

**EVALUACION HIDRAULICA DE LA RED DE AGUA CONTRA INCENDIO DE LA
UNIDAD DE BALANCE EN LA GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA
(ECOPETROL S.A.)**

MARION ANDRES VERA SARMIENTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2010

**EVALUACION HIDRAULICA DE LA RED DE AGUA CONTRA INCENDIO DE LA
UNIDAD DE BALANCE EN LA GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA
(ECOPETROL S.A.)**

MARION ANDRES VERA SARMIENTO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Químico

Director

Prof. CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2010

*A Dios, mi familia y mis hermosos tesoros,
El motivo de cumplir nuevas metas cada día.*

Marion Andrés.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque me mantuvo vivo y jamás nunca se apartó de mi lado, a mi familia por la oportunidad que me dio de llegar hasta ésta etapa de mi vida, a mis maestros por todas sus enseñanzas.

A Vivian porque me dio un motivo más para ser el mejor, porque me dio fuerzas para levantarme cada mañana y enfrentar el día, sabiendo que el galardón será el mejor.

A Ecopetrol S.A. por darme la oportunidad de realizar la practica industrial, por todas las cosas que aprendí durante este corto periodo, por todo el apoyo brindado de parte de sus funcionarios.

Al Departamento GIRO y a sus integrantes por su amabilidad y calidez humana.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. CONCEPTOS TEORICOS.....	3
1.1 Redes Hidráulicas	3
1.1.1 Ecuación de continuidad	3
1.1.2 Ecuación de Energía.....	4
1.1.3 Perdidas por Fricción: Formula de Darcy	4
1.2 Pruebas de Disponibilidad de Flujo.....	5
1.2.1 Presión Estática	5
1.2.2 Presión Residual.....	5
1.2.3 Tubo Pitot.....	6
1.2.4 Tasa de Capacidad	6
1.3 Efecto del tiempo y uso en la fricción de tuberías	6
2. METODOLOGIA	7
2.1 EVALUACION CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO	7
2.2 REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE	7
2.3 SELECCIÓN DEL SECTOR DE PRUEBA DE ACUERDO AL PON	8
2.4 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED HIDRAULICA.....	8
2.4.1 Diagnóstico del funcionamiento de la casa de bombas en caso de una emergencia	8
2.4.1.1 Tanque de agua contra incendio.....	8
2.4.1.2 Bombas Contra incendio.....	8
2.4.2 Comparativo de pérdidas por fricción teóricas y experimentales	9
2.4.3 Comparativo del caudal disponible teórico y experimental a la presión mínima requerida	11
3. RESULTADOS Y ANALISIS	12

3.1	EVALUACION CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO	12
3.1.1	Red de Tubería	12
3.1.1.1	Tuberías en superficie y enterrada.....	12
3.1.1.2	Tamaños de tubería principal y accesorios.....	12
3.1.1.3	Casetas de manguera y equipo	13
3.1.1.4	Válvulas e hidrantes.....	13
3.1.2	Bombas Contra Incendio.....	14
3.2	REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE	15
3.2.1	Planos	15
3.2.2	Curvas de desempeño bombas	16
3.3	SELECCIÓN DEL SECTOR DE PRUEBA DE ACUERDO AL PON.....	16
3.4	EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED HIDRAULICA.....	16
3.4.1	Diagnostico del funcionamiento de la casa de bombas en caso de una emergencia.	16
3.4.1.1	Tanque de agua contra incendio.....	16
3.4.1.2	Desempeño de las bombas contra incendio	18
3.4.2	Comparativo de pérdidas por fricción teóricas y experimentales	19
3.4.2.1	Prueba 1: Casa de Bombas Balance	19
3.4.2.2	Prueba 2: Casa de Bombas 3900 (Galán)	21
3.4.3	Comparativo del caudal disponible teórico y experimental a la presión mínima requerida	23
3.4.3.1	Prueba 1: Casa de Bombas Balance	23
3.4.3.2	Prueba 2: Casa de Bombas Galán.....	23
3.4.3.3	Prueba 3: Casa de Bombas Balance + Casa de Bombas Galán	24
	CONCLUSIONES	26
	RECOMENDACIONES.....	17
	BIBLIOGRAFIA.....	28
	ANEXOS	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación de nodo en una red hidráulica.	3
Figura 2. Selección de hidrantes en una prueba de flujo.	5
Figura 3. Prueba 1: Cambio de presión en la red respecto al cuadrado del caudal...	19
Figura 4. Simulación red contra incendio unidad de Balance.	20
Figura 5. Prueba 2: Cambio de presión en la red respecto al cuadrado del caudal...	22

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Desempeño en campo bombas contra incendio Balance	15
Tabla 2. Listado de planos consultados durante la práctica	15
Tabla 3. Valores Promedio reportados en las Mediciones In Situ efectuadas en las Captaciones de Agua de la GRB ECOPETROL S.A. Diciembre de 2008	17
Tabla 4. Desviación del punto de operación BEP de las bombas contra incendio Balance... ..	18
Tabla 5. Resultados obtenidos en la simulación (teórico) y prueba (experimental) de la red para la casa de bombas Balance.....	20
Tabla 6. Comparativo de diámetros de diseño y actuales.	21
Tabla 7. Resultados obtenidos en la simulación (teórico) y prueba (experimental) de la red para la casa de bombas 3900 (Galán).	22
Tabla 8. Tasa de capacidad del sistema con casa de bombas Balance.....	23
Tabla 9. Tasa de capacidad del sistema con casa de bombas Galán.	24
Tabla 10. Tasa de capacidad del sistema con casa de bombas Balance + casa de Bombas Galán.	25

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. CURVAS DE DESEMPEÑO BOMBAS CONTRA INCENDIO CASAS DE BOMBAS BALANCE Y GALAN	30
ANEXO B. DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE FLUJO	37
ANEXO C. PON DE ATENCION DE EMERGENCIA TANQUE K-2806, CASA DE BOMBAS C, UNIDAD DE BALANCE, GRB COPETROL S.A.	40

GLOSARIO

NFPA: (National Fire Protection Association). Organismo de Estados Unidos que estandariza el tema de contra incendios. Sus normas han sido acogidas por diferentes países en el mundo, entre los cuales está Colombia. ECOPETROL S.A.

PHAST: (Process Hazard Analysis Software Tool). Software diseñado para realizar análisis y modelación de consecuencias derivadas de escapes de productos químicos, incendios, y explosiones.

UL: (Underwriters Laboratories Inc). Laboratorios de pruebas para establecer conformidad de productos con normas de referencia, por ejemplo NFPA. Publica, entre otros, Listados de equipos y accesorios contra incendios, que cumplen normas NFPA específicas en dicho listado.

PON: (Procedimiento Operativo Normalizado). Ficha de atención a una emergencia determinada basada en la modelación de consecuencias realizada por el software PHAST.

INPLANT: simulador de flujo de fluidos en estado estable para tuberías de plantas de proceso. Esta herramienta es útil para diseñar nuevos sistemas, monitorear sistemas existentes y prevenir y/o solucionar problemas de tuberías. Con este software se puede examinar y monitorear conductos sencillos, sistemas de relevo, redes de tubería de proceso, cabezales de purga (teas), y tuberías de servicios industriales.

RESUMEN

TITULO: EVALUACION HIDRAULICA DE LA RED DE AGUA CONTRA INCENDIO DE LA UNIDAD DE BALANCE EN LA GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA (ECOPETROL S.A)*

AUTOR: Marion Andrés Vera Sarmiento**

PALABRAS CLAVES: Red hidráulica, evaluación hidráulica, sistema contra incendio.

En refinерías y plantas petroquímicas, donde se trabaja con fluidos inflamables o combustibles, o donde por la naturaleza y cantidad de los materiales se hace necesario diseñar un sistema de protección contra incendios, se plantea la situación de proyectar un abastecimiento de agua adecuado para cada caso.

Uno de los factores determinante en una confiable protección contra incendios es el tiempo que la red lleva en servicio. Un análisis hidráulico de la tubería en la red podrá dar un resultado de confiabilidad del sistema. Para obtener este tipo de información es necesario realizar pruebas de flujo de agua, haciendo fluir caudales a través de los hidrantes en diferentes cuadrantes de la red.

Seguidamente, un proceso de modelaje hidráulico con un software certificado debe reproducir lo encontrado en las pruebas, de manera que se encuentre la reducción del diámetro actual.

Esto se refiere a la eficacia de extinción y control de un incendio, lo que implica la comparación del volumen y presión del agua disponible en el sitio del evento versus el requerimiento de agua necesario para controlar el incidente.

Con el resultado obtenido se puede planear el ataque a un incendio en cualquier parte de la refinería, sabiendo cuales son las limitaciones, cuantos hidrantes se deben poner a fluir y cuantas bombas son necesarias para mantener la presión por encima del valor mínimo requerido.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Crisóstomo Barajas Ferreira.

ABSTRACT

TITLE: FIRE WATER NETWORK HYDRAULIC ANALYSIS FOR GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA, BALANCE UNIT (ECOPETROL S.A).*

AUTHOR: Marion Andrés Vera Sarmiento**

KEY WORDS: Fire water network, hydraulic analysis.

At Oil Refineries and Petrochemical Plants, where flammable fluids are handled, or materials' nature or quantity makes a fire protection system necessary, planning an adequate water supply for every situation is raised.

The time networks have been on service is determinant for a reliable fire protection. A pipe network hydraulic analysis might give an actual diagnosis of the pipe conditions and the fire protection reliability. This information is obtained by doing some field tests, known as the fire flow tests, opening the fire hydrants to flow water at the network's different places.

After that, a hydraulic modeling process made with certified software must reproduce the data found in the test, so that the pipe diameter can be calculated.

This leads to the analysis of the efficiency for the network controlling and extinguishing a fire, and shows the comparative for the water volume and pressure available versus demanded.

The results obtained lead to the planning for firefighting procedures at any place in the refinery, knowing its limitations, the fire hydrants and pumps necessary to activate in order to reach the water volume demanded keeping the pressure above its minimum.

* Undergraduate Thesis.

** Faculty of Physical Chemistry Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Crisóstomo Barajas Ferreira.

INTRODUCCION

El propósito de un sistema contra incendio es proveer un grado razonable de protección del fuego para la vida y la propiedad a través de la instalación de tuberías, hidrantes, monitores, rociadores, bombas e hidrantes para servicio de protección de incendios.

La refinería de Barrancabermeja desde un buen tiempo atrás ha contado con una red de agua contra incendio (casi 50 años para la zona de refinación y petroquímica, 30 años para la unidad de balance, 10 años para al área Galán). La cual tiene una longitud aproximada de 67 kilómetros.

Las redes de tubería son la parte esencial de un sistema de agua contra incendio. El diseño óptimo de las redes cumple una parte vital a la hora de suministrar agua a flujos y presiones requeridas para el combate de incendios. Sin embargo, existen algunos escenarios donde la presión de salida no se suficiente para suplir la demanda requerida.

Algo muy común en la refinería es el uso de la red contra incendios en labores de limpieza y mantenimiento de plantas, debido a la facilidad de acceder a ésta y su presión relativamente alta. El problema radica en que éste proceso disminuye la vida útil de la red al introducir oxígeno cada vez que ésta se utiliza. Consecuentemente, la red se deteriora y empieza a romperse hasta el punto que se decide reemplazarla.

Otro factor muy importante en el tiempo de vida útil de la red contra incendios es la calidad del agua utilizada para combatir los incendios. En lugares donde haya flujo muerto debido a no utilizar la red, ésta empieza a sedimentar los lodos en el agua, hasta un punto que se pueda taponar, situación grave desde cualquier punto de vista.

Las pruebas de flujo de agua contra incendio son realizadas para determinar la cantidad de agua y presión que se puede suministrar a las diferentes áreas de la refinería, y definir así el comportamiento de la red en términos de diámetro actual, flujo máximo de agua disponible en el área y un procedimiento para el combate de incendios en cualquier emergencia que se pueda presentar.

1. CONCEPTOS TEORICOS

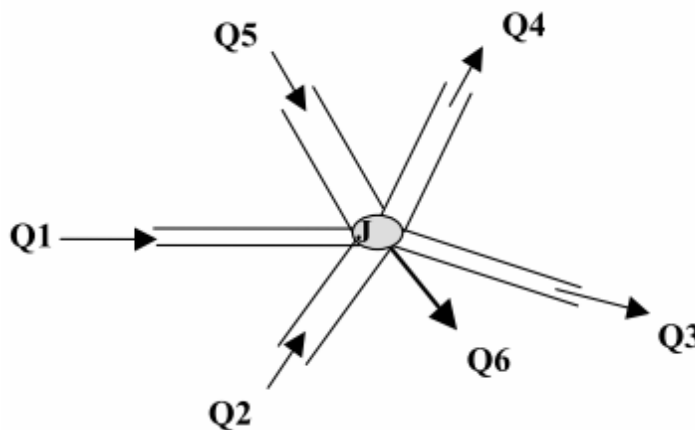
1.1 Redes Hidráulicas

Una red de agua contra incendios puede definirse como un número de interconexiones de tuberías a través de nodos. En un sistema de distribución de agua, las tuberías son conectadas de tal manera que forman una compleja configuración en lazo, que tiene como propósito suministrar agua al flujo y presión adecuados.

El flujo en una red de tubería para el transporte de agua satisface dos principios básicos: la conservación de la masa en nodos y la conservación de energía en los lazos hidráulicos:

1.1.1 Ecuación de continuidad:

Figura 1. Representación de nodo en una red hidráulica.



Fuente: Cholamandalam MS Risk Services Ltd.

El principio de conservación de masa establece que:

$$Q_1 + Q_2 + Q_5 = Q_3 + Q_4 + Q_6$$

Esto significa que la suma de flujos entrando al nodo es igual a la suma de flujos saliendo del nodo.

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out}$$

1.1.2 **Ecuación de Energía:** El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de energía al flujo de fluidos en tuberías.

$$Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = H$$

En un flujo ideal, en el cual no existen pérdidas por fricción, y tampoco se aporta energía adicional al sistema (bombas), la altura total H permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad se encuentra que:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

El balance de energía se escribe para dos puntos del fluido, incluyendo las pérdidas y/o incrementos de energía que ocurren en el sistema.

1.1.3 **Perdidas por Fricción: Formula de Darcy:** El flujo de fluidos en tuberías siempre está acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible. En otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido de flujo.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

La ecuación de Darcy es válida tanto para flujo laminar como turbulento de cualquier líquido en una tubería. De ésta fórmula también se derivan las pérdidas por válvulas y accesorios, donde la misma pérdida para una tubería recta se expresa por la ecuación:

$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad K = f \cdot \frac{L}{D}$$

La relación L/D es la longitud equivalente en diámetros de tubería recta que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en las mismas condiciones de flujo.

En general, el análisis de redes hidráulicas da lugar a un número de ecuaciones simultáneas que difícilmente se pueden resolver a mano, por lo cual éste tipo de problemas se solucionan utilizando métodos numéricos con computadoras.

1.2 Pruebas de Disponibilidad de Flujo

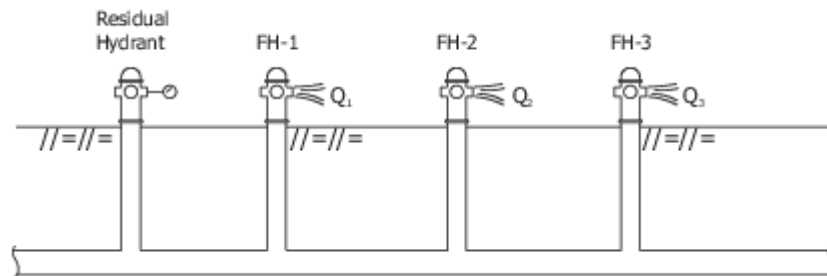
La prueba de flujo es un método ampliamente usado para estimar el flujo de agua disponible de los hidrantes, y también frecuentemente usado en el proceso de calibración de un modelo hidráulico para un sistema de distribución de agua, con el fin de determinar rugosidades, encontrar válvulas cerradas, diámetros actuales, entre otras aplicaciones.

1.2.1 **Presión Estática:** la presión que existe en un punto dado bajo condiciones normales del sistema de distribución medidas en el hidrante residual sin flujo de agua.

1.2.2 **Presión Residual:** presión que existe en el sistema de distribución. Medida en el hidrante residual en el momento en que es tomada la lectura de flujo de los hidrantes que fluyen.

El hidrante residual se refiere a aquel punto de referencia donde no va a fluir agua:

Figura 2. Selección de hidrantes en una prueba de flujo.



Fuente: EL AUTOR

1.2.3 **Tubo Pitot:** es un instrumento elemental para la medición de caudal a la salida de un hidrante. Es hueco de sección circular, doblado en L y cuyo eje se alinea con la dirección de la velocidad del flujo en el punto medio de la boquilla de descarga. La forma de calcular el caudal es por medio de la siguiente relación:

$$Q = 29,83 \cdot c \cdot D^2 \cdot \sqrt{P}$$

Donde:

c = coeficiente de descarga del hidrante

D = diámetro de la salida en pulgadas

P = presión Pitot (cabeza de velocidad) en psi

1.2.4 **Tasa de Capacidad:** el flujo disponible desde un hidrante a la presión residual medida o calculada en un sector, cumple la siguiente relación:

$$Q_R = Q_F \cdot \frac{h_r^{0,54}}{h_f^{0,54}}$$

Donde:

Q_R = Flujo predicho a la presión residual deseada

Q_F = Flujo total medido durante la prueba

h_r = Caída de presión a la presión residual deseada

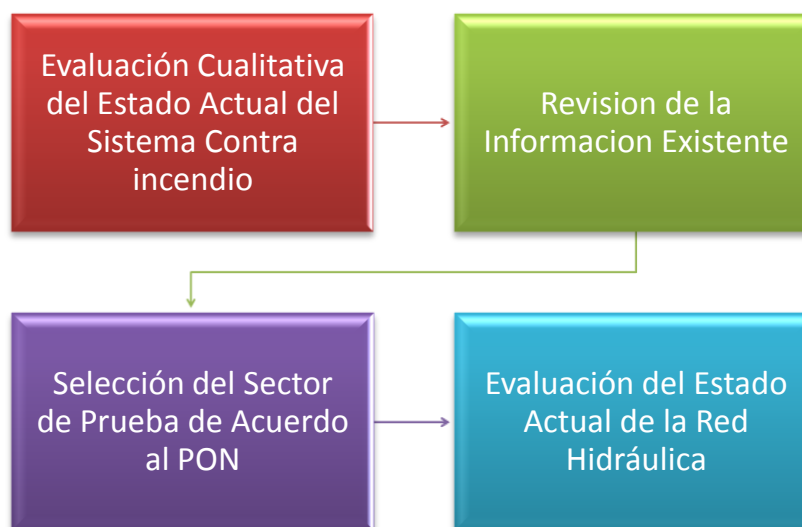
h_f = Caída de presión medida durante la prueba

1.3 Efecto del tiempo y uso en la fricción de tuberías

Las pérdidas por fricción son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad en las paredes. Para un caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente a la quinta potencia del diámetro. En muchos de los servicios, el interior de la tubería se va incrustando con cascarilla, tierra y otros materiales extraños; luego, es una práctica prudente dar margen para reducciones del diámetro de paso.

2. METODOLOGIA

A continuación se muestra la metodología empleada para desarrollar cada etapa del proyecto.



2.1 EVALUACION CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO

Ésta primera etapa consistió en la revisión y reconocimiento en campo de la red, comparando puntos clave del diseño con respecto a la norma internacional para la protección de incendios NFPA, y así observar su desviación cualitativa con respecto al estándar.

2.2 REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE

Los objetivos cumplidos en este punto fueron los siguientes:

- Trasladar los planos de tuberías al software de redes INPLANT, con el fin de modelar la red hidráulica y hacer un comparativo entre el diseño y la operación actual.
- Revisar el diagnóstico último de las bombas contra incendio y analizar sus curvas de operación y su desviación.

2.3 SELECCIÓN DEL SECTOR DE PRUEBA DE ACUERDO AL PON

El procedimiento operativo normalizado PON es una ficha técnica creada por un software de modelamiento de riesgos llamado PHAST, que tiene como fin establecer unas pautas de combate de incendio en cualquier escenario posible que se presente en la refinería. De acuerdo con los diferentes PON existentes para la unidad de balance, la selección del lugar donde se realizó la prueba de flujo se basó en los siguientes parámetros:

- Puntos con mayor demanda de agua a la hora de una emergencia.
- Puntos más lejanos de las casas de bombas contra incendio.

2.4 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED HIDRAULICA.

Para determinar el estado actual de la red se tuvo en cuenta varios factores:

- Diagnóstico del funcionamiento de la casa de bombas en caso de una emergencia.
- Comparativo de pérdidas por fricción teóricas y experimentales.
- Comparativo del caudal disponible teórico y experimental a la presión mínima requerida.

2.4.1 Diagnóstico del funcionamiento de la casa de bombas en caso de una emergencia: Con el fin de obtener un diagnóstico final se revisaron varios aspectos de la casa de bombas contra incendio en la unidad de balance:

2.4.1.1 Tanque de agua contra incendio: se revisó la hoja de diseño, el agua utilizada para el combate de incendios, el sistema de rellenado para servicio ilimitado.

2.4.1.2 Bombas Contra incendio: se revisó la desviación de la curva de diseño de funcionamiento de la bomba con respecto a su actual operación.

2.4.2 Comparativo de pérdidas por fricción teóricas y experimentales:

Obtenidos los datos experimentales de presión estática y residual en el sector del sistema donde se realizó la prueba, y obteniendo las curvas de desempeño de las bombas, se modela en el software para redes INPLANT y se obtienen las pérdidas teóricas. Al comparar los resultados, se obtienen las curvas de comportamiento del cambio de presión contra el caudal cuadrado de la siguiente manera:

Aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{144 \cdot P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144 \cdot P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

Donde:

Z = Cabeza de altura o profundidad con respecto al punto de referencia (ft)

P = Presión (psig)

ρ = Densidad del fluido (lb/ft³)

v = Velocidad media de flujo (ft/s)

g = aceleración de gravedad (32.2 ft/s²)

h_L = pérdidas por fricción (ft)

Ahora reemplazando la velocidad media de flujo:

$$v = \frac{Q}{A} = 0,408 \cdot \frac{Q}{d^2}$$

$$\begin{aligned} Z_1 + \frac{144 \cdot P_1}{\rho_1} + \frac{1}{2g} \cdot \left(0,408 \cdot \frac{Q_1}{d_1^2} \right)^2 \\ = Z_2 + \frac{144 \cdot P_2}{\rho_2} + \frac{1}{2g} \cdot \left(0,408 \cdot \frac{Q_2}{d_2^2} \right)^2 + h_L \end{aligned}$$

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0311 \cdot f \cdot L \cdot \frac{Q^2}{d^5}$$

Suponiendo que no hay cambios de altura en la red de tubería, es decir, la única elevación que existe es la del agua en el tanque:

$$\frac{144 \cdot P_1}{\rho_1} + \frac{1}{2g} \cdot \left(0,408 \cdot \frac{Q_1}{d_1^2}\right) = \frac{144 \cdot P_2}{\rho_2} + \frac{1}{2g} \cdot \left(0,408 \cdot \frac{Q_2}{d_2^2}\right) + 0,0311 \cdot f \cdot L \cdot \frac{Q^2}{d^5}$$

Ahora, cumpliendo en principio de conservación de masa, teniendo en cuenta que el fluido es agua a temperatura ambiente (fluido incompresible):

$$\rho_1 = \rho_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$d_1 = d_2$$

Finalmente se obtiene la siguiente forma:

$$P_1 - P_2 = 0,000216 \cdot \rho f L \cdot \frac{Q^2}{d^5}$$

Las pérdidas por fricción en válvulas y accesorios se desprecian debido a que su aporte a la pérdida total es mínimo, del orden de 10^{-6} :

$$\Delta P = 0,00001799 \cdot K \rho \cdot \frac{Q^2}{d^4}$$

$$P_1 - P_2 = 0,000216 \cdot \rho f L \cdot \frac{Q^2}{d^5} + 0,00001799 \cdot K \rho \cdot \frac{Q^2}{d^4}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho Q^2}{d^4} \cdot \left(\frac{0,000216 \cdot f L}{d} + 0,00001799 \cdot K \right)$$

Entonces:

$$0,00001799 \cdot K \approx 0$$

Ya que los valores de K no superan las dos cifras para válvulas y codos ($K_V = 8$; $K_C = 30$)

La ecuación obtenida se comporta linealmente al relacionar el cambio de presión con el cuadrado del caudal.

En redes hidráulicas no se habla de un solo tramo de tubería, sino de múltiples tramos conectados entre sí. Sin embargo, debe cumplirse la ley de

conservación de energía, por lo que la pérdida de presión de un nodo a otro es igual a la suma de pérdidas en cada tramo por el cual viaja el fluido:

$$\Delta P = \sum \Delta P_i$$

Donde i se refiere a los tramos por los que viaja el fluido desde el punto 1 hasta el punto 2.

Teniendo ya las curvas de cambio de presión versus caudal cuadrado teóricas y experimentales, se hace una relación de pendientes entre las curvas, y así se obtiene una razón de pérdidas teóricas versus experimentales:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{0,000216 \cdot \rho f_1 L \cdot \frac{Q_1^2}{d_1^5}}{0,000216 \cdot \rho f_2 L \cdot \frac{Q_2^2}{d_2^5}}$$

Suponiendo que $f_1 = f_2$; los tramos de tubería son los mismos y los caudales que fluyen a través de cada tramo también son constantes, se obtiene esta última relación:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{d_2^5}{d_1^5}$$

Con tal relación se calcula el diámetro actual de la tubería en la red.

- 2.4.3 Comparativo del caudal disponible teórico y experimental a la presión mínima requerida:** Ahora, con los datos de presión residual y flujo de salida por los hidrantes obtenidos en la prueba de flujo y la simulación del comportamiento de diseño de la red, se puede calcular el flujo máximo disponible a la mínima presión requerida teórica y experimental, y se puede evaluar cómo influye el cambio de diámetro de tubería en el caudal disponible a la hora de una emergencia.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 EVALUACION CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA CONTRA INCENDIO

Con el fin de tener unas instalaciones de clase mundial, ECOPETROL está estudiando la implementación de la norma NFPA en su sistema de protección contra incendios. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

3.1.1 **Red de Tubería:** La red de tubería debiera regirse por la norma NFPA 24 “Norma para la Instalación de Tuberías para Servicio Privado de Incendios y sus Accesorios”. Durante el reconocimiento en campo se encontró lo siguiente:

3.1.1.1 Tuberías en superficie y enterrada:

- La norma sugiere claramente que no se use tubería de acero enterrada a menos que esté específicamente listada para tal servicio (Cap. 10.1.2).
- La norma sugiere que la tubería debe estar enterrada mínimo 2.5 pies, aunque en la unidad de balance la tubería está enterrada a más de 15 pies de profundidad, es de difícil acceso cuando se necesiten reparaciones (Cap. 10.4).
- La unidad de balance no cuenta con tubería en superficie.

3.1.1.2 Tamaños de tubería principal y accesorios:

- La red contra incendio de la unidad de balance, en cuestiones de diseño, cumple todos los parámetros propuestos por la norma (Cap. 13).

3.1.1.3 **Casetas de manguera y equipo:**

- Durante el recorrido de las plantas se encontró que existen casetas para manguera y equipo, pero no cumplen la norma en cuanto a ubicación, construcción, equipo general y marcado (Cap. 8).
- En cuanto a ubicación, no se encuentran junto a un hidrante.
- En cuanto a la construcción, no son resistentes en los cimientos, y difícilmente protege los equipos contenidos en ellas.
- El equipo general en las casetas era mínimo, es decir, algunas se encontraron vacías, y otras incompletas (no contienen todos los accesorios sugeridos por la norma).

3.1.1.4 **Válvulas e hidrantes:**

- Con respecto a los hidrantes, varios se encontraron en mal estado: fugas, corrosión, daño físico. No cumplen la norma con respecto a las roscas de salida del hidrante, ya que en algunos casos se ha presentado que la rosca de conexión del hidrantes es diferente a la rosca de manguera (Cap. 7).
- Las válvulas enterradas en fosos tienen una seria desviación de la norma. Las válvulas no tienen poste indicador de posición, y los fosos no tienen facilidad de drenaje, por lo cual la mayoría de las cajas de válvula siempre estaban inundadas, y era imposible ver si una válvula estaba cerrada o abierta (Cap. 6). Las válvulas no son del tipo aprobadas por la norma, y tampoco se cuenta con un plan de inspección.

3.1.2 **Bombas Contra Incendio:** Las bombas para el servicio de agua contra incendio debieran registrarse de acuerdo a la norma NFPA 20 “Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias de Protección Contra Incendios”. De acuerdo al estudio realizado se encontró que las bombas contra incendio utilizadas en la casa de bombas de la unidad de balance no son listadas y aprobadas para el servicio de protección de incendios. A pesar de que aún funcionan, no cumplen los requerimientos de la NFPA.

- Las bombas de motor diesel no cuentan con un rellenado automático confiable de los tanques de combustible, ya que la tubería de alimentación presenta fugas de combustible que caen en el cuarto de bombas, creando condiciones peligrosas en la operación de las bombas. Esto hace que el tiempo de servicio sea corto a la hora de una emergencia.
- Manómetros de descarga sin calibrar, no son aprobados por la norma y no se cuenta con facilidad para conexión de manómetros en la brida de succión.
- Las válvulas en la succión y la descarga de la bomba no son listadas UL.
- No se cuenta con un controlador automático desde el cuarto de control, sino que su control es directamente en la bomba y de forma manual.
- Las bombas P-2903C y P-2903D no cumplen los criterios de campo sugeridos por la norma, debido a su desviación de la curva de operación:

Tabla 1. Desempeño en campo bombas contra incendio Balance.

BOMBA	PRESION MÍNIMA AL 150% (psig)	PRESION OPERACIÓN AL 150% (psig)
P-2903A	97.5	106.1
P-2903B	97.5	115.9
P-2903C	97.5	94.6
P-2903D	97.5	58.9
P-2903E	97,5	–

- La bomba P-2903E se encuentra en reparación, lo que limita el sistema en un caso de grandes emergencias.

3.2 REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE

Con el fin de modelar una red hidráulica con exactitud, se revisó toda la información de planos “as built” y las curvas actuales de desempeño de las bombas. La información revisada en la base de datos de ECOPETROL S.A. fue:

3.2.1 Planos:

Tabla 2. Listado de planos consultados durante la práctica.

NUMERO	DESCRIPCIÓN
1201-50-AS-0030-25	Empresa Colombiana de Petróleos. Planta de Balance. Firefighting.
2-A52365-EA-002	Red Sistema de Contra incendio Área Galán. Planimétrico General de Tubería.
C-3609	Interconexión Red Contra Incendio Unidad de Balance con Red área 05 Optimización.
DF-410	Contra incendio unidad de Balance.

3.2.2 Curvas de desempeño bombas: En el anexo A se muestran las curvas obtenidas en julio de 2009.

3.3 SELECCIÓN DEL SECTOR DE PRUEBA DE ACUERDO AL PON

Después de estudiar los criterios de selección, se decidió que el sector del tanque K-2806 en la unidad de Balance presentó la mayor aproximación al punto deseado.

Según el PON, se necesitan 4876 gpm de agua a una presión de 100 psig para combatir un incendio en este tanque que almacena fondos de vacío provenientes de las unidades de destilación en vacío (topping).

3.4 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED HIDRAULICA

3.4.1 Diagnóstico del funcionamiento de la casa de bombas en caso de una emergencia.

3.4.1.1 Tanque de agua contra incendio: El tanque K-2902 es el que suministra agua contra incendio a las bombas. Tiene una altura de operación de 11 metros, lo que hace que tenga una cabeza de succión adicional para las bombas. El tanque es alimentado por una línea de 8 pulgadas, la cual está muy deteriorada, hasta tal punto que no se puede manejar agua a presiones mayores de 90 psig. Para poder superar las pérdidas por fricción desde el punto de alimentación del tanque (casa de bombas San Silvestre) se debe alimentar el tanque con flujos muy pequeños, disminuyendo significativamente la confiabilidad de apagado de un incendio de alta duración.

Otra oportunidad de mejora encontrada es la calidad del agua. El agua utilizada para combate de incendios de la unidad de balance proviene de la Ciénaga San Silvestre, agua que no es apta para el consumo humano. La

calidad del agua se puede definir como un grupo de límites (superiores e inferiores) en ciertos indicadores (contaminantes) del agua, los cuales pueden ser clasificados en tres grupos fundamentales: contaminantes físicos, químicos y biológicos. A pesar de que el agua del sistema contra incendio es frecuentemente usada para otras aplicaciones como limpieza de plantas, la red es suficientemente grande como para que en muchos lugares existan flujos muertos o lo suficientemente bajos para causar problemas debido a los altos tiempos de residencia creando depositaciones de lodos e incrustaciones. A esto sumado el alto número de coliformes presentes en el fluido, permitiendo la formación de biocapas (capa de microorganismos y productos microbianos alimentadas por la materia orgánica presente en el agua) y crecimiento microbiano en las tuberías.

La corrosión interna en tuberías metálicas y dispositivos de bombeo incrementan la concentración de compuestos metálicos en el agua. Cada metal tiene su proceso de corrosión, pero en general, el bajo nivel de pH, altas concentraciones de oxígeno disuelto, altas temperaturas y altos niveles de sólidos disueltos aumentan las velocidades de corrosión.

Tabla 3. Valores Promedio reportados en las Mediciones In Situ efectuadas en las Captaciones de Agua de la GRB ECOPEPETROL S.A. Diciembre de 2008.

PUNTO DE CAPTACION	pH	Oxigeno Disuelto (mg/L)	Temperatura (°C)	Sólidos suspendidos (mg/L)
Ciénaga San Silvestre.	5,73	2,91	27,9	18

Los datos muestran que el pH de la ciénaga es ácido, la temperatura y concentración de oxígeno disuelto es relativamente baja. Sin embargo, la red contra incendio de la unidad de balance tiene una facilidad de

interconexión con las áreas Galán, refinación y petroquímica, donde se usa principalmente agua proveniente de la Ciénaga Miramar. Por lo cual su influencia en sedimentación y corrosión se ve significativamente afectada por éste factor, ya que se debe tener en cuenta que la interconexión siempre está abierta.

3.4.1.2 Desempeño de las bombas contra incendio:

Tabla 4. Desviación del punto de operación BEP de las bombas contra incendio Balance.

BOMBA	CAUDAL NOMINAL (gpm)	PRESION NOMINAL (psig)	PRESION OPERACIÓN (psig)	DESVIACION (%)
P-2903A	1600	150	137,3	8,5
P-2903B	1600	150	141,5	5,6
P-2903C	1600	150	117,9	21,4
P-2903D	1600	150	118,1	21,3
P-2903E	1600	150	–	–

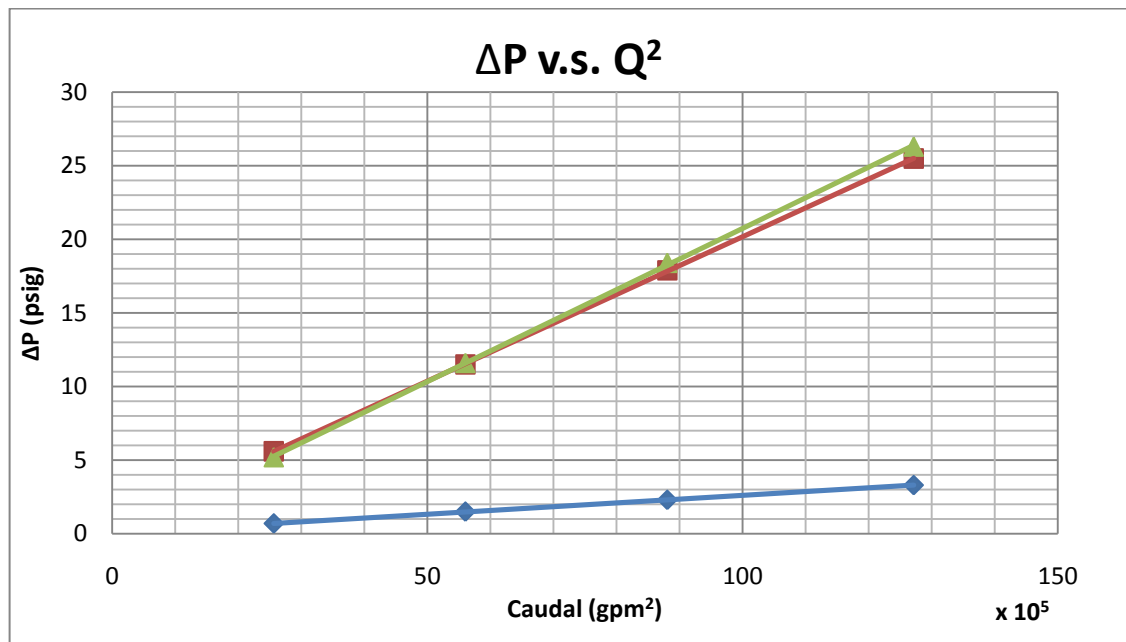
Estos resultados muestran el deterioro que presentan las bombas por su continuo uso. El sistema contra incendio en la unidad de balance también tiene una bomba de mantenimiento de presión llamada bomba jockey (bomba P-2903F) que se usa para mantener la presión por encima de 100 psig ya sea por fugas u otros pequeños consumos. Debido al uso excesivo del sistema contra incendio para todo tipo de actividades (mantenimientos, limpiezas, construcciones), la bomba jockey no es suficiente para mantener

la presión, por lo cual es necesario relevarla con una bomba principal. Lo anterior no es buena práctica según la NFPA 20.

3.4.2 Comparativo de pérdidas por fricción teóricas y experimentales.

3.4.2.1 Prueba 1: Casa de Bombas Balance. Para la realización de la prueba de flujo, primero se cerró la interconexión de la red entre balance y área Galán. Esto con el fin de revisar el sistema contra incendio que fue diseñado para trabajar de manera independiente al resto de la refinería. Durante la prueba fue necesario permitir el uso de la red en otra labor debido a necesidades ambientales.

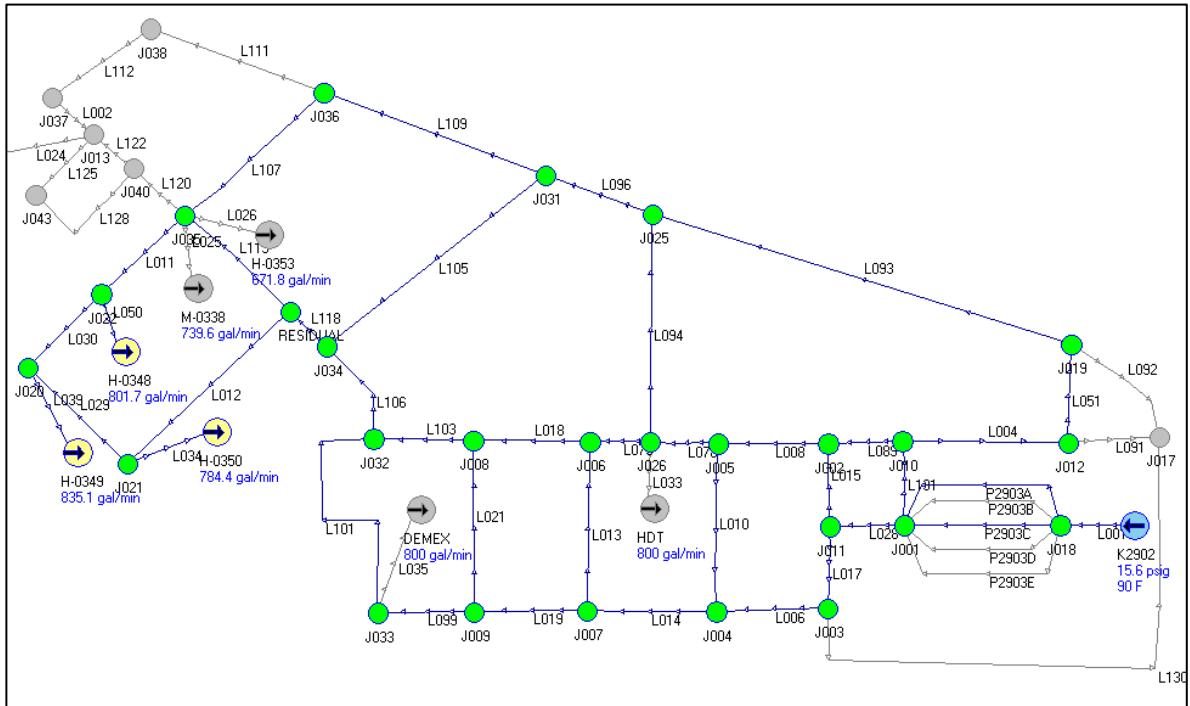
Figura 3. Prueba 1: Cambio de presión en la red respecto al cuadrado del caudal



Fuente: EL AUTOR

La línea azul representa el cambio de presión respecto al cuadrado de caudal para el diseño (tuberías limpias, nuevas). La línea roja representa los datos obtenidos durante la prueba, y la verde muestra la simulación de la red con el nuevo diámetro calculado.

Figura 4. Simulación red contra incendio unidad de Balance.



Fuente: INPLANT 4.1

Tabla 5. Resultados obtenidos en la simulación (teórico) y prueba (experimental) de la red para la casa de bombas Balance.

P0 (psig)	Q ₁ (gpm)	Q ₁ ² (gpm) ²	Pr	ΔP	Pr	ΔP
			Teórico (psig)	Teórico (psi)	Experimental (psig)	Experimental (psi)
163,6	1600,9	2562881	162,9	0,7	158	5,6
153,5	2367,2	5603636	152	1,5	142	11,5
143,9	2967,7	8807243	141,6	2,3	126	17,9
133,5	3566,2	12717782	130,2	3,3	108	25,5

Al aplicar la relación de diámetros deducida anteriormente (Cap. 2), obtenemos el siguiente resultado:

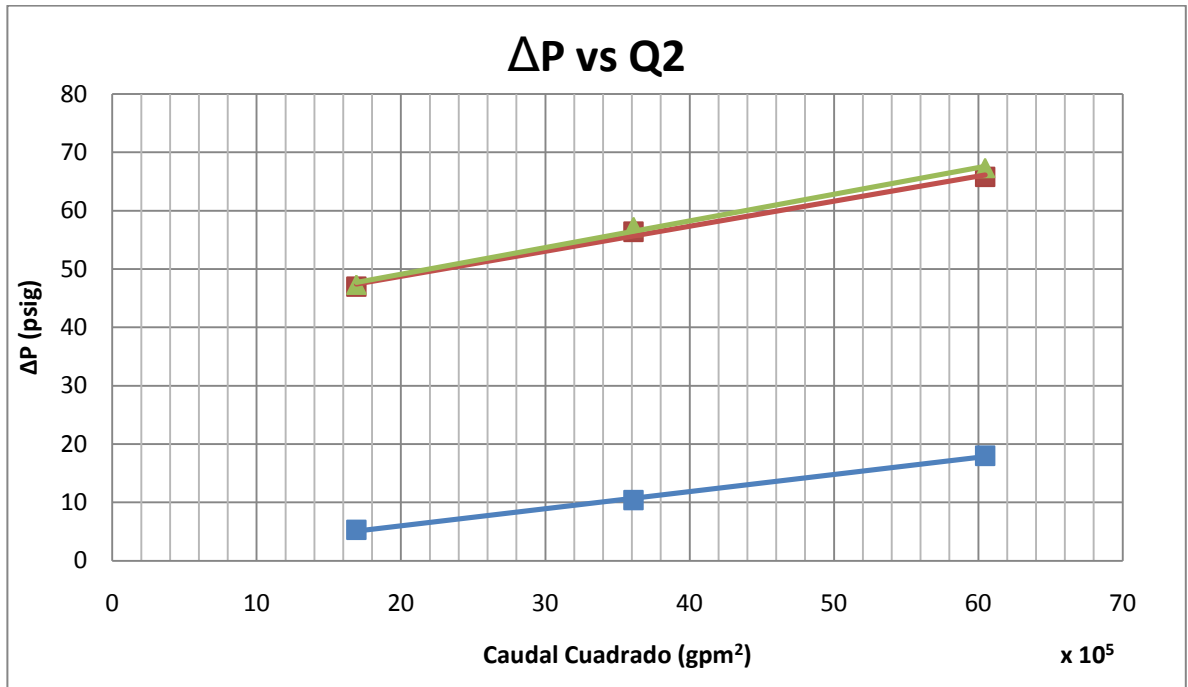
Tabla 6. Comparativo de diámetros de diseño y actuales.

DIAMETRO DE DISEÑO (pulg.)	DIAMETRO ACTUAL CALCULADO (pulg.)	REDUCCION DIAMETRO (%)
14	9,410	32,79
12	8,065	32,79
10	6,721	32,79

Este resultado de reducción de diámetro resulta en un incremento de casi 8 veces las pérdidas por fricción. Este incremento en la pérdida de carga pone ciertos límites al sistema, tales como en caso de un incendio es necesario poner en servicio más bombas de lo diseñado, dando así presiones de descarga más altas, inclusive por encima de la presión rateada para las tuberías y accesorios, además de un incremento en el gasto de energía, que aumenta el costo de operación del sistema. Esto sumado a la desviación de las curvas de desempeño de la bomba resulta en un sistema que en caso de una emergencia grande no sea capaz de suplir la demanda a la presión mínima requerida.

3.4.2.2 Prueba 2: Casa de Bombas 3900 (Galán). Para llevar a cabo ésta prueba, se volvió a abrir la interconexión entre la unidad de Balance y el área Galán, y se cerraron las interconexiones entre el área Galán y el área de refinación y petroquímica (Tie-in 1, 2, 3, 4).

Figura 5. Prueba 2: Cambio de presión en la red respecto al cuadrado del caudal.



Fuente: EL AUTOR

La gráfica muestra una alta diferencia en el cambio de presión. Esto se debe a que las bombas no solo están descargando agua hacia el lugar de la prueba, sino también están alimentando la refinería, por lo cual al abrir el primer hidrante la presión residual fue tan baja.

Tabla 7. Resultados obtenidos en la simulación (teórico) y prueba (experimental) de la red para la casa de bombas 3900 (Galán).

P0 (psig)	Q ₁ (gpm)	Q ₁ ² (gpm) ²	Pr	ΔP	Pr	ΔP
			Teórico (psig)	Teórico (psi)	Experimental (psig)	Experimental (psi)
181	1300	1690000	175,8	5,2	134	47,0
173,4	1900,3	3611140	163	10,4	117	56,4
161,8	2459,2	6047665	143,9	17,9	96	65,8

3.4.3 Comparativo del caudal disponible teórico y experimental a la presión mínima requerida.

3.4.3.1 Prueba 1: Casa de Bombas Balance: La siguiente tabla muestra los resultados a partir de los datos obtenidos en campo para la prueba de flujo utilizando como soporte la casa de bombas de la unidad de balance (ver Anexo B):

Tabla 8. Tasa de capacidad del sistema con casa de bombas Balance.

BOMBAS EN SERVICIO	CAUDAL TEORICO (gpm)	CAUDAL REAL (gpm)
P-2903A; P-2903C	> 3200	2623,2
P-2903A; P-2903C; P-2903D	> 4800	3693,2
P-2903A; P-2903B; P-2903C; P-2903D	> 6400	3715,6

Los resultados muestran que el sistema contra incendio, en caso de una emergencia en el sector analizado, no puede suplir las demandas de agua a la presión mínima requerida. Uno de los factores que influye significativamente en estos resultados es el consumo de agua contra incendios en otras áreas y para otras finalidades que no son el combate de incendios. Las pruebas fueron realizadas un día domingo, el cual el uso de la red es mínimo. En caso de presentarse una emergencia durante los días hábiles de la semana, la cantidad de agua disponible sería menor, ya que debido a la inmensidad de la red, es muy difícil controlar estos consumos.

3.4.3.2 Prueba 2: Casa de Bombas Galán: La siguiente tabla muestra los resultados a partir de los datos obtenidos en campo para la prueba de flujo utilizando como soporte la casa de bombas de la unidad 3900 (Anexo B):

Tabla 9. Tasa de capacidad del sistema con casa de bombas Galán.

BOMBAS EN SERVICIO	CAUDAL TEORICO (gpm)	CAUDAL REAL (gpm)
P-3902A	> 2500	1061,8
P-3902A; P-3902B	> 5000	2178
P-3902A; P-3902B; P-3902C	> 7000	-

Estos resultados muestran que aún la casa de bombas 3900 no aporta el flujo suficiente a la mínima presión requerida. La red contra incendio en el área Galán no se puede aislar totalmente del área de refinación y petroquímica debido a una línea que la interconecta y no aparece en planos. Esto influye significativamente en la cabeza de descarga de las bombas, ya que la cantidad de agua consumida ya sea por fugas o actividades en el resto de la red de la refinería son bastante altas. La red de contra incendio de Galán es nueva, y no presenta problemas de tuberculación o depositación.

3.4.3.3 Prueba 3: Casa de Bombas Balance + Casa de Bombas Galán. La combinación de casas de bombas a la hora de una emergencia es una práctica común en la GRB. Esto se debe a que en general las bombas contra incendio ya tienen buen tiempo de uso, y su eficiencia se ha disminuido significativamente. Sin embargo, no siempre es la solución, ya que las tuberías también juegan un papel muy importante a la hora de perder presión en el flujo.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos en la prueba de flujo poniendo las dos casas de bombas en servicio:

Tabla 10. Tasa de capacidad del sistema con Casa de Bombas Balance + Casa de Bombas Galán.

BOMBAS EN SERVICIO	CAUDAL TEORICO (gpm)	CAUDAL REAL (gpm)
P-3902A; P-2903A	> 4100	3947,5
P-3902A; P-2903A; P-2903C	> 6000	5288,2

La combinación de la casa de bombas balance junto con la casa de bombas Galán si suministraría el caudal suficiente en el momento en que se presente una emergencia en éste sector.

CONCLUSIONES

1. El sistema contra incendio de la unidad de Balance presenta una alta desviación con respecto al diseño realizado por UOP. Su capacidad actual está un 24% por debajo respecto a la de diseño, y ésta diferencia sigue aumentando a medida que se agregan más bombas al sistema. Por lo tanto el sistema contra incendio de la unidad de Balance no es lo suficientemente fuerte para atender grandes emergencias ó emergencias simultáneas en diferentes sectores.
2. La simulación corroboró que el diámetro de las tuberías de la red han disminuido significativamente, de tal manera que sin importar que estén todas las bombas en funcionamiento, la alta caída de presión no permitirá que la presión se pueda mantener por encima del valor mínimo requerido, y si puede llegar a existir daños en las bombas debido a que están operando a presión de cierre y/o en las tuberías de descarga debido a la alta presión (mayor a la presión rateada).
3. La casa de bombas 3900 no es un gran apoyo a la hora de una emergencia en la unidad de balance debido a que ésta se encuentra bastante lejos y, además, solo existe una interconexión entre las redes contra incendio de Galán y Balance, permitiendo caídas de presión bastante altas, y la red de Galán no se puede aislar totalmente de la red de refinación y petroquímica.
4. La única manera de combatir grandes emergencias en la unidad de Balance es poner simultáneamente en servicio las casas de bombas Balance y Galán, restringiendo todo consumo de la red en otros lugares.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un plan de recuperación de todo el sistema contra incendio de la unidad de Balance (Tanque de almacenamiento, Bombas, Red Hidráulica). Esto lograría un significativo aumento en la confiabilidad y disminución en costos de operación de la red.
2. Si se desea apoyar el sistema contra incendio de Balance con el de Galán, sería un mejor apoyo construyendo otra interconexión entre estas dos redes, para así evitar tan altas caídas de presión con una sola interconexión.
3. Es necesario restringir el uso de la red contra incendio únicamente para combate de incendios, ya que se aumentaría el caudal disponible en una emergencia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias de Protección Contra Incendios. Estados Unidos, Edición 2007, 62p.
- [2] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 24: Norma para la Instalación de Tuberías para Servicio Privado de Incendios y sus Accesorios. Estados Unidos, Edición 2007, 114p.
- [3] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Distribution System Requirements for Fire Protection. AWWA Manual M31. United States of America, Third Edition, 1999, 61p.
- [4] ECKMAN, William F. The fire Department Water Supply Handbook [Online]. Fire Engineering Books & Videos, 1994 [cited 15 de enero de 2010]. Available on Internet:
http://books.google.com/books?id=RmsQCC1apO8C&pg=PA218&lpg=PA218&dq=fire+flow+disadvantages&source=bl&ots=78CaJz4hgd&sig=jltE_LIQGYN4IWI-8rqPVp_HP_YU&hl=en&ei=rFAgS5SiAoWpnQef_ozWDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBAQ6AEwAzgU#v=onepage&q=fire%20flow%20disadvantages&f=false
- [5] SIMSCI. Simulation Sciences Inc. INPLANT Input Manual. Version 3.0. United States of America, 1994.
- [6] SOTELO, Gilberto. Hidráulica General Vol. 1: Fundamentos. México: Editorial Limusa S.A, 1997.
- [7] CRANE. Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe. United States of America: CRANE CO, 1980.

[8] SELVAKUMAR, J. Fire Hydrant Network Analysis Using Software [Online], Cholamandalam MS Risk Services Ltd [cited 15 de enero de 2010]. Available on Internet: <http://www.cholarisk.com/uploads/Fire-Hydrant-Network-Analysis.pdf>

[9] SADIQ, R.; KLEINER, Y; RAJANI, B. B. Water Quality Failures in Distribution Networks – Risk Analysis using Fuzzy Logic and Evidential Reasoning [Online]. Canada: NRC Institute for Research in Construction; National Research Council, 2007 [cited 15 de enero de 2010]. Available on Internet: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc50083/nrcc50083.pdf>

[10] MENDEZ, Maikel y CALDERON, Pamela. Modelación Asistida de Sistemas de Distribución de Agua (MASDA) Caso de Estudio: Acueducto Marsella [Online]. Costa Rica: Tecnología en Marcha, Vol. 21, No. 4, Octubre-Diciembre 2008 [cited 15 de enero de 2010] Disponible en Internet: http://www.tec.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha_21-4/cap%2010.pdf

A.2 Casa de Bombas Galán.

A.2.1 Bomba P-3902A.

EGGPETROL		DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL										ECP-DRIF-048		
FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN LA PRUEBA DE LA BOMBA CONTRA INCENDIO												ACT: 0	1/1	12/03/2007
En caso de cualquier duda, consulte al documento ECP-DRIF-011														
Vicepresidencia:	Refinación y Petroquímica													
Gerencia:	Gerencia Refinería Barrancabermeja													
Instalación:	P-3902A	Fecha: dd/mm/aa	13	7	2009									
Ubicación:	Casa Bombas Galán U-3900													
Responsable:	Departamento Servicios Industriales Balance													
Frecuencia de inspección:	X	Anual	Trimestral	Mensual										
Marca de la bomba:	Aurora Pump		Numeración:	5505										
Tipo de bomba:	X	Eléctrica	Diesel	Turbina										
Persona que elabora la prueba:	Plene Espitia, Oscar Florez, Paul Ortiz, James Carrillo, Julian Colmenares													
Empresa a que pertenece:	ECOPEPETROL S.A.													
Coefficiente de descarga:	0,97	Punto de operación:	2500	GPM	@	150	PSI	RPM	1770					
Presión máxima:	167,7	PSI	Presión al 150%:	118	PSI									

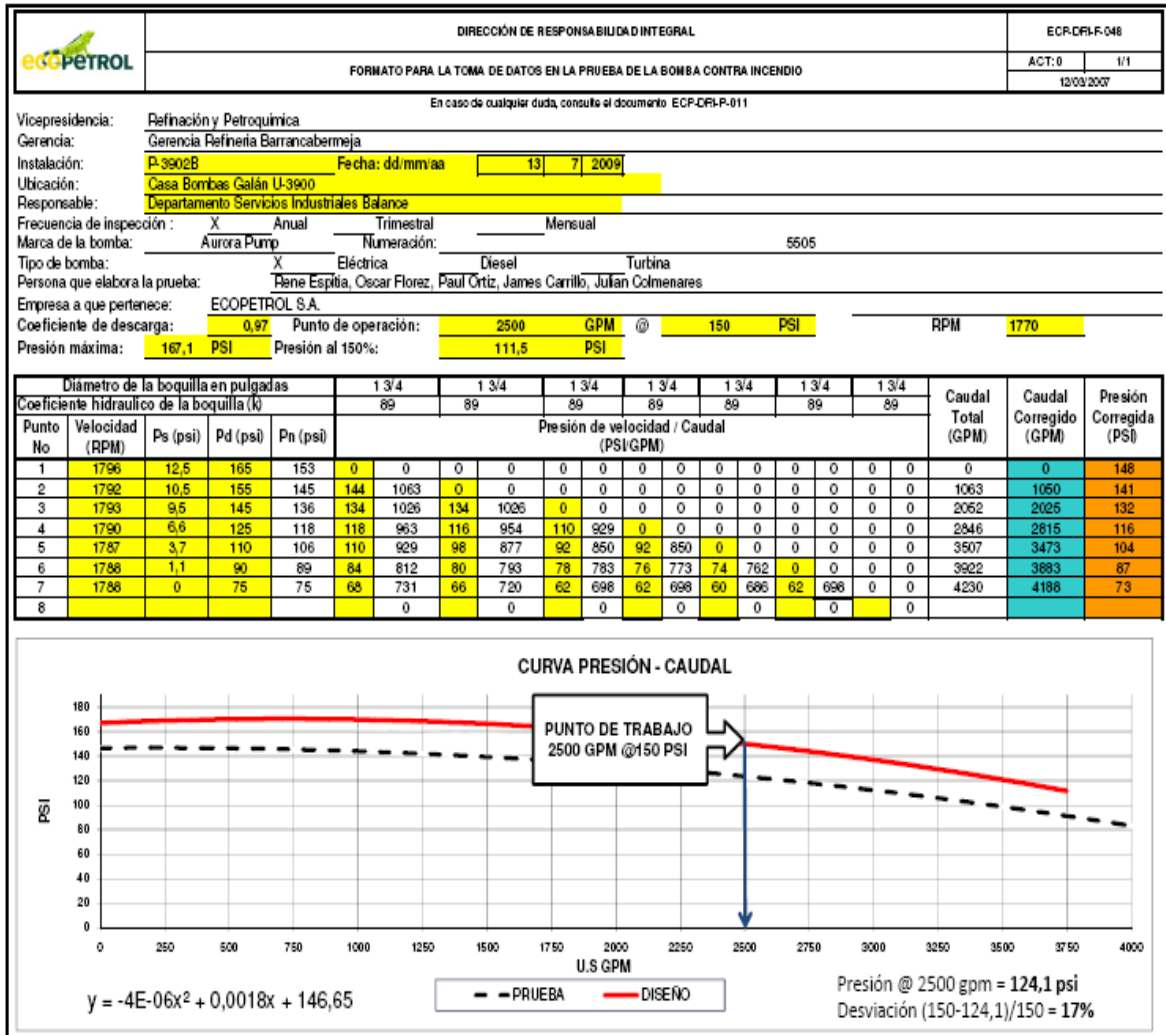
Diámetro de la boquilla en pulgadas		1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	Caudal Total (GPM)	Caudal Corregido (GPM)	Presión Corregida (PSI)		
Coeficiente hidráulico de la boquilla (k)		89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89					
Punto No	Velocidad (RPM)	Ps (psi)	Pd (psi)	Pn (psi)	Presión de velocidad / Caudal (PSI/GPM)																
1	1796	13	180	167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162		
2	1793	12,3	180	168	148	1078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1078	1064	163
3	1792	9,8	170	160	136	1033	134	1026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2059	2034	156
4	1790	7	150	143	118	963	116	954	110	929	0	0	0	0	0	0	0	0	2846	2815	140
5	1788	4	130	126	100	886	100	886	94	859	92	850	0	0	0	0	0	0	3481	3446	123
6	1780	1	110	109	84	812	82	802	76	773	76	773	76	773	0	0	0	0	3932	3910	108
7	1787	0	95	95	70	741	68	731	64	709	64	709	62	698	64	709	0	0	4297	4256	93
8	1787	0	80	80	58	675	54	651	50	627	50	627	50	627	52	639	50	627	4471	4429	78

CURVA PRESIÓN - CAUDAL


$y = -6E-06x^2 + 0,0107x + 161,2$

Presión @ 2500 gpm = 148,7 psi
Desviación (150-148,7)/150 = 1%

A.2.2 Bomba P-3902B.

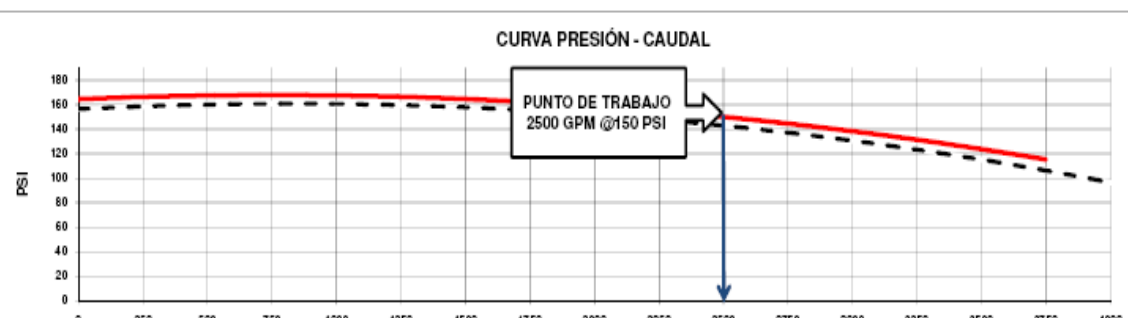


A.2.3 Bomba P-3902C.

		DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL										ECP-DRI-F-048	
FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN LA PRUEBA DE LA BOMBA CONTRA INCENDIO												ACT: 0	1/1
En caso de cualquier duda, consulte al documento ECP-DRI-P-011													
Vicepresidencia:	Refinación y Petroquímica												
Gerencia:	Gerencia Refinería Barrancabermeja												
Instalación:	P-3902C Fecha: dd/mm/aa 13 7 2009												
Ubicación:	Casa Bombas Galán U-9900												
Responsable:	Departamento Servicios Industriales Balance												
Frecuencia de inspección:	X Anual Trimestral Mensual												
Marca de la bomba:	Aurora Pump Numeración: 5505												
Tipo de bomba:	X Eléctrica Diesel Turbina												
Persona que elabora la prueba:	Rene Espitia, Oscar Florez, Paul Ortiz, James Carrillo, Julian Colmenares												
Empresa a que pertenece:	ECOPETROL S.A.												
Coefficiente de descarga:	0,97 Punto de operación: 2500 GPM @ 150 PSI RPM 1770												
Presión máxima:	164,5 PSI Presión al 150%: 115,2 PSI												

Díametro de la boquilla en pulgadas		1 3/4		1 3/4		1 3/4		1 3/4		1 3/4		1 3/4		1 3/4		Caudal Total (GPM)	Caudal Corregido (GPM)	Presión Corregida (PSI)	
Coeficiente hidráulico de la boquilla (k)		89		89		89		89		89		89							
Punto No	Velocidad (RPM)	Ps (psi)	Pd (psi)	Pn (psi)	Presión de velocidad / Caudal (PSI/GPM)														
1	1796	13,4	175	162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	157	
2	1794	11,5	175	164	142	1056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1056	1042	
3	1791	9	165	156	132	1018	130	1010	0	0	0	0	0	0	0	0	2028	2005	
4	1788	6,1	145	139	116	954	114	946	108	921	0	0	0	0	0	0	2821	2793	
5	1789	3,2	125	122	98	877	96	868	90	841	90	841	0	0	0	0	3427	3390	
6	1786	0,5	105	105	82	802	80	793	74	762	76	773	74	762	0	0	0	3892	3857
7	1788	0	90	90	68	731	64	709	62	698	62	698	60	686	62	698	0	4219	4177
8						0		0		0		0		0		0			

CURVA PRESIÓN - CAUDAL



$y = -6E-06x^2 + 0,0106x + 156,38$

Presión @ 2500 gpm = 143,8 psi
Desviación (150-124,1)/150 = 4%

ANEXO B. DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE FLUJO


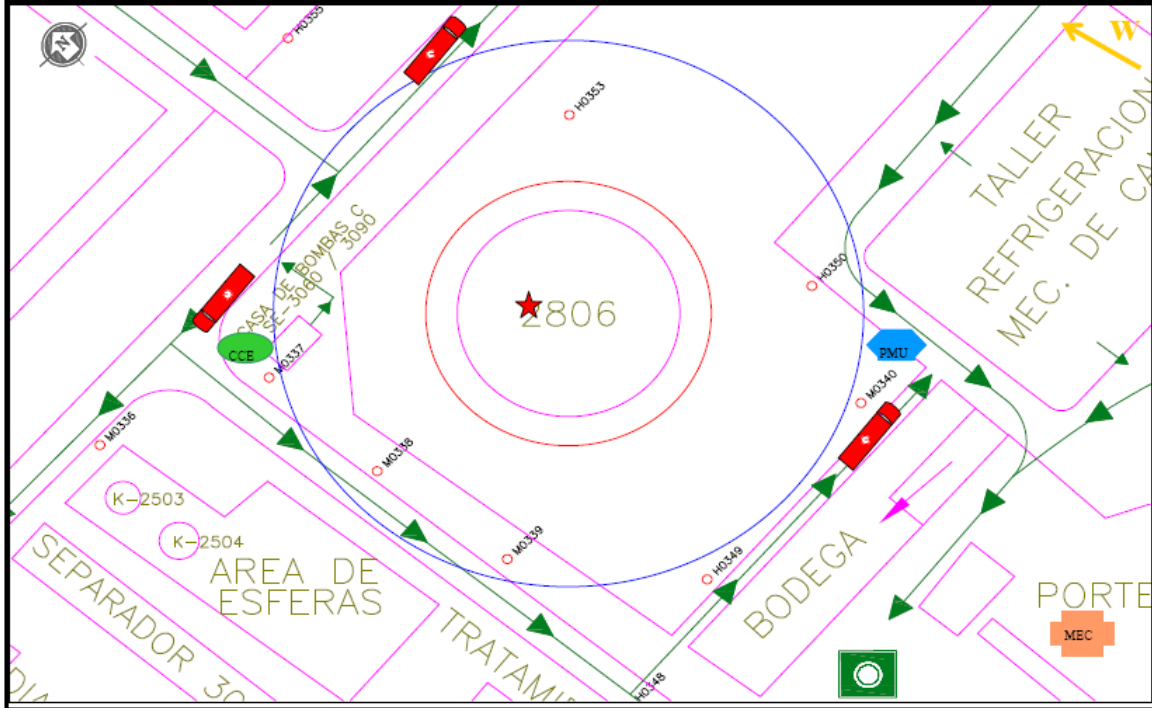










Tabla B.1 Prueba de Flujo Casa de Bombas Balance.


	R (H-0351)		F1 (H-0350)		F2 (H-0349)	
	P (psig)	Q (gpm)	P (psig)	Q (gpm)	P (psig)	Q (gpm)
0	158					
1	142		110	867,2		
2	126		100	826,9	120	905,8
3	108	124	90	784,4	102	835,1
4	112		90	784,4	105	847,3
5	100	100	80	739,6	90	784,4
	F3 (H-0348)		F4 (M-0338)		F5 (H-0353)	
	P (psig)	Q (gpm)	P (psig)	Q (gpm)	P (psig)	Q (gpm)
0						
1						
2						
3	94	110		801,7		867,2
4	97	814,4	98	797,4		
5	84	757,8	80	739,6	66	671,8
		748,8	85	762,3	66	671,8

Tabla B.2 Prueba de Flujo Casa de Bombas Galán.

	F1 (H-0353)		F2 (M-0338)	
	P (psig)	Q (gpm)	P (psig)	Q (gpm)
0	134			
1	117		78	730,3
2	96	116	65	80
3	98		66	666,6
4	82	92	58	64
5	78		54	629,7
				671,5
				607,6
F3 (H-0348)				
P (psig)	Q (gpm)			
0				
1				
2				
3	86	766,8		
4	74	80	739,6	784,4
5	68	711,3	701,6	640,5
		681,9		
F4 (H-0349)				
P (psig)	Q (gpm)			
0				
1				
2				
3				
4	80	90	739,6	784,4
5	72		701,6	
F5 (H-0350)				
P (psig)	Q (gpm)			
0				
1				
2				
3				
4				
5	60			

ANEXO C. PON DE ATENCION DE EMERGENCIA TANQUE K-2806, CASA DE BOMBAS C, UNIDAD DE BALANCE, GRB COPETROL S.A.

	GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA	ECP-DRI-F-043
	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO	1/2
Escenario Incendio del tanque TK-2806	PON DE ATENCIÓN DE EMERGENCIA 16 DE 60	
Descripción Incendio en la parte superior del tanque	Area: Refinería B/bermeja	Elaboró: Ing. Diego Puentes
	Localización: Casa bombas B	Fecha d/m/a: 23 10 07
	ID-Código archivo: PON Refinería 2007	Aprobó cargo: Ing. Mauricio Moreno-DRI
	Fuente de plano: Plot plan refinería	Modificaciones: 0
		
CONVENCIONES		
○ H ### Hidrante  Comité coordinador de la emergencia  Puesto de mando unificado  Modulo de estabilización y clasificación de heridos	○ HM ### Hidrante Monitor — (Daño de equipos) 30 m — (Alcance ataque seguro) 62 m  Vehículo contra incendio  Área de impacto	○ M ### Monitor  Dirección probable del viento  Punto de encuentro  Ruta de evacuación  Conexión camión Contra incendio  Cámara de espuma
Producto Fondos de vacío	API: 19 a 24 Punto de ignición: 150 °F Presión: 0 PSI	Temperatura: 95 °F Punto de inflamación: - °F
Equipo Tanque TK-2806	Díámetro: 200 ft Altura: 40 ft Sistema contra incendio: Vapor de sofoco	Techo: Conico soldado Capacidad: 223840 barriles

	GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA	ECP-DRI-F-043
	PROCEDIMIENTO OPERATIVO NORMALIZADO	2/2
RECURSOS NECESARIOS		
Item	Requerido	Disponible
Volumen de agua (bls)	7546	180000
Caudal de agua (gpm)	4876	4800 GPM @ 100 PSI*
Cantidad de concentrado (gls)	9802	10000
Caudal de solución (gpm)	5027	5556
Tiempo de supresión (min)	65	66
Terminator de 2000 gpm	3	3
Manguera de 2½"	20	100
Camión contra incendio	3	5
<small>* 2 bombas de CBB y 2 de UBAL</small>		
PERSONAL NECESARIO		
Item	Requerido	Disponible
Control de emergencias	9	21
Brigada de apoyo GCB	7	35
Primeros auxilios	3	6
Brigada para la recolección de hidrocarburos	3	7
Seguridad	5	10
Hazmat	N/A	N/A
PROCEDIMIENTOS		
Operacional Responsable: Supervisor * El operador verifica que la alarma de incendio es real y da aviso al supervisor de casa de bombas B al radio 216. * Comunica la emergencia al control de emergencias al teléfono 133, 134 ó al avantel 319, 918. * Activa el procedimiento de parada de emergencia si lo considera necesario. * Con el monitor M0337 ordena refrigerar las bombas y los equipos aledaños expuestos a la radiación para su enfriamiento y accionar el vapor de sofoco del tanque. * Activa el plan de evacuación si es necesario.	Contra incendio Responsable: Coordinador de emergencias * El coordinador activa el plan de contingencia. * Verifica con operaciones el tipo de emergencia e inicia en conjunto el control de la misma. * Solicita apoyo al servicio de salud para atención de lesionados. * Dirige los recursos al lugar de la emergencia. * Ordena ubicar y conectar 3 (tres) camiones contra incendio teniendo en cuenta la dirección del viento e instalar los terminator para suprimir el fuego en la superficie del tanque. * Una vez terminada la emergencia normalice el sistema.	
ESTRATEGIAS		
Control de lesionados Responsable: Medico de la refinería * Una vez activada la emergencia valora y estabiliza al los lesionados en el MEC hasta la llegada de los equipos adecuados para el traslado de estos.	Control ambiental Responsable: Coordinador de emergencias * Verifica la magnitud de la emergencia. * Activa el plan de emergencias ambientales evitando la llegada del reguero a fuentes de vertimientos cercanas al área de emergencia.	
Control de seguridad Responsable: Coordinador de seguridad física. * Ordena acordonar el área. * Impide el ingreso de personal ajeno a control de emergencia al área de riesgo. * Previene que personal extraño saquee las instalaciones. * Coordina la comunicación con las Fuerzas Armadas.	Salvamento de bienes Responsable: Coordinador de casa de bombas B. * Estima el efecto de las pérdidas de producto y equipos. * Toma las decisiones sobre la operación para trasiego de producto, cierre de válvulas, parada de bombas.	