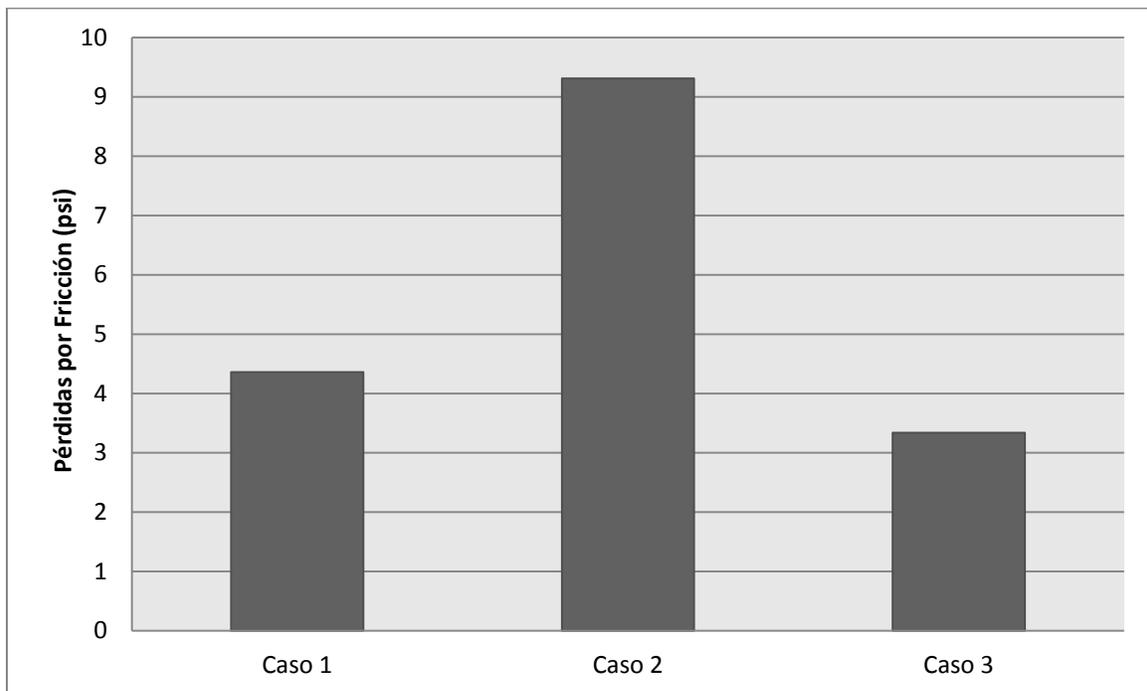


Figura 6-3 Comparación de las pérdidas por fricción de los diferentes panoramas

Además de la evaluación hidráulica que se presentó anteriormente, la tubería de PEAD es recomendada ampliamente por varias razones en diferentes aspectos. A continuación se presenta una tabla comparativa que muestra las ventajas que presenta la tubería de PEAD frente a la tubería de acero y la tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC):

Tabla 6-2 Tabla Comparativa de Materiales

	Acero	PVC	PEAD
<i>Costo</i>	Alto	Medio	Bajo
<i>Vida</i>	Medio	Corta	Larga
<i>Peso</i>	Alto	Medio	Bajo
<i>Resistencia a Agentes Químicos</i>	Bajo	Medio	Alto
<i>Flexibilidad</i>	Nulo	Medio	Alto
<i>Conexiones para Unión</i>	Pocas	Muchas	Pocas
<i>Unión</i>	Corta duración	Media duración	Larga duración
<i>Tiempo de Instalación</i>	Alto	Medio	Bajo
<i>Mantenimiento</i>	Alto	Medio	Bajo

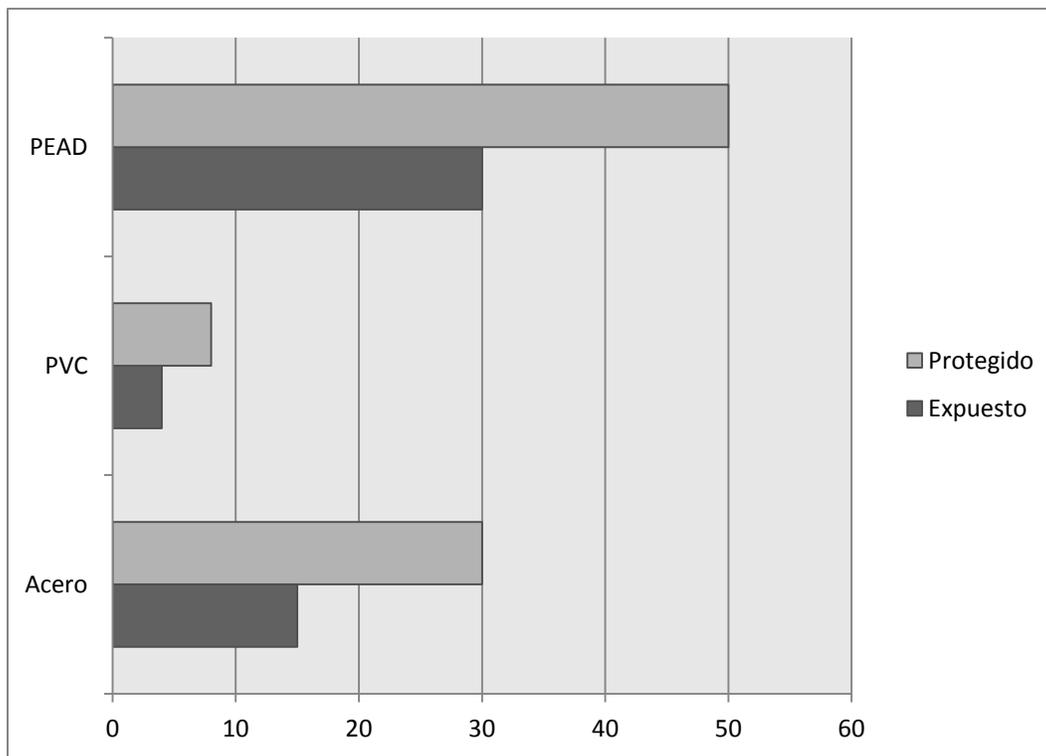


Figura 6-4 Tiempo de vida de distintos materiales de tubería

6.2 Análisis Financiero

La propuesta realizada en este trabajo de investigación debe analizarse financieramente para poder considerarla como un proyecto. Para este tipo de análisis es fundamental poder realizar una comparación de costos de instalación del tramo de red en tubería de acero al carbón, como se cuenta actualmente, y por otro lado compararlo con el costo de instalación del mismo tramo de tubería con una tubería de polietileno RD 11, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 6-3

Tabla 6-3 Costo de Inversión Estimado

	Material de la tubería	
	Acero al Carbón	PEAD
Costo de Inversión Estimado (USD)	\$1,494,836	\$741,872

Los datos de la tabla anterior ofrecen una comparación del costo estimado de inversión para el tramo de tubería considerado en el análisis hidráulico, incluyendo varios factores importantes como la instalación así como el enterramiento de la tubería. Se puede observar que el costo de la tubería de PEAD es más barato notablemente, lo que significa un ahorro en el momento inicial de inversión además de los otros beneficios cualitativos.

Otro beneficio en el ámbito económico es el ahorro en energía eléctrica, debido a que con el paso del tiempo la tubería de acero sufrirá corrosión interna lo que

causará una disminución en el coeficiente de fricción como ya se había mencionado antes, y esto con el paso del tiempo necesitará una mayor potencia para que siga presurizado el sistema, por lo que requerirá eventualmente una mayor cantidad de energía eléctrica y por lo tanto habrá un mayor gasto en este servicio auxiliar.

Tabla 6-4 Consideraciones Financieras

Variable	A utilizarse
Valores Presentes Descontados VPD	Para el cálculo de VPN, se considera el año cero, el primer año de inversión del proyecto
Horizonte del Proyecto	20 años
Tasa de descuento	12.00 %
Costo del Terreno	No se toma en cuenta
Costo de ingeniería como % de la inversión total	5%
Años para el cálculo de la depreciación. Se considera lineal	20
Costo Promedio de Energía Eléctrica	\$0.11 USD/kW h
Costo por Mantenimiento	No se considera el costo por mantenimiento

Para realizar este análisis financiero, se tomará en cuenta el horizonte que para un proyecto de este tipo en Centros Petroquímicos de México suele ser normalmente de 20 años. En este lapso se verá reflejado el ahorro económico de energía eléctrica de acuerdo a la comparación de tubería de acero contra la tubería de PEAD. El consumo de energía eléctrica junto con su repercusión económica se puede analizar de una forma resumida en la Tabla 6-5.

Tabla 6-5 Comparación financiera de ambos proyectos

	Material de la tubería	
	Acero (Nuevo)	PEAD
VPI (USD)	\$1,494,836	\$741,872
Tasa de descuento	12%	12%
VPN (USD)	-\$1,509,022	-\$721,380
Consumo eléctrico (USD)	\$213,846	\$95,799

La tabla anterior indica un VPN negativo en ambos casos, lo cual es normal debido a que una inversión en este tipo de proyectos de redes contra incendio no es una inversión que genera ingresos, sino más bien es una inversión necesaria en cuestión de seguridad industrial para estar preparados en caso de un conato de incendio y así evitar pérdidas tanto materiales como humanas.

Lo que se debe analizar en este caso es la inversión que como se puede observar es mucho mayor para el caso de tubería de acero, y el cual a pesar de ser más caro tiene menor tiempo de vida, lo que significaría que al término de los 20 años habría que renovar la tubería.

En cambio en el caso de invertir en tubería de PEAD, aparte de requerir una menor inversión y un mayor tiempo de vida, se ahorraría en gastos eléctricos como se mencionó anteriormente. Este ahorro energético en índice monetario se refiere a \$118,047 USD, lo que significa un 55% en ahorro en comparación con el gasto eléctrico en tubería de acero.

Es importante mencionar que estos números son tan solo tomando en cuenta el tramo de tubería estudiado en el análisis hidráulico y que sólo representa una pequeña parte de la red de distribución de agua contra incendio, lo cual al hacer extensivo este análisis se obtienen muchos mayores beneficios financieros.

7 CONCLUSIONES

Este trabajo consistió en analizar hidráulicamente opciones de adecuación de una red contraincendio de un Complejo Petroquímico que por su antigüedad debe ser rehabilitada. La adecuación principal que se analiza es un cambio de material de la red de acero al carbón por polietileno de alta densidad (PEAD). Se realizaron simulaciones del sistema hidráulico utilizando el software comercial “FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations”, estableciendo como condiciones objetivo el cumplimiento con la normatividad técnica correspondiente. Asimismo se realizó una evaluación económica de las opciones propuestas.

El caso de estudio cuenta con una red aproximada de 1830 m y 2710 m de tubería de 20” y 14” de diámetro nominal respectivamente, ambas de acero al carbón, cuya antigüedad ocasiona un aumento en las pérdidas por fricción y por lo tanto una mala operación e insegura protección contra incendios.

La propuesta del cambio de material de la tubería comprende tres fundamentos: 1) La NFPA no permite la instalación de tubería enterrada de acero, 2) La demanda hidráulica que requieren los hidrantes y monitores, y 3) La aprobación de la NFPA a la tubería de PEAD en las redes de protección contra incendio.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones hidráulicas, el cambio del material de tubería de acero al carbón a PEAD (Polietileno de Alta Densidad) en la red de protección contra incendio de un Complejo Petroquímico de México es posible de acuerdo a las ventajas hidráulicas y otros beneficios.

Las ventajas hidráulicas observadas en las pruebas simuladas del cambio de material fueron principalmente la disminución de las pérdidas por fricción, calculándose aproximadamente un 23% (1.02 psi) de disminución de pérdidas por fricción en una tubería de PEAD con una de acero al carbón recién instalada. Con el paso del tiempo el coeficiente de corrugación interna de la tubería de acero

disminuye, mientras que el de la tubería de PEAD se mantiene constante, por lo tanto existe una disminución de 64% (5.97 psi) en el caso de contar con una tubería de PEAD en lugar de una tubería vieja de acero.

Existen varios beneficios, como el ahorro de agua evitando futuras fugas, debido a que la tubería de PEAD es más resistente a la corrosión y cuenta con un sistema de acople más resistente a sismos y cargas externas. Otro beneficio es el ahorro de energía eléctrica (115 kW/d), ya que con dicho material disminuyen las pérdidas por fricción y así requiere menor capacidad de bombeo para cumplir con la presión (7 kg/cm^2) y flujo (250 GPM) necesario en cada hidrante, y a su vez un ahorro de \$118,047 USD.

La tubería de PEAD tiene la ventaja de no necesitar costos adicionales de recubrimiento como es el caso de la tubería de acero, la cual para poder ser utilizada subterráneamente requiere de una protección catódica.

La inversión de la propuesta de cambio de material de tubería a una de PEAD es de \$741,872 USD, mientras que si se deseara cambiar la tubería por nuevamente acero al carbón la inversión sería de más del doble (\$1,494,836 USD).

Todo lo mencionado debe tomarse en cuenta cuando se trate de una rehabilitación, un reemplazo o una adecuación a una red de agua contra incendio ya existente, sin dejar de recordar que lo importante es realizar este tipo de análisis para obtener como resultado un incremento en la autoprotección y sobre todo a costos razonables.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Bentley Systems. (2008). *Modelación y Diseño de Sistemas de Distribución de Agua*. Bentley Systems.
- Dominguez Betancourt, R. (2007). La protección contra incendio en la industria petrolera y petroquímica en Latinoamérica. *NFPA Journal Latinoamericano*.
- Luis Reyes, A. (2009). *Bases de diseño para seguridad y contra incendio de una planta petroquímica*. México: Facultad de Química Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moncada, J. A. (2007). El sector petrolero y su influencia en la protección contra incendios. *NFPA Journal Latinoamericano*.
- Moncada, J. A. (2007). Redes existentes de agua contra incendio y su eficaz adecuación. *NFPA Journal Latinoamericano*.
- NFPA. (1991). *Manual de Protección Contra Incendios*. MAPFRE.
- NFPA. (2003). Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection. *NFPA 20*.
- NFPA. (2007). Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores. *NFPA 13*.
- NFPA. (2007). Norma para la Instalación de Sistemas de Tubería Vertical y de Mangueras. *NFPA 14*.
- NFPA. (2007). Norma para la Instalación de Tuberías para Servicio Privado de Incendios y sus Accesorios. *NFPA 24*.
- NFPA. (2007). Norma para Sistemas Fijos Aspersores de Agua para Protección Contra Incendios. *NFPA 15*.
- NFPA. (2008). Norma para la Inspección, Pruebas y Mantenimiento de Sistemas Hidráulicos de Protección Contra Incendios. *NFPA 25*.
- NFPA. (2008). Standard for Water Tanks for Private Fire Protection. *NFPA 22*.
- Osorio Escamilla, F. J., & Rodriguez Gutierrez, J. F. (2004). *Propuesta de Infraestructura para hidraulica para la Universidad de las Américas de acuerdo al plan ordenador de espacios*. Puebla, Mexico: Universidad de las Américas Puebla.

- PEMEX. (2001). Sistemas Para Agua De Servicio Contra Incendio. *Especificación Técnica Para Proyectos de Obras P.2.0431.01*. PEMEX Exploración y Producción.
- PEMEX. (2007). Redes de Agua Contra Incendio en Instalaciones Industriales Terrestres. Construcción y Pruebas. *NRF-128-PEMEX-2007*. PEMEX Exploración y Producción.
- PEMEX. (31 de Agosto de 2010). Diseño de Redes Contra Incendio (Instalaciones Terrestres). *NRF-016-PEMEX-2010*. México.
- Plastics Pipe Institute. (2da edicion). *Handbook of Polyethylene Pipe*. United States of America: Plastic Pipe Institute.
- Plastics Pipe Institute. (s.f.). *The Complete Corrugated Polyethylene Pipe Design Manual and Installation Guide*.
- Vervalin, C. H. (1985). *Fire Protection Manual: For Hydrocarbon Processing Plants* (3 ed., Vol. 1). USA: Hydrocarbon Process.

9 ANEXOS

Anexo 9-1 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso Comparativo de Simuladores en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

***** FIRE SPRINKLER DESIGN PROGRAM BY ELITE SOFTWARE DEVELOPMENT INC									

***** ***** ***** FIRE SPRINKLER OUTPUT DATA - TESIS *** ***** *****									
OVERALL PIPE OUTPUT DATA:									
BEG END	NODAL K-FAC	ELEV (FT)	DISCH. (GPM)	RES.PR (PSI)	NOMDIA IN.DIA C-VAL	Q(GPM) VEL(FPS)	F.L./FT FITTINGS TYPE.GRP	PIP.L FIT.L TOT.L	PF-PSI PE-PSI PV-PSI
20	N/A	13.1	0	72.31	19.999	1237	0	102.4	0.04
30	N/A	13.1	0	72.27	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			102.4	0.01
20	N/A	13.1	0	72.31	19.999	-1236.9	0	118.4	0.05
10	N/A	13.1	-1236.9	72.36	19.25	-1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			118.4	0.01
30	N/A	13.1	0	72.27	19.999	1237	0	102.4	0.04
40	N/A	13.1	0	72.23	19.25	1.4	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL				80			107.7	0.01
40	N/A	13.1	0	72.23	19.999	1236.9	0	328.1	0.13
50	N/A	13.1	0	72.1	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			328.1	0.01
50	N/A	13.1	0	72.1	19.999	1237.5	0	13.1	0.01
60	N/A	0	0	77.76	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
60	N/A	0	0	77.76	19.999	1236.8	0	42.6	0.02
70	N/A	0	0	77.75	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			42.6	0.01
70	N/A	0	0	77.75	19.999	1237.5	0	13.1	0.01
80	N/A	13.1	0	72.07	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
80	N/A	13.1	0	72.07	19.999	1236.8	0	73.8	0.03
90	N/A	13.1	0	72.04	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			73.8	0.01
90	N/A	13.1	0	72.04	19.999	1236.9	0	73.8	0.03
100	N/A	13.1	0	72.01	19.25	1.4	G	5.3	0

ANEXOS

	SCHED 20 STEEL				80			79.1	0.01
100	N/A	13.1	0	72.01	19.999	1237.5	0	13.1	0.01
110	N/A	0	0	77.68	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
110	N/A	0	0	77.68	19.999	1236.8	0	68.9	0.03
120	N/A	0	0	77.65	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			68.9	0.01
120	N/A	0	0	77.65	19.999	1237.5	0	13.1	0.01
130	N/A	13.1	0	71.97	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
130	N/A	13.1	0	71.97	19.999	1236.8	0	200.1	0.08
140	N/A	13.1	0	71.89	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			200.1	0.01
140	N/A	13.1	0	71.89	19.999	1237	0	200.1	0.08
150	N/A	13.1	0	71.81	19.25	1.4	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL				80			205.4	0.01
150	N/A	13.1	0	71.81	19.999	1236.6	0	13.1	0.01
160	N/A	0	0	77.48	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
160	N/A	0	0	77.48	19.999	1236.9	0	1847.1	0.74
170	N/A	0	0	76.74	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			1847.1	0.01
170	N/A	0	0	76.74	19.999	1237.5	0	13.1	0.01
180	N/A	13.1	0	71.06	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
180	N/A	13.1	0	71.06	19.999	1237	0	82	0.03
190	N/A	13.1	0	71.03	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			82	0.01
190	N/A	13.1	0	71.03	19.999	1236.6	0	13.1	0.01
200	N/A	0	0	76.7	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
200	N/A	0	0	76.7	19.999	1236.9	0	426.5	0.17
210	N/A	0	0	76.53	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			426.5	0.01
210	N/A	0	0	76.53	19.999	1237	0	426.5	0.17
220	N/A	0	0	76.36	19.25	1.4	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL				80			431.8	0.01

220	N/A	0	0	76.36	19.999	1236.9	0	820.2	0.33
230	N/A	0	0	76.03	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			820.2	0.01
230	N/A	0	0	76.03	19.999	1236.6	0	13.1	0.01
240	N/A	13.1	0	70.35	19.25	1.4	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
240	N/A	13.1	0	70.35	19.999	1237.2	0	23	0.01
250	N/A	13.1	0	70.34	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			23	0.01
250	N/A	13.1	0	70.34	19.999	1236.7	0	36	0.01
260	N/A	13.1	0	70.33	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			36	0.01
260	N/A	13.1	0	70.33	19.999	1237.4	0	24.6	0.01
270	N/A	13.1	0	70.32	19.25	1.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			24.6	0.01
270	N/A	13.1	0	70.32	19.999	1236.9	0	24.6	0.01
280	N/A	13.1	0	70.31	19.25	1.4	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL				80			29.9	0.01
280	N/A	13.1	0	70.31	14	1236.9	0.002	182	0.43
290	N/A	13.1	0	69.88	13.376	2.8	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			182	0.05
290	N/A	13.1	0	69.88	14	546.3	0.001	182.1	0.09
300	N/A	13.1	0	69.79	13.376	1.2	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80		0	182.1	0.01
290	N/A	13.1	0	69.88	14	690.6	0.001	824.5	0.66
480	N/A	-88.6	0	113.25	13.376	1.6	----	0	44.03
	SCHED 20 STEEL				80			824.5	0.02
300	N/A	13.1	0	69.79	14	546.5	0.001	13.1	0.01
310	N/A	0	0	75.45	13.376	1.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01
310	N/A	0	0	75.45	14	546.3	0.001	45.9	0.02
320	N/A	0	0	75.43	13.376	1.2	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			45.9	0.01
320	N/A	0	0	75.43	14	546.5	0.001	13.1	0.01
330	N/A	13.1	0	69.75	13.376	1.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.01

ANEXOS

330	N/A	13.1	0	69.75	14	546.3	0.001	442.1	0.23
340	N/A	13.1	0	69.52	13.376	1.2	----	0	0
					80			442.1	0.01
340	N/A	13.1	0	69.52	14	546.5	0.001	13.1	0.01
350	N/A	0	0	75.18	13.376	1.2	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
350	N/A	0	0	75.18	14	546.3	0.001	65.6	0.03
360	N/A	0	0	75.15	13.376	1.2	----	0	0
					80			65.6	0.01
360	N/A	0	0	75.15	14	546.5	0.001	13.1	0.01
370	N/A	13.1	0	69.47	13.376	1.2	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
370	N/A	13.1	0	69.47	14	546.3	0.001	452.8	0.24
380	N/A	13.1	0	69.24	13.376	1.2	G	3.6	0
					80			456.4	0.01
380	N/A	13.1	0	69.24	14	432.4	0	452.8	0.15
390	N/A	13.1	0	69.08	13.376	1	----	0	0
					80			452.8	0.01
380	N/A	13.1	0	69.24	14	113.9	0	497.8	0.01
480	N/A	-88.6	0	113.25	13.376	0.3	----	0	44.03
					80			497.8	0
390	N/A	13.1	0	69.08	14	432.6	0	13.1	0
400	N/A	0	0	74.75	13.376	1	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
400	N/A	0	0	74.75	14	432.4	0	137.8	0.05
410	N/A	0	0	74.7	13.376	1	----	0	0
					80			137.8	0.01
410	N/A	0	0	74.7	14	432.6	0	13.1	0
420	N/A	13.1	0	69.03	13.376	1	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
420	N/A	13.1	0	69.03	14	432.4	0	651.2	0.22
430	N/A	13.1	0	68.81	13.376	1	----	0	0
					80			651.2	0.01
430	N/A	13.1	0	68.81	14	805.6	0.001	651.2	0.69
440	N/A	13.1	0	68.12	13.376	1.8	----	0	0
					80			651.2	0.02
440	N/A	13.1	0	68.12	14	805.7	0.001	13.1	0.01

ANEXOS

450	N/A	0	0	73.78	13.376	1.8	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.02
450	N/A	0	0	73.78	14	805.6	0.001	82	0.09
460	N/A	0	0	73.69	13.376	1.8	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			82	0.02
460	N/A	0	0	73.69	14	805.7	0.001	13.1	0.01
470	N/A	13.1	0	68	13.376	1.8	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.02
470	N/A	13.1	0	68	14	805.7	0.001	0	0
510	150	13.1	1236.93	68	13.376	1.8	G	3.6	0
	SCHED 20 STEEL				80			3.6	0.02
480	N/A	-88.6	0	113.25	19.999	804.5	0	916.4	0.16
490	N/A	-89	0	113.26	19.25	0.9	----	0	0.17
	SCHED 20 STEEL				80			916.4	0.01
490	N/A	-89	0	113.26	14	373.2	0	965.2	0.25
430	N/A	13.1	0	68.81	13.376	0.9	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				80			965.2	0
490	N/A	-89	0	113.26	14	431.3	0	1538.4	0.51
500	N/A	13.1	0	68.54	13.376	1	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				80			1538.4	0.01
500	N/A	13.1	0	68.54	14	431.3	0	1624.1	0.54
510	150	13.1	1236.93	68	13.376	1	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			1624.1	0.01

Anexo 9-2 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 1 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

***** FIRE SPRINKLER DESIGN PROGRAM BY ELITE SOFTWARE DEVELOPMENT INC *****									
***** ***** ***** FIRE SPRINKLER OUTPUT DATA - TESIS *** ***** *****									
OVERALL PIPE OUTPUT DATA:									
BEG END	NODAL K-FAC	ELEV (FT)	DISCH. (GPM)	RES.PR (PSI)	NOMDIA IN.DIA C-VAL	Q(GPM) VEL(FPS)	F.L./FT FITTINGS TYPE.GRP	PIP.L FIT.L TOT.L	PF-PSI PE-PSI PV-PSI
20 30	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	102.92 102.89	19.999 19.25 120	1500 1.7	0 ----	102.4 0 102.4	0.03 0 0.02
20 10	N/A N/A	13.1 13.1	0 -1500	102.92 102.95	19.999 19.25 120	-1500 -1.7	0 ----	118.4 0 118.4	0.03 0 0.02
30 40	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	102.89 102.86	19.999 19.25 120	1500.1 1.7	0 G	102.4 11.2 113.6	0.03 0 0.02
40 50	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	102.86 102.77	19.999 19.25 120	1500 1.7	0 ----	328.1 0 328.1	0.09 0 0.02
50 60	N/A N/A	13.1 0	0 0	102.77 108.44	19.999 19.25 120	1500.3 1.7	0 ----	13.1 0 13.1	0 5.67 0.02
60 70	N/A N/A	0 0	0 0	108.44 108.43	19.999 19.25 120	1500.1 1.7	0 ----	42.6 0 42.6	0.01 0 0.02
70 80	N/A N/A	0 13.1	0 0	108.43 102.76	19.999 19.25 120	1500.3 1.7	0 ----	13.1 0 13.1	0 5.67 0.02
80 90	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	102.76 102.74	19.999 19.25 120	1499.8 1.7	0 ----	73.8 0 73.8	0.02 0 0.02
90 100	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	102.74 102.71	19.999 19.25	1500.1 1.7	0 G	73.8 11.2	0.02 0

ANEXOS

	SCHED 20 STEEL				120			85	0.02
100	N/A	13.1	0	102.71	19.999	1498.6	0	13.1	0
110	N/A	0	0	108.38	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
110	N/A	0	0	108.38	19.999	1500	0	68.9	0.02
120	N/A	0	0	108.36	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			68.9	0.02
120	N/A	0	0	108.36	19.999	1500.3	0	13.1	0
130	N/A	13.1	0	102.69	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
130	N/A	13.1	0	102.69	19.999	1500	0	200.1	0.05
140	N/A	13.1	0	102.63	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			200.1	0.02
140	N/A	13.1	0	102.63	19.999	1500	0	200.1	0.06
150	N/A	13.1	0	102.58	19.25	1.7	G	11.2	0
	SCHED 20 STEEL				120			211.3	0.02
150	N/A	13.1	0	102.58	19.999	1500.3	0	13.1	0
160	N/A	0	0	108.24	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
160	N/A	0	0	108.24	19.999	1500	0	1847.1	0.5
170	N/A	0	0	107.75	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			1847.1	0.02
170	N/A	0	0	107.75	19.999	1500.3	0	13.1	0
180	N/A	13.1	0	102.07	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
180	N/A	13.1	0	102.07	19.999	1499.8	0	82	0.02
190	N/A	13.1	0	102.05	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			82	0.02
190	N/A	13.1	0	102.05	19.999	1500.3	0	13.1	0
200	N/A	0	0	107.72	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
200	N/A	0	0	107.72	19.999	1500	0	426.5	0.11
210	N/A	0	0	107.6	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			426.5	0.02
210	N/A	0	0	107.6	19.999	1500	0	426.5	0.12
220	N/A	0	0	107.49	19.25	1.7	G	11.2	0
	SCHED 20 STEEL				120			437.7	0.02

220	N/A	0	0	107.49	19.999	1500	0	820.2	0.22
230	N/A	0	0	107.27	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			820.2	0.02
230	N/A	0	0	107.27	19.999	1500.3	0	13.1	0
240	N/A	13.1	0	101.59	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
240	N/A	13.1	0	101.59	19.999	1500.2	0	23	0.01
250	N/A	13.1	0	101.59	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			23	0.02
250	N/A	13.1	0	101.59	19.999	1499.9	0	36	0.01
260	N/A	13.1	0	101.58	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			36	0.02
260	N/A	13.1	0	101.58	19.999	1499.8	0	24.6	0.01
270	N/A	13.1	0	101.57	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			24.6	0.02
270	N/A	13.1	0	101.57	19.999	1500	0	24.6	0.01
280	N/A	13.1	0	101.56	19.25	1.7	G	11.2	0
	SCHED 20 STEEL				120			35.8	0.02
280	N/A	13.1	0	101.56	14	1500	0.002	182	0.29
290	N/A	13.1	0	101.27	13.376	3.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			182	0.08
290	N/A	13.1	0	101.27	14	661.9	0	182.1	0.06
300	N/A	13.1	0	101.21	13.376	1.5	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120		0	182.1	0.02
290	N/A	13.1	0	101.27	14	838.1	0.001	824.5	0.44
480	N/A	-88.6	0	144.85	13.376	1.9	----	0	44.03
	SCHED 20 STEEL				120			824.5	0.02
300	N/A	13.1	0	101.21	14	662.2	0	13.1	0
310	N/A	0	0	106.87	13.376	1.5	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02
310	N/A	0	0	106.87	14	661.9	0	45.9	0.02
320	N/A	0	0	106.86	13.376	1.5	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			45.9	0.02
320	N/A	0	0	106.86	14	661.6	0	13.1	0
330	N/A	13.1	0	101.18	13.376	1.5	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.02

330	N/A	13.1	0	101.18	14	661.9	0	442.1	0.15
340	N/A	13.1	0	101.03	13.376	1.5	----	0	0
					120			442.1	0.02
340	N/A	13.1	0	101.03	14	662.2	0	13.1	0
350	N/A	0	0	106.69	13.376	1.5	----	0	5.67
					120			13.1	0.02
350	N/A	0	0	106.69	14	661.9	0	65.6	0.02
360	N/A	0	0	106.67	13.376	1.5	----	0	0
					120			65.6	0.02
360	N/A	0	0	106.67	14	661.6	0	13.1	0
370	N/A	13.1	0	101	13.376	1.5	----	0	5.67
					120			13.1	0.02
370	N/A	13.1	0	101	14	661.9	0	452.8	0.16
380	N/A	13.1	0	100.84	13.376	1.5	G	7.7	0
					120			460.5	0.02
380	N/A	13.1	0	100.84	14	524.1	0	452.8	0.1
390	N/A	13.1	0	100.73	13.376	1.2	----	0	0
					120			452.8	0.01
380	N/A	13.1	0	100.84	14	137.8	0	497.8	0.01
480	N/A	-88.6	0	144.85	13.376	0.3	----	0	44.03
					120			497.8	0
390	N/A	13.1	0	100.73	14	524.4	0	13.1	0
400	N/A	0	0	106.4	13.376	1.2	----	0	5.67
					120			13.1	0.01
400	N/A	0	0	106.4	14	524.1	0	137.8	0.03
410	N/A	0	0	106.37	13.376	1.2	----	0	0
					120			137.8	0.01
410	N/A	0	0	106.37	14	523.7	0	13.1	0
420	N/A	13.1	0	100.7	13.376	1.2	----	0	5.67
					120			13.1	0.01
420	N/A	13.1	0	100.7	14	524.1	0	651.2	0.15
430	N/A	13.1	0	100.55	13.376	1.2	----	0	0
					120			651.2	0.01
430	N/A	13.1	0	100.55	14	976.2	0.001	651.2	0.47
440	N/A	13.1	0	100.08	13.376	2.2	----	0	0
					120			651.2	0.03
440	N/A	13.1	0	100.08	14	976.5	0.001	13.1	0.01

ANEXOS

450	N/A	0	0	105.74	13.376	2.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.03
450	N/A	0	0	105.74	14	976.2	0.001	82	0.06
460	N/A	0	0	105.69	13.376	2.2	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				120			82	0.03
460	N/A	0	0	105.69	14	976.5	0.001	13.1	0.01
470	N/A	13.1	0	100.01	13.376	2.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				120			13.1	0.03
470	N/A	13.1	0	100.01	14	976.2	0.001	0	0.01
510	150	13.1	1500	100	13.376	2.2	G	7.7	0
	SCHED 20 STEEL				120			7.7	0.03
480	N/A	-88.6	0	144.85	19.999	975.9	0	916.4	0.11
490	N/A	-89	0	144.91	19.25	1.1	----	0	0.17
	SCHED 20 STEEL				120			916.4	0.01
490	N/A	-89	0	144.91	14	452.1	0	965.2	0.17
430	N/A	13.1	0	100.55	13.376	1	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				120			965.2	0.01
490	N/A	-89	0	144.91	14	523.8	0	1538.4	0.35
500	N/A	13.1	0	100.37	13.376	1.2	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				120			1538.4	0.01
500	N/A	13.1	0	100.37	14	523.8	0	1624.1	0.37
510	150	13.1	1500	100	13.376	1.2	---	0	0.00
	SCHED 20 STEEL				120			1624.1	0.01

Anexo 9-3 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 2 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

***** FIRE SPRINKLER DESIGN PROGRAM BY ELITE SOFTWARE DEVELOPMENT INC *****									
***** ***** ***** FIRE SPRINKLER OUTPUT DATA - TESIS *** ***** *****									
OVERALL PIPE OUTPUT DATA:									
BEG END	NODAL K-FAC	ELEV (FT)	DISCH. (GPM)	RES.PR (PSI)	NOMDIA IN.DIA C-VAL	Q(GPM) VEL(FPS)	F.L./FT FITTINGS TYPE.GRP	PIP.L FIT.L TOT.L	PF-PSI PE-PSI PV-PSI
20 30	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	106.16 106.1	19.999 19.25 80	1500 1.7	0.001 ----	102.4 0 102.4	0.06 0 0.02
20 10	N/A N/A	13.1 13.1	0 -1500	106.16 106.23	19.999 19.25 80	-1500 -1.7	0.001 ----	118.4 0 118.4	0.07 0 0.02
30 40	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	106.1 106.04	19.999 19.25 80	1500 1.7	0.001 G	102.4 5.3 107.7	0.06 0 0.02
40 50	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	106.04 105.86	19.999 19.25 80	1500 1.7	0.001 ----	328.1 0 328.1	0.19 0 0.02
50 60	N/A N/A	13.1 0	0 0	105.86 111.52	19.999 19.25 80	1500.2 1.7	0.001 ----	13.1 0 13.1	0.01 5.67 0.02
60 70	N/A N/A	0 0	0 0	111.52 111.5	19.999 19.25 80	1499.8 1.7	0.001 ----	42.6 0 42.6	0.02 0 0.02
70 80	N/A N/A	0 13.1	0 0	111.5 105.82	19.999 19.25 80	1500.2 1.7	0.001 ----	13.1 0 13.1	0.01 5.67 0.02
80 90	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	105.82 105.77	19.999 19.25 80	1500 1.7	0.001 ----	73.8 0 73.8	0.04 0 0.02
90 100	N/A N/A	13.1 13.1	0 0	105.77 105.73	19.999 19.25	1500 1.7	0.001 G	73.8 5.3	0.04 0

ANEXOS

	SCHED 20 STEEL			80				79.1	0.02
100	N/A	13.1	0	105.73	19.999	1499.4	0.001	13.1	0.01
110	N/A	0	0	111.39	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL			80				13.1	0.02
110	N/A	0	0	111.39	19.999	1500.1	0.001	68.9	0.04
120	N/A	0	0	111.35	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL			80				68.9	0.02
120	N/A	0	0	111.35	19.999	1500.2	0.001	13.1	0.01
130	N/A	13.1	0	105.68	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL			80				13.1	0.02
130	N/A	13.1	0	105.68	19.999	1500	0.001	200.1	0.11
140	N/A	13.1	0	105.56	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL			80				200.1	0.02
140	N/A	13.1	0	105.56	19.999	1500	0.001	200.1	0.12
150	N/A	13.1	0	105.44	19.25	1.7	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL			80				205.4	0.02
150	N/A	13.1	0	105.44	19.999	1500.2	0.001	13.1	0.01
160	N/A	0	0	111.11	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL			80				13.1	0.02
160	N/A	0	0	111.11	19.999	1500	0.001	1847.1	1.05
170	N/A	0	0	110.06	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL			80				1847.1	0.02
170	N/A	0	0	110.06	19.999	1500.2	0.001	13.1	0.01
180	N/A	13.1	0	104.38	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL			80				13.1	0.02
180	N/A	13.1	0	104.38	19.999	1500	0.001	82	0.05
190	N/A	13.1	0	104.33	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL			80				82	0.02
190	N/A	13.1	0	104.33	19.999	1499.4	0.001	13.1	0.01
200	N/A	0	0	109.99	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL			80				13.1	0.02
200	N/A	0	0	109.99	19.999	1500	0.001	426.5	0.24
210	N/A	0	0	109.75	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL			80				426.5	0.02
210	N/A	0	0	109.75	19.999	1500	0.001	426.5	0.25
220	N/A	0	0	109.51	19.25	1.7	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL			80				431.8	0.02

220	N/A	0	0	109.51	19.999	1500	0.001	820.2	0.47
230	N/A	0	0	109.04	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			820.2	0.02
230	N/A	0	0	109.04	19.999	1500.2	0.001	13.1	0.01
240	N/A	13.1	0	103.36	19.25	1.7	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.02
240	N/A	13.1	0	103.36	19.999	1500.1	0.001	23	0.01
250	N/A	13.1	0	103.35	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			23	0.02
250	N/A	13.1	0	103.35	19.999	1500	0.001	36	0.02
260	N/A	13.1	0	103.33	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			36	0.02
260	N/A	13.1	0	103.33	19.999	1500	0.001	24.6	0.01
270	N/A	13.1	0	103.31	19.25	1.7	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			24.6	0.02
270	N/A	13.1	0	103.31	19.999	1500.1	0.001	24.6	0.02
280	N/A	13.1	0	103.3	19.25	1.7	G	5.3	0
	SCHED 20 STEEL				80			29.9	0.02
280	N/A	13.1	0	103.3	14	1500	0.003	182	0.61
290	N/A	13.1	0	102.69	13.376	3.4	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			182	0.08
290	N/A	13.1	0	102.69	14	662.5	0.001	182.1	0.13
300	N/A	13.1	0	102.55	13.376	1.5	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80		0	182.1	0.02
290	N/A	13.1	0	102.69	14	837.5	0.001	824.5	0.94
480	N/A	-88.6	0	145.77	13.376	1.9	----	0	44.03
	SCHED 20 STEEL				80			824.5	0.02
300	N/A	13.1	0	102.55	14	662.4	0.001	13.1	0.01
310	N/A	0	0	108.21	13.376	1.5	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.02
310	N/A	0	0	108.21	14	662.5	0.001	45.9	0.03
320	N/A	0	0	108.18	13.376	1.5	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			45.9	0.02
320	N/A	0	0	108.18	14	662.7	0.001	13.1	0.01
330	N/A	13.1	0	102.5	13.376	1.5	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.02

ANEXOS

330	N/A	13.1	0	102.5	14	662.5	0.001	442.1	0.33
340	N/A	13.1	0	102.17	13.376	1.5	----	0	0
					80			442.1	0.02
340	N/A	13.1	0	102.17	14	662.4	0.001	13.1	0.01
350	N/A	0	0	107.83	13.376	1.5	----	0	5.67
					80			13.1	0.02
350	N/A	0	0	107.83	14	662.5	0.001	65.6	0.05
360	N/A	0	0	107.78	13.376	1.5	----	0	0
					80			65.6	0.02
360	N/A	0	0	107.78	14	662.7	0.001	13.1	0.01
370	N/A	13.1	0	102.1	13.376	1.5	----	0	5.67
					80			13.1	0.02
370	N/A	13.1	0	102.1	14	662.5	0.001	452.8	0.34
380	N/A	13.1	0	101.77	13.376	1.5	G	3.6	0
					80			456.4	0.02
380	N/A	13.1	0	101.77	14	524.4	0	452.8	0.22
390	N/A	13.1	0	101.55	13.376	1.2	----	0	0
					80			452.8	0.01
380	N/A	13.1	0	101.77	14	138.2	0	497.8	0.02
480	N/A	-88.6	0	145.77	13.376	0.3	----	0	44.03
					80			497.8	0
390	N/A	13.1	0	101.55	14	524.5	0	13.1	0.01
400	N/A	0	0	107.21	13.376	1.2	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
400	N/A	0	0	107.21	14	524.4	0	137.8	0.07
410	N/A	0	0	107.15	13.376	1.2	----	0	0
					80			137.8	0.01
410	N/A	0	0	107.15	14	524.2	0	13.1	0.01
420	N/A	13.1	0	101.47	13.376	1.2	----	0	5.67
					80			13.1	0.01
420	N/A	13.1	0	101.47	14	524.4	0	651.2	0.31
430	N/A	13.1	0	101.16	13.376	1.2	----	0	0
					80			651.2	0.01
430	N/A	13.1	0	101.16	14	977	0.002	651.2	0.99
440	N/A	13.1	0	100.17	13.376	2.2	----	0	0
					80			651.2	0.03
440	N/A	13.1	0	100.17	14	976.9	0.002	13.1	0.02

ANEXOS

450	N/A	0	0	105.82	13.376	2.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.03
450	N/A	0	0	105.82	14	976.9	0.002	82	0.12
460	N/A	0	0	105.7	13.376	2.2	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			82	0.03
460	N/A	0	0	105.7	14	976.9	0.002	13.1	0.02
470	N/A	13.1	0	100.01	13.376	2.2	----	0	5.67
	SCHED 20 STEEL				80			13.1	0.03
470	N/A	13.1	0	100.01	14	977.2	0.002	0	0.01
510	150	13.1	1500	100	13.376	2.2	G	3.6	0
	SCHED 20 STEEL				80			3.6	0.03
480	N/A	-88.6	0	145.77	19.999	975.6	0	916.4	0.24
490	N/A	-89	0	145.71	19.25	1.1	----	0	0.17
	SCHED 20 STEEL				80			916.4	0.01
490	N/A	-89	0	145.71	14	452.6	0	965.2	0.35
430	N/A	13.1	0	101.16	13.376	1	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				80			965.2	0.01
490	N/A	-89	0	145.71	14	523	0	1538.4	0.73
500	N/A	13.1	0	100.78	13.376	1.2	----	0	44.2
	SCHED 20 STEEL				80			1538.4	0.01
500	N/A	13.1	0	100.78	14	523	0	1624.1	0.77
510	150	13.1	1500	100	13.376	1.2	----	0	0
	SCHED 20 STEEL				80			1624.1	0.01

Anexo 9-4 Tabla de Resultados de la Simulación Hidráulica del Caso 3 en el software FIRE Sprinkler Hydraulic Calculations

***** FIRE SPRINKLER DESIGN PROGRAM BY ELITE SOFTWARE DEVELOPMENT INC *****									
***** ***** ***** FIRE SPRINKLER OUTPUT DATA - TESIS *** ***** *****									
OVERALL PIPE OUTPUT DATA:									
BEG END	NODAL K-FAC	ELEV (FT)	DISCH. (GPM)	RES.PR (PSI)	NOMDIA IN.DIA C-VAL	Q(GPM) VEL(FPS)	F.L./FT FITTINGS TYPE.GRP	PIP.L FIT.L TOT.L	PF-PSI PE-PSI PV-PSI
20	N/A	13.1	0	102.2	24	1499.7	0	102.4	0.02
30	N/A	13.1	0	102.19	19.375	1.6	----	0	0
HDPE RD 11					150			102.4	0.02
20	N/A	13.1	0	102.2	24	-1500.1	0	118.4	0.02
10	N/A	13.1	-1500.14	102.22	19.375	-1.6	----	0	0
HDPE RD 11					150			118.4	0.02
30	N/A	13.1	0	102.19	24	1500.1	0	102.4	0.03
40	N/A	13.1	0	102.15	19.375	1.6	G	99.9	0
HDPE RD 11					150			202.3	0.02
40	N/A	13.1	0	102.15	24	1500	0	328.1	0.06
50	N/A	13.1	0	102.1	19.375	1.6	----	0	0
HDPE RD 11					150			328.1	0.02
50	N/A	13.1	0	102.1	24	1499.6	0	13.1	0
60	N/A	0	0	107.76	19.375	1.6	----	0	5.67
HDPE RD 11					150			13.1	0.02
60	N/A	0	0	107.76	24	1500	0	42.6	0.01
70	N/A	0	0	107.76	19.375	1.6	----	0	0
HDPE RD 11					150			42.6	0.02
70	N/A	0	0	107.76	24	1499.6	0	13.1	0
80	N/A	13.1	0	102.08	19.375	1.6	----	0	5.67
HDPE RD 11					150			13.1	0.02
80	N/A	13.1	0	102.08	24	1499.8	0	73.8	0.01
90	N/A	13.1	0	102.07	19.375	1.6	----	0	0
HDPE RD 11					150			73.8	0.02
90	N/A	13.1	0	102.07	24	1500.1	0	73.8	0.03
100	N/A	13.1	0	102.04	19.375	1.6	G	99.9	0
HDPE RD 11					150			173.7	0.02

100	N/A	13.1	0	102.04	24	1499.6	0	13.1	0
110	N/A	0	0	107.71	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
110	N/A	0	0	107.71	24	1500.2	0	68.9	0.01
120	N/A	0	0	107.7	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			68.9	0.02
120	N/A	0	0	107.7	24	1499.6	0	13.1	0
130	N/A	13.1	0	102.02	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
130	N/A	13.1	0	102.02	24	1499.9	0	200.1	0.03
140	N/A	13.1	0	101.99	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			200.1	0.02
140	N/A	13.1	0	101.99	24	1499.9	0	200.1	0.05
150	N/A	13.1	0	101.94	19.375	1.6	G	99.9	0
		HDPE RD 11			150			300	0.02
150	N/A	13.1	0	101.94	24	1499.6	0	13.1	0
160	N/A	0	0	107.61	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
160	N/A	0	0	107.61	24	1500	0	1847.1	0.32
170	N/A	0	0	107.29	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			1847.1	0.02
170	N/A	0	0	107.29	24	1499.6	0	13.1	0
180	N/A	13.1	0	101.62	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
180	N/A	13.1	0	101.62	24	1499.7	0	82	0.01
190	N/A	13.1	0	101.6	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			82	0.02
190	N/A	13.1	0	101.6	24	1499.6	0	13.1	0
200	N/A	0	0	107.27	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
200	N/A	0	0	107.27	24	1500	0	426.5	0.07
210	N/A	0	0	107.2	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			426.5	0.02
210	N/A	0	0	107.2	24	1500	0	426.5	0.09
220	N/A	0	0	107.11	19.375	1.6	G	99.9	0
		HDPE RD 11			150			526.4	0.02

ANEXOS

220	N/A	0	0	107.11	24	1500	0	820.2	0.14
230	N/A	0	0	106.96	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			820.2	0.02
230	N/A	0	0	106.96	24	1499.6	0	13.1	0
240	N/A	13.1	0	101.29	19.375	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
240	N/A	13.1	0	101.29	24	1500.1	0	23	0
250	N/A	13.1	0	101.29	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			23	0.02
250	N/A	13.1	0	101.29	24	1500.2	0	36	0.01
260	N/A	13.1	0	101.28	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			36	0.02
260	N/A	13.1	0	101.28	24	1499.8	0	24.6	0
270	N/A	13.1	0	101.28	19.375	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			24.6	0.02
270	N/A	13.1	0	101.28	24	1499.9	0	24.6	0.02
280	N/A	13.1	0	101.25	19.375	1.6	G	99.9	0
		HDPE RD 11			150			124.5	0.02
280	N/A	13.1	0	101.25	16	1500	0.001	182	0.23
290	N/A	13.1	0	101.03	12.92	3.7	----	0	0
		HDPE RD 11			150			182	0.09
290	N/A	13.1	0	101.03	16	647.7	0	182.1	0.05
300	N/A	13.1	0	100.98	12.92	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150		0	182.1	0.02
290	N/A	13.1	0	101.03	16	852.3	0	824.5	0.36
480	N/A	-88.6	0	144.7	12.92	2.1	----	0	44.03
		HDPE RD 11			150			824.5	0.03
300	N/A	13.1	0	100.98	16	648.1	0	13.1	0
310	N/A	0	0	106.65	12.92	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
310	N/A	0	0	106.65	16	647.6	0	45.9	0.01
320	N/A	0	0	106.64	12.92	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			45.9	0.02
320	N/A	0	0	106.64	16	648.1	0	13.1	0
330	N/A	13.1	0	100.96	12.92	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
330	N/A	13.1	0	100.96	16	647.7	0	442.1	0.12

ANEXOS

340	N/A	13.1	0	100.85	12.92	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			442.1	0.02
340	N/A	13.1	0	100.85	16	648.1	0	13.1	0
350	N/A	0	0	106.51	12.92	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
350	N/A	0	0	106.51	16	647.7	0	65.6	0.02
360	N/A	0	0	106.5	12.92	1.6	----	0	0
		HDPE RD 11			150			65.6	0.02
360	N/A	0	0	106.5	16	647.3	0	13.1	0
370	N/A	13.1	0	100.82	12.92	1.6	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.02
370	N/A	13.1	0	100.82	16	647.7	0	452.8	0.14
380	N/A	13.1	0	100.68	12.92	1.6	G	99.9	0
		HDPE RD 11			150			552.7	0.02
380	N/A	13.1	0	100.68	16	506.9	0	452.8	0.08
390	N/A	13.1	0	100.6	12.92	1.2	----	0	0
		HDPE RD 11			150			452.8	0.01
380	N/A	13.1	0	100.68	16	140.7	0	497.8	0.01
480	N/A	-88.6	0	144.7	12.92	0.3	----	0	44.03
		HDPE RD 11			150			497.8	0
390	N/A	13.1	0	100.6	16	506.6	0	13.1	0
400	N/A	0	0	106.27	12.92	1.2	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.01
400	N/A	0	0	106.27	16	507	0	137.8	0.02
410	N/A	0	0	106.25	12.92	1.2	----	0	0
		HDPE RD 11			150			137.8	0.01
410	N/A	0	0	106.25	16	506.6	0	13.1	0
420	N/A	13.1	0	100.57	12.92	1.2	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.01
420	N/A	13.1	0	100.57	16	506.9	0	651.2	0.11
430	N/A	13.1	0	100.47	12.92	1.2	----	0	0
		HDPE RD 11			150			651.2	0.01
430	N/A	13.1	0	100.47	16	958.6	0.001	651.2	0.35
440	N/A	13.1	0	100.11	12.92	2.3	----	0	0
		HDPE RD 11			150			651.2	0.04
440	N/A	13.1	0	100.11	16	958.8	0.001	13.1	0.01
450	N/A	0	0	105.78	12.92	2.3	----	0	5.67

ANEXOS

		HDPE RD 11			150			13.1	0.04
450	N/A	0	0	105.78	16	958.5	0.001	82	0.04
460	N/A	0	0	105.73	12.92	2.3	----	0	0
		HDPE RD 11			150			82	0.04
460	N/A	0	0	105.73	16	958.8	0.001	13.1	0.01
470	N/A	13.1	0	100.05	12.92	2.3	----	0	5.67
		HDPE RD 11			150			13.1	0.04
470	N/A	13.1	0	100.05	16	958.6	0.001	0	0.05
510	1500	13.1	1500	100	12.92	2.3	G	99.9	0
		HDPE RD 11			150			99.9	0.04
480	N/A	-88.6	0	144.7	24	993.1	0	916.4	0.07
490	N/A	-89	0	144.79	19.375	1.1	----	0	0.17
		HDPE RD 11			150			916.4	0.01
490	N/A	-89	0	144.79	16	451.6	0	965.2	0.13
430	N/A	13.1	0	100.47	12.92	1.1	----	0	44.2
		HDPE RD 11			150			965.2	0.01
490	N/A	-89	0	144.79	16	541.4	0	1538.4	0.29
500	N/A	13.1	0	100.31	12.92	1.3	----	0	44.2
		HDPE RD 11			150			1538.4	0.01
500	N/A	13.1	0	100.31	16	541.4	0	1624.1	0.31
510	1500	13.1	1500	100	12.92	1.3	----	0	0
		HDPE RD 11			150			1624.1	0.01