

**DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CONDICIONES DE
SEGURIDAD DE PROCESO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DEL DEPARTAMENTO
DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS**

ANDERSON FABIÁN SUESCÚN DÍAZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CONDICIONES DE
SEGURIDAD DE PROCESO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DEL DEPARTAMENTO
DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS**

ANDERSON FABIÁN SUESCÚN DÍAZ

**Trabajo de grado modalidad práctica industrial, para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director:

CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA

Ingeniero Químico, M.Sc.

Codirector:

ERNESTO ALFONSO GÓMEZ CABARCAS

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

A la *Universidad industrial de Santander*, profesores, compañeros y amigos los cuales hicieron parte vital en mi formación como profesional y como persona.

A *ECOPETROL S.A* por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y ofrecerme innumerable cantidad de conocimientos y por cada una de las experiencias de vida. Gracias por permitir que me formara en esta gran escuela.

A todos los operadores, supervisores e ingenieros del *Departamento de Materias Primas y Productos* por acogerme en su equipo de trabajo, y suministrarme incondicionalmente su conocimiento durante mi práctica en la Refinería de Barrancabermeja.

Al Ing. *Ernesto Alfonso Gómez Cabarcas* por su dirección, conocimiento y consejo durante mi práctica profesional.

DEDICATORIA

A Dios, ya que gracias a Él debo todas mis alegrías, éxitos y dificultades que hacen de mí una mejor persona día tras día.

A mi mamá y papá, Claudia y Juan; mi hermano Camilo y nona Gladys por toda su comprensión, apoyo y amor en cada etapa de mi vida, y que hoy hacen parte fundamental en la culminación de esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS) y ECOPETROL S.A por ser piezas clave dentro de la formación de mis conocimientos como ingeniero.

A mis queridos amigos de infancia, universidad y practicantes de la Refinería por todos los alegres momentos.

ANDERSON FABIÁN SUESCÚN DÍAZ

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN OPERATIVA Y ASPECTOS TEÓRICOS	17
1.1. Descripción operativa del Departamento de Materias Primas y Productos.	17
1.2. Condición subestándar (CS).	18
1.3. Matriz de evaluación de riesgos (RAM).....	19
1.4. Temperatura o punto de inflamación.....	20
1.5. Clasificación de líquidos inflamables y combustibles.	20
2. METODOLOGÍA.....	21
2.1. Diagnóstico de las condiciones subestándares de seguridad de proceso en tanques de almacenamiento.	21
2.1.1. Revisión bibliográfica de reportes y recomendaciones de eventos internacionales e internos.	22
2.1.2. Consulta con los operadores sobre CS identificadas.	22
2.1.3. Inspección en campo con lista de chequeo.....	22
2.1.4. Elaboración de reportes de inspección.	22
2.1.5. Valoración en riesgo de las condiciones subestándares.....	23
2.1.6. Eliminación de CS críticas dentro de plan de mantenimiento.	23
2.2. Ingeniería conceptual del proyecto: “Actualización de sistemas contraincendio en almacenamientos de productos inflamables”.	23
2.2.1. Recopilación de información de las actuales facilidades contraincendio. .	24
2.2.2. Revisión bibliográfica de normatividad en protección contraincendios y elaboración del alcance del proyecto.	25
2.2.3. Evaluación de distanciamientos mínimos entre cascos de tanque.	25
2.2.4. Requerimientos de equipos, definición de cantidades y especificaciones para actualización de sistema de extinción.	26

2.2.4.1. Identificación de productos inflamables almacenados.	26
2.2.4.2. Caudal de aspersion de solución de espuma requerida (R_a).	27
2.2.4.3. Áreas de superficie a proteger (A_s).	27
2.2.4.4. Caudal de solución de espuma requerido para la protección del tanque (C_{esp})	27
2.2.4.5. Cantidad y tamaño de cámaras de espuma.....	28
2.2.4.6. Tiempo de descarga mínimo requerido para la operación del tanque (T_{DM})	29
2.2.4.8. Selección del sistema autoproporcionador de espuma.	29
2.2.5. Propuesta de implementación de sistema de detección y protección por sobrellenado.....	30
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	32
3.1. Diagnóstico de las condiciones subestándares de seguridad de proceso en tanques de almacenamiento.	32
3.2. Resultados de la ingeniería conceptual de actualización de sistemas contraincendios.	33
3.2.1. Revisión de la evaluación de distanciamientos mínimos entre cascos de tanque	33
3.2.2. Propuesta de implementación de sistemas autoproporcionadores de espuma.	33
3.2.3. Propuesta de implementación de sistemas de detección y protección por sobrellenado.....	34
3.2.4. Resultados sobre la propuesta de implementación de sistemas de enfriamiento.	35
4. CONCLUSIONES.....	37
5. RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología de diagnóstico de condiciones subestándares.....	21
Figura 2. Metodología usada para la realización de la ingeniería conceptual en sistemas contraincendio.....	24
Figura 3. Distanciamiento mínimo entre tanques de almacenamiento.....	25
Figura 4. Metodología usada para la propuesta de implementación de sistemas de enfriamiento.	30
Figura 5. Resumen de valoración en riesgo de las CS encontradas.	32
Figura 6. Entorno grafico de resultados en PHAST 6.54.	35
Figura 7. Contornos de radiación (verde) a 12,5 KW/m ² realizados con AutoCAD.	36

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ecuaciones de distanciamiento mínimo entre tanques	26
Tabla 2. Áreas de superficie a proteger de acuerdo al tipo de tanque	27
Tabla 3. Número mínimo de cámaras necesarias en tanques de techos fijos y flotantes.	28
Tabla 4. Sistemas de autoproporcionamiento de espuma planteados.....	34
Tabla 5. Tanques propuestos para implementación de anillos de enfriamiento	36

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Reportes de inspección en campo con lista de chequeo para el tanque K954.....	40
Anexo 2. Formato ECP-DRI-F-045 Matriz de Valoración de Riesgos – RAM.....	41
Anexo 3. Propuesta de mejoramiento y valoración en riesgo de las condiciones subestándares encontradas para el tanque K954.....	42
Anexo 4. Resultados de evaluación de distanciamiento mínimo para tanques fuera de estándar.....	43
Anexo 5. Hoja de cálculo para actualización de sistemas de extinción (Hoja #4 de 23).....	44
Anexo 6. Grafica de radiación vs distancia al <i>Pool Fire</i> en tanque K947.....	45
Anexo 7. Grafica radiación sobre un plano de <i>Pool Fire</i> en tanque K947.....	46
Anexo 8. Informe de resultados de simulación de <i>Pool Fire</i> en tanque K940.....	47
Anexo 9. Informe de resultados de modelación de consecuencias en PHAST 6.54 para el tanque K940.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo

API:	American Petroleum Institute.
ATEX:	Léase como <i>Atmosphères Explosibles</i> (Atmósferas explosivas).
CB:	Casa de Bombas.
CS:	Condición subestándar de seguridad de procesos.
GRB:	Gerencia Refinería Barrancabermeja.
H:	Léase como <i>High</i> (Alta).
L:	Léase como <i>Low</i> (Baja).
M:	Léase como <i>Medium</i> (Media).
NFPA:	National Fire Protection Association.
PPD:	Departamento de Materias Primas y Productos.
RAM:	Risk Assessment Matrix.
SCI:	Sistemas Contraincendios.

RESUMEN

TITULO: DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CONDICIONES DE SEGURIDAD DE PROCESO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DEL DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS*.

AUTOR: ANDERSON FABIÁN SUESCÚN DÍAZ**

PALABRAS CLAVES: Seguridad de Procesos, condición subestándar, sistemas contra incendio, radiación térmica.

DESCRIPCIÓN

El Departamento de Materias Primas y Productos de la Gerencia Refinería Barrancabermeja (GRB) cumple la función de administrar, enviar y almacenar las materias primas (crudos), productos intermedios y productos refinados. En años recientes, durante la operación de hidrocarburos en tanques, se han venido presentando accidentes vinculado incendios y derrames de hidrocarburo por sobrellenados.

Con este trabajo, producto de la práctica industrial realizada en la Refinería de Barrancabermeja, se realizó un diagnóstico e implementación de soluciones para eliminar las condiciones subestándares de seguridad de procesos en el área de tanques de almacenamiento que implican un riesgo en el aseguramiento de las operaciones de transferencia y se plantea una propuesta para la actualización de los sistemas contraincendios de tanques que almacenan productos inflamables, con el objetivo de contar con sistemas adecuados para responder ante emergencias.

Para realizar el diagnóstico del estado actual de los tanques, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre reportes de investigación y normatividad de seguridad en centrales de almacenamiento. Consecutivamente, se realizó una inspección en campo para identificar estas condiciones subestándares, para luego catalogarlas según su valoración en riesgo e incluirlas para su correcta eliminación dentro de los planes de mantenimiento. Posterior a esto, se realizó la ingeniería conceptual para la actualización de los sistemas contraincendios, estableciendo una brecha entre los requerimientos exigidos por normas internacionales de protección y el estado actual. Durante esta ingeniería, se realizaron simulaciones para la modelación de consecuencias en incendios totales de superficie en tanques utilizando el software *PHAST 6.54*, para determinar las distancias de afectación en diferentes niveles de radiación térmica generados por la conflagración, establecer perímetros para realizar acciones de contingencia frente a incendios y justificar sistemas de enfriamiento para protección de tanques adyacentes.

* *Proyecto de grado.*

** *Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: Ing. Ernesto Alfonso Gómez Cabarcas.*

ABSTRACT

TITLE: DIAGNOSIS TO IMPROVE PROCESS SAFETY CONDITIONS IN STATIC EQUIPMENT IN DEPARTMENT OF RAW MATERIALS AND PRODUCTS^{*}

AUTHOR: ANDERSON FABIÁN SUESCÚN DÍAZ^{**}

KEY WORDS: Process Safety, Substandard conditions, firefighting systems, thermal radiation.

DESCRIPTION

Department of Raw Materials and Products Barrancabermeja Refinery Management (GRB) has the function of managing, sending and storing raw materials (crude oil), intermediate products and refined products. In recent years, during operation of hydrocarbons in tanks, have been presented fire accidents and hydrocarbon spills by overflow.

This work, product of trainee job in Barrancabermeja Refinery, a diagnosis was made and implementing solutions to eliminate substandard conditions of process safety in area of storage tanks, that involve a risk in assurance of transfer operations and elaborate a proposal for updating firefighting systems in tanks that store flammable products, order to have adequate systems to respond to emergencies.

To diagnose the current state of the tanks, a literature search was made about research reports and safety regulations in storage terminals. Consecutively, we conducted a field inspection to identify these substandard conditions and then, classify them according to their risk assessment and included these for proper elimination within the maintenance plans. Following this, we performed conceptual engineering to upgrade fire systems, establishing a gap between the requirements demanded by international standards of protection and current status. During this engineering, simulations were performed for modeling fire effects on total tank surface using the PHAST 6.54 software to determine the distances of impact at different levels of thermal radiation generated by the conflagration, establish perimeters for contingency actions against fires and justify install cooling systems for protect adjacent tanks.

^{*} *Graduate paper.*

^{**} *Faculty of Physicochemical Engineering's. Chemical Engineering Department. Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Co-director: Eng. Ernesto Alfonso Gómez Cabarcas.*

INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha incrementado el énfasis en el aseguramiento de los procesos en la industria petrolera, debido a la reciente preocupación mundial relacionada con accidentes ocurridos de gran impacto en refinerías y estaciones de almacenamiento de hidrocarburos, causando toda clase de eventos indeseados, como grandes incendios, derrames y liberación de gases tóxicos.

La conciencia pública frente a los accidentes y sus consecuencias, ha proveído de una fuerza impulsora motivando a la industria, buscar la mejora de sus historiales de seguridad e intervenir los riesgos para proteger de esta forma sus activos, las personas, su imagen como empresa y el medio ambiente que lo rodea. Por esta razón, el Departamento de Materias Primas y Productos se ha comprometido con la prevención de accidentes y la protección de sus activos proponiendo iniciativas para el aseguramiento continuo y la mitigación de los riesgos intrínsecos en sus operaciones. Dentro de estas iniciativas, se inició un proyecto para plantear y elaborar mejoras en las condiciones de Seguridad de Proceso enfocadas en tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

Para el desarrollo de este proyecto, se inició con la revisión de recomendaciones de reportes sobre eventos internacionales e internos, normatividad estandarizada y bibliografía en seguridad, relacionada con fallas y accidentes en centrales de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, las cuales fueron usadas como comparativo para diagnosticar el estado actual de los almacenamientos, identificar las condiciones subestándares que ponen en riesgo la continuidad de la operación, determinar su valoración en riesgo y plantear un panorama general con el fin de ejecutar las debidas acciones correctivas para su eliminación. Posterior a esto, se muestran los resultados obtenidos de la elaboración de una ingeniería

conceptual para la actualización de los sistemas contra incendio, justificados en incumplimientos de normatividad internacional e internas, y simulaciones en modelación de consecuencias de posibles escenarios de incendio, usando software especializado.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta práctica están siendo utilizados como pieza clave en la planeación de mantenimientos de tanques y en el desarrollo de las Fases I y II del proyecto de actualización de sistemas de detección y extinción en tanques de productos blancos inflamables.

1. DESCRIPCIÓN OPERATIVA Y ASPECTOS TEÓRICOS

En este capítulo se presenta en resumen los sistemas a cargo del área operativa del proyecto, junto con los aspectos teóricos para el desarrollo del trabajo.

1.1. Descripción operativa del Departamento de Materias Primas y Productos.

El Departamento de Materias Primas y Productos (PPD) cumple la función de administrar, enviar y almacenar las materias primas (crudos), productos intermedios del proceso de refinación y terminados para su despacho y venta.

Para tal fin el PPD cuenta con diferentes áreas de almacenamientos y bombeo, llamadas Casas de Bombas (CB), las cuales se encuentran distribuidas geográficamente por toda la extensión de la refinería, teniendo cada una sus equipos propios para el cumplimiento de sus funciones de recibo y entrega.

En total, el departamento cuenta con 126 tanques distribuidos de la siguiente forma [1]:

- Casa de Bombas 8 (CB8): Recibe los crudos de oleoductos y realiza su mezclado de acuerdo a las necesidades de las unidades de refinación a las que serán cargadas.
- Casa de Bombas 4 (CB4): Realiza el almacenamiento intermedio de nafta virgen, nafta craqueada y rafinato; los cuales serán enviados a CB9 y especialidades respectivamente.
- Casa de Bombas 2 (CB2): Área que enlaza la CB8 y las unidades de refinación permitiendo el manejo de los crudos de carga.

- Casa de Bombas A (CBA): Recibe los productos intermedios de las unidades de Balance, Demex y Unibón para cargar a las unidades de craqueo catalítico.
- Casa de Bombas B (CBB): Recibe fondos de vacío, fondos Demex, gasóleo y aceite liviano de ciclo (ALC).
- Casa de Bombas C (CBC): Recibe butano e isobutano, aceite liviano de ciclo (ALC), ACPM, gasóleo y combustóleo.
- Casa de Bombas 5 (CB5): Almacena las gasolinas motor regular (GMR) y motor extra (GME), diesel, Jet A1, alquilato y gasolina de aviación.
- Casa de Bombas 6 (CB6): Almacena los productos aromáticos para cargar por carrotanques y benceno a planta de aromáticos.
- Casa de Bombas 7 (CB7): Almacena combustóleo pesado y liviano para cargar por botes.
- Casa de Bombas 9 (CB9): Almacena los 3 tipos de naftas (virgen, craqueada y aromática) para realizar el mezclado para obtener gasolinas.
- Casa de Bombas 1 (CB1): Hace entrega a carrotanques de los productos que se encuentran en su almacén tales como disolventes, GMR, diesel corriente y marino, Jet A1, bases lubricantes, asfalto, combustóleo y ácido sulfúrico.

1.2. Condición subestándar (CS).

Para identificar fallas de diseño, operación o mantenimiento, se establecen estándares y listas de chequeo cuyo objetivo es guiar adecuadamente una inspección y dar un veredicto del cumplimiento de sus ítems. De esta forma al ser identificadas estas condiciones, se instauran acciones correctivas para su eliminación. En términos simples, aquellas condiciones que no cumplan con el estándar con el que han sido evaluadas, son consideradas *condiciones subestándares* y estas representan desde la óptica de seguridad de procesos, un

riesgo latente para la operación de la unidad de proceso. Cada CS, definida en un escenario de riesgo tiene asociada diferentes consecuencias potenciales al ser considerada como causa raíz de un evento, y una evaluación semicuantitativa que determina la consecuencia y probabilidad de estar involucrada en un accidente, llamada valoración en riesgo.

Se destacan 3 tipos de condiciones subestándares que impactan el aseguramiento de los procesos:

- CS de diseño: Aquellas producidas durante la etapa de construcción del equipo. Por ejemplo, cuellos de ganso mal dimensionados, diámetros de tubería de succión con geometría diferente a la establecida por normatividad.
- CS de operación: Están relacionadas con fallas de control y mecánicas de los equipos. Por ejemplo, intermitencias de control de nivel, fugas por los prensaempaques de válvulas de operación.
- CS de mantenimiento: Son producidas por deterioro, falta de reparación, o fatiga en materiales. Son comunes los desgastes de pintura y recubrimientos, corrosión de láminas de techo y escaleras de acceso.

1.3. Matriz de evaluación de riesgos (RAM).

Es la herramienta usada para la evaluación semicuantitativa del riesgo asociado a las condiciones subestándares encontradas, clasificándola según las amenazas a la salud de las personas, seguridad, medio ambiente e imagen de la empresa. Los ejes de la matriz según la definición de riesgo corresponden a las consecuencias y a la probabilidad.

Para determinar el nivel de las consecuencias se utiliza una escala de "0" a "5"; para evaluar la probabilidad se utiliza una escala de "A" a "E". Esta valoración está

basada en la experiencia o evidencia histórica de las consecuencias identificadas a causa de la condición subestándar que se ha materializado dentro de la industria, la empresa o el área; y representa la probabilidad de que se desencadenen las consecuencias potenciales o reales estimadas, según la condición. El cruce de las dos escalas determina la evaluación y clasificación cualitativa del riesgo [2].

1.4. Temperatura o punto de inflamación.

Temperatura mínima que alcanza un líquido para liberar suficiente cantidad de vapor, para formar una mezcla ignifuga con el aire cerca de la superficie del líquido o dentro del almacenamiento utilizado [3].

1.5. Clasificación de líquidos inflamables y combustibles.

Los líquidos inflamables y combustibles están clasificados según sus puntos de inflamación y su temperatura de ebullición, en acorde a lo siguiente [3]:

- Líquidos inflamables: Cualquier líquido cuyo punto de inflamación esté por debajo de los 37,8 °C.
- Líquidos combustibles: Cualquier líquido cuyo punto de inflamación sea, o esté por encima de los 37,8 °C.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diagnóstico de las condiciones subestándares de seguridad de proceso en tanques de almacenamiento.

La metodología para la elaboración del diagnóstico de las condiciones subestándares de seguridad de procesos en los tanques de estudio, se muestra en el esquema mostrado en la Figura 1.

Figura 1. Metodología de diagnóstico de condiciones subestándares.



Fuente: Autor del proyecto.

A continuación se describe de manera detallada cada una de las etapas que conforman el desarrollo de la etapa de diagnóstico.

2.1.1. Revisión bibliográfica de reportes y recomendaciones de eventos internacionales e internos.

Inicialmente, se realizó una revisión de reportes e investigaciones en eventos de incendio, sobrellenos y liberación de atmosferas explosivas ocurridos en centrales de almacenamiento de hidrocarburos internacionales e internos; con el fin de reconocer las CS que pueden estar involucradas como causa de un accidente, durante la etapa de consulta e inspección en campo.

2.1.2. Consulta con los operadores sobre CS identificadas.

Durante el día a día, el operador del área está constantemente controlando las operaciones de transferencia y vigilando en campo las labores de mantenimiento y posibles fallas o eventos que pongan en riesgo la operación de su área. Por esta razón, se empieza la etapa de diagnóstico entrevistando con la lista de chequeo a los operadores de las casas de bombas, acerca de las condiciones subestándares ya identificadas que podrían ser causa iniciante de un accidente.

2.1.3. Inspección en campo con lista de chequeo.

Luego de la consulta con el personal de la operación, se procedió a realizar las inspecciones en los 126 tanques que conforman las áreas de almacenamiento. Se apoyó la inspección, con el uso de listas de chequeo estandarizadas en normatividad en inspección de tanques en operación [4].

2.1.4. Elaboración de reportes de inspección.

Posteriormente a la inspección en campo, se realizaron los reportes de inspección que describen las CS subestándares detalladamente, soportadas con registros

fotográficos para su fácil identificación en etapas posteriores de corrección o eliminación.

2.1.5. Valoración en riesgo de las condiciones subestándares.

Identificadas las CS se procede a realizar la valoración semicuantitativa en riesgo usando la matriz RAM, la cual determina el riesgo de la condición encontrada según la magnitud de las consecuencias que pueda incurrir, y la frecuencia con la que ha estado involucrada en un accidente.

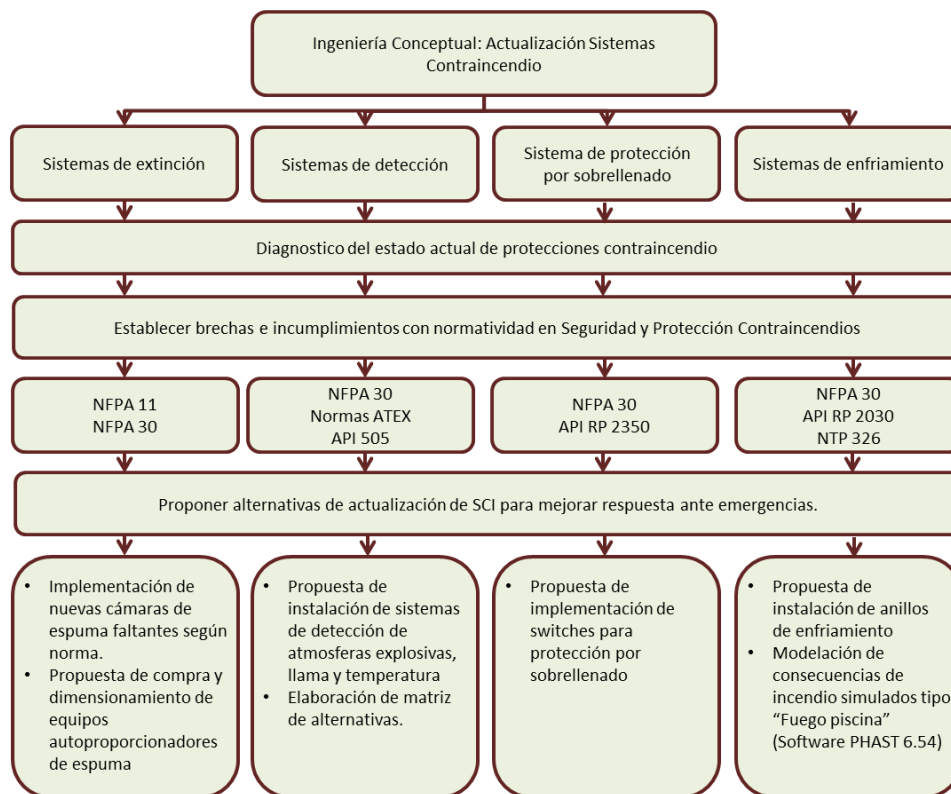
2.1.6. Eliminación de CS críticas dentro de plan de mantenimiento.

Finalmente con la identificación y valoración de condiciones subestándares, se estableció dentro de las acciones de mantenimiento de tanques, su eliminación o corrección. Así mismo, para CS que incurrían en una alta probabilidad de riesgo y que bajo las condiciones fuera posible su corrección con el tanque en servicio, se procedieron a realizar órdenes de trabajo (OT) para su anulación inmediata.

2.2. Ingeniería conceptual del proyecto: “Actualización de sistemas contraincendio en almacenamientos de productos inflamables”.

La metodología para la elaboración de la ingeniería conceptual en sistemas contraincendios (SCI), se describe en el esquema mostrado en la Figura 2.

Figura 2. Metodología usada para la realización de la ingeniería conceptual en sistemas contraincendio.



Fuente: Autor del proyecto.

A continuación se describe de manera detallada cada una de las etapas que conforman el desarrollo de la ingeniería conceptual.

2.2.1. Recopilación de información de las actuales facilidades contraincendio.

A manera de tener un panorama general del estado actual, se realizó una recolección en base de datos y en campo de información técnica relacionada con equipos y facilidades contraincendios instaladas y el número actual en servicio.

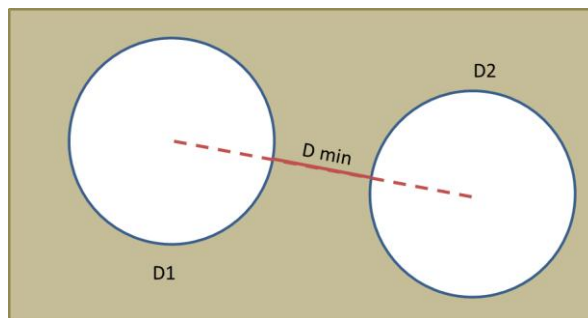
2.2.2. Revisión bibliográfica de normatividad en protección contraincendios y elaboración del alcance del proyecto.

Posterior al reconocimiento del estado actual, se realizó la revisión de las reglamentaciones y normatividad internacional de protección en tanques de almacenamiento vinculadas a los sistemas de extinción, detección, protecciones por sobrellenos y sistemas de enfriamiento. Una vez, establecidos los requerimientos para proteger el tanque, y comparando con el estado y facilidades actuales; se construyó un alcance de actualización para cumplir con los estándares internacionales en protección para los tanques objetivo del proyecto (productos inflamables) y por ende, garantizar una adecuada respuesta ante emergencias.

2.2.3. Evaluación de distanciamientos mínimos entre cascos de tanque.

La norma NFPA 30, establece los parámetros para definir el espaciamiento mínimo requerido entre tanques que almacenan líquidos inflamables. Este requerimiento se establece por seguridad y debe cumplirse para evitar la fácil conflagración de un tanque adyacente a un tanque incendiado. El distanciamiento mínimo, por geometría debe ser calculado como la distancia entre pared y pared por la cual pasa una línea que conecta los centros entre el tanque de estudio (D1) y el tanque adyacente (D2).

Figura 3. Distanciamiento mínimo entre tanques de almacenamiento.



Fuente: Autor del proyecto.

Para la revisión de distanciamientos mínimos entre tanques se utilizó el último plano superior actualizado de las casas de bombas en formato digital. Usando el software AutoCAD versión 2011, se determinaron los distanciamientos mínimos entre tanques, y se compararon con las ecuaciones establecidas por NFPA 30, mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones de distanciamiento mínimo entre tanques.

Distanciamiento mínimo entre tanques de almacenamiento		
Diámetro [m]	Tipo de techo	
	Flotante externo o interno	Cónico fijo
$D_1 < 46$	$\frac{1}{6}(D_1 + D_2)$	$\frac{1}{6}(D_1 + D_2)$
$D_1 > 46$	$\frac{1}{6}(D_1 + D_2)$	$\frac{1}{4}(D_1 + D_2)$

Fuente: Norma NFPA 30.

2.2.4. Requerimientos de equipos, definición de cantidades y especificaciones para actualización de sistema de extinción.

Los requerimientos técnicos para cámaras de espuma deben estar fundamentados en caso de incendio de la superficie afectada en el tanque. Básicamente los aspectos generales requeridos para la actualización de un sistema de extinción a base de espuma dependen del producto almacenado, geometría del tanque y tipo de tanque. A continuación se explican los pasos seguidos para calcular estos requerimientos [5].

2.2.4.1. Identificación de productos inflamables almacenados.

Para determinar el alcance del proyecto, se hizo necesario determinar si el producto almacenado es inflamable o combustible. Para esto, se hizo una revisión de los puntos de inflamación de los productos almacenados. Como resultado, se encontraron 66 tanques incluidos dentro del alcance del proyecto.

2.2.4.2. Caudal de aspersión de solución de espuma requerida (R_a).

Para tanques de productos inflamables, el caudal de aplicación de espuma es de 4.1 L/min·m² (techos cónicos fijos, flotantes internos) y 12.2 L/min·m² (techos flotantes externos) [5].

2.2.4.3. Áreas de superficie a proteger (A_s).

Para tanques de techo fijo y flotante interno, el diseño del sistema está basado en incendio total de toda la superficie, por lo tanto el área dependerá exclusivamente del diámetro del tanque. En flotantes externos, el área objetivo será la abarcada por el sello móvil del tanque. En la Tabla 2, se muestran las ecuaciones relacionadas al área a proteger [5].

Tabla 2. Áreas de superficie a proteger de acuerdo al tipo de tanque.

Tipo de tanque	Área a proteger	Unidades
Tanques de techo fijo y flotante interno:	$A_s = \frac{\pi D^2}{4}$	A_s [m ²] D [m]
Tanques de techo flotante externo:	$A_s = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi(D - 0,61)^2}{4}$	A_s [m ²] D [m]

Fuente: Norma NFPA 11.

2.2.4.4. Caudal de solución de espuma requerido para la protección del tanque (C_{esp}).

Calculada el área a proteger (A_s) y determinado el caudal de aplicación (R_a), se calcula la cantidad de solución de espuma requerida (C_{esp}):

$$C_{esp} = R_a * A_s [L/min] \quad (1)$$

2.2.4.5. Cantidad y tamaño de cámaras de espuma.

El número de cámaras de espuma requerido es determinado por el diámetro del tanque y el tipo de tanque. El número de cámaras requeridas (N_C) para varios diámetros de tanques de techo fijo cónico, flotante interno y externo están determinadas según normatividad NFPA 11. En la Tabla 3 se muestran las especificaciones de número mínimo de cámaras para tanques de techo fijos y flotantes.

Tabla 3. Número mínimo de cámaras necesarias en tanques de techos fijos y flotantes.

Techo cónico fijo y flotante interno		Techo flotante externo	
Diámetro del tanque [m]	Número mínimo de cámaras (N_C)	Diámetro del tanque [m]	Número mínimo de cámaras (N_C)
Hasta 24	1	Hasta 8	1
De 24 a 36	2	De 8 a 16	2
De 36 a 42	3	De 16 a 23	3
De 42 a 48	4	De 23 a 31	4
De 48 a 54	5	De 31 a 39	5
De 54 a 60	6	De 39 a 47	6
		De 47 a 54	7
		De 54 a 62	8

Fuente: Norma NFPA 11.

El tamaño de la cámara de espuma (T_C) está directamente vinculado con el caudal de aplicación total y el número de cámaras, de tal forma que el tamaño de la cámara estará determinado por el caudal de aplicación individual:

$$T_C = \frac{R_a}{N_C} \quad [L/min] \quad (2)$$

Se deben seleccionar la cámara de espuma adecuada que proveer el flujo requerido. Para esto se requiere revisar las hojas de datos suministradas por fabricantes.

2.2.4.6. Tiempo de descarga mínimo requerido para la operación del tanque (T_{DM}).

De acuerdo a la norma NFPA 11, los tiempos de descarga mínimo requeridos son de 65 y 20 minutos; para tanques de techo cónico fijo, flotantes internos; y techos flotantes externos respectivamente.

2.2.4.7. Cantidad de concentrado de espuma requerida (C_{TK}) para extinción de fuego en tanques.

Por cada tanque individualmente, se debe contar con la cantidad mínima calculada de concentrado de espuma, donde $\%exp$ es el porcentaje de expansión de la espuma seleccionada.

$$C_{TK} = C_{esp} * \%exp * T_{DM} [L] \quad (3)$$

La cantidad almacenada, debe ser la requerida por el tanque de mayor requerimiento de concentrado en el área.

2.2.4.8. Selección del sistema autoproporcionador de espuma.

Como parte de la actualización del sistema de extinción, se propone instalar sistemas de autoproporcionamiento de espuma para disminuir los tiempos de respuesta ante la emergencia de incendio en superficie de tanque. Para el dimensionamiento del equipo necesario, se debe revisar por tanque los requerimientos de caudal de solución de espuma (C_{esp}) y cantidad de concentrado (C_{TK}), que componen cada área de casa de bombas. Seguido a esto, se escogen los mayores requerimientos de caudal de trabajo y cantidad de concentrado, para el seleccionar un equipo adecuado al rango de trabajo del sistema de bombeo y el tanque de almacenamiento de concentrado, respectivamente.

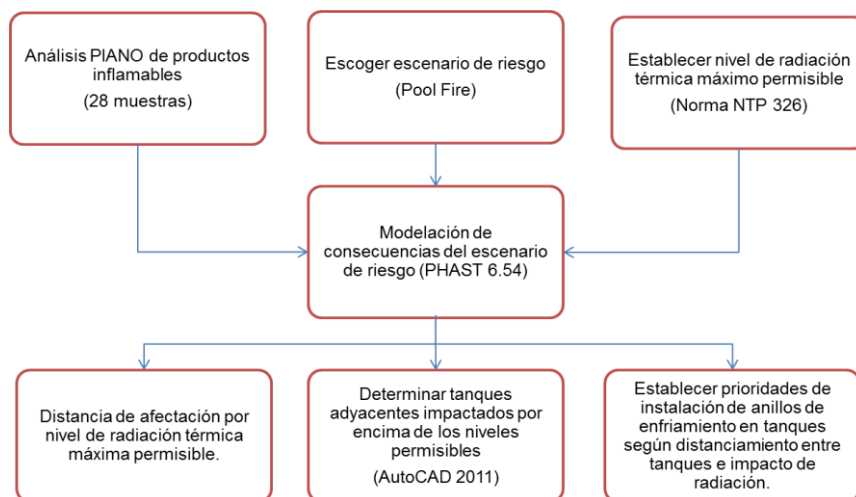
2.2.5. Propuesta de implementación del sistema de detección y protección por sobrellenado.

La selección de tecnologías de detección y protección por sobrellenado, están intrínsecamente relacionadas con el cumplimiento de normatividad de sistemas integrados de seguridad (SIS). Para realizar esta selección, se revisó el cumplimiento de los parámetros especificados en normas API 505 [6], ATEX 94/9/EC [7] y API RP 2350 [8] para los equipos instrumentados en detección y protección por sobrellenado.

2.2.6. Propuesta de implementación de sistema de enfriamiento.

Para determinar la necesidad de implementar sistemas de enfriamiento (anillos aspersores de agua), se requirió determinar los niveles de impacto de radiación térmica que inciden sobre un tanque adyacente a un tanque incendiado y de esta forma, establecer cuales tanques son impactados por niveles mayores a los máximos tolerables [9]. La metodología para la elaboración de la propuesta, se describe en el esquema mostrado en la Figura 4.

Figura 4. Metodología usada para la propuesta de implementación de sistemas de enfriamiento.



Fuente: Autor del proyecto.

Para determinar que tanques requieren sistemas de enfriamiento, se realizaron simulaciones de incendio tipo piscina, o *Pool Fires*, usando el software *PHAST 6.54*. Para elaborar estas simulaciones, es necesario realizar un análisis composicional (PIANO) de los productos almacenados, identificando las principales familias de hidrocarburos inflamables que están relacionados con el alcance e intensidad de radiación térmica emitida, como lo son las parafinas, isoparafinas, aromáticos, naftenos y olefinas. Este análisis composicional, es ingresado al entorno de entrada de datos, caracterizando el producto almacenado. Así mismo, se ingresan datos de condiciones climáticas y ambientales necesarias para la simulación.

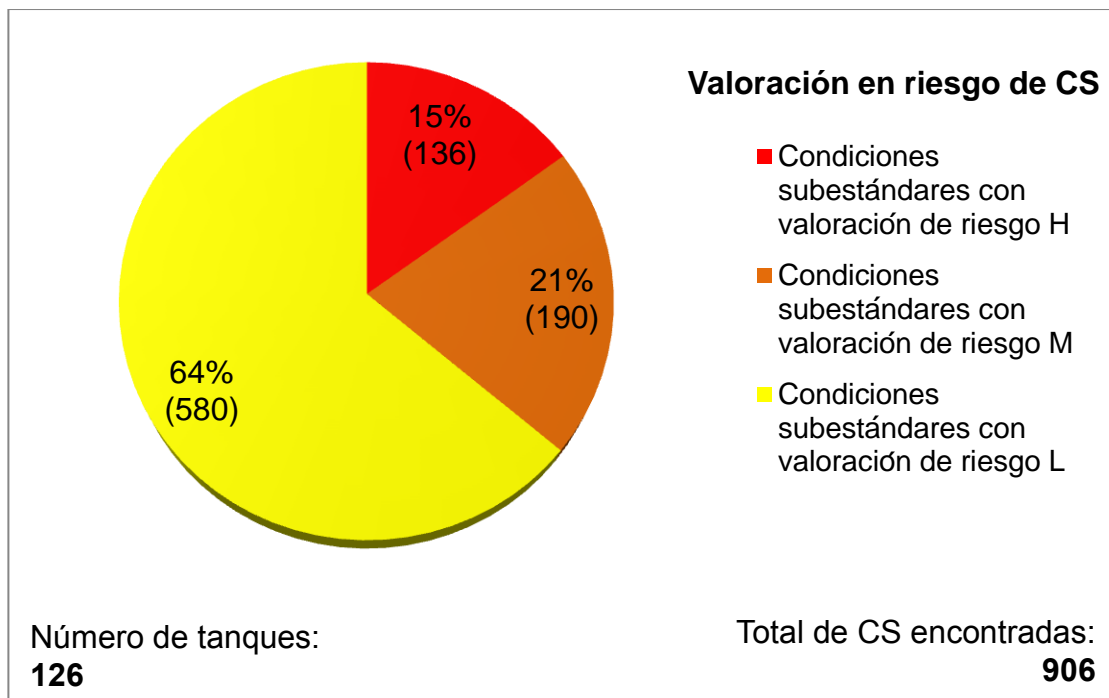
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se muestran los resultados del diagnóstico e ingeniería conceptual.

3.1. Diagnóstico de las condiciones subestándares de seguridad de proceso en tanques de almacenamiento.

Realizada la etapa de inspección y diagnóstico, se encontraron y catalogaron según valoración en riesgo, 906 condiciones subestándares en los 126 tanques de almacenamiento que conforman el Departamento de Materias Primas y Productos. En la Figura 5, se muestra el resumen total de la valoración realizada.

Figura 5. Resumen de valoración en riesgo de las CS encontradas.



Fuente: Autor del proyecto.

Como objetivo de este diagnóstico, se elaboró un factor cuantitativo del riesgo latente que reside en cada uno de los tanques y siguiente a esto, un ranking que

muestra según el factor obtenido y su posición crítica dentro de una escala de valoración. Con este ranking, se establecerán prioridades y correcciones durante los planes de mantenimiento de tanques.

3.2. Resultados de la ingeniería conceptual de actualización de sistemas contraincendios.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la elaboración de la ingeniería conceptual del proyecto: “Actualización de sistemas contraincendio en almacenamientos de productos inflamables”.

3.2.1. Revisión de la evaluación de distanciamientos mínimos entre cascos de tanque.

Realizados los cálculos que determinan la distancia mínima que debe existir por normatividad NFPA 30, se compararon estos valores con los obtenidos del distanciamiento entre tanques en las áreas de casas de bombas.

De esta revisión, se identificó que todos los tanques cumplen con el distanciamiento mínimo requerido, exceptuando las parejas de tanques K0944 – K0945 y K0904 – K0907, ubicados en la Casa de Bombas 5.

Para estos tanques, se hace necesario su reubicación o implementar un sistema robusto de enfriamiento, para evitar que estos se incendien por su tanque adyacente.

3.2.2. Propuesta de implementación de sistemas autoproporcionadores de espuma.

Se plantea de acuerdo a los requerimientos mínimos, implementar sistemas autoproporcionadores tipo vejiga y presión balanceada (sistemas fijos) los cuales, disminuirán los tiempos de respuesta a emergencia comparados con el sistema actual de acoplamiento de carro de bomberos a las líneas de espuma (sistema semifijo).

Utilizando las hojas de datos de proveedores, la propuesta compone la instalación de 5 sistemas autoproporcionadores de espuma, escogidos y dimensionados según los caudales de trabajo, cantidades de concentrado y distancias a recorrer de la solución de espuma a través de las tuberías. En la Tabla 4, se muestran las especificaciones de los sistemas autoproporcionadores planteados.

Tabla 4. Sistemas de autoproporciónamiento de espuma planteados.

Casa de Bombas	Tipo de sistema autoproporcionador	Caudal de trabajo [L/min]	Volumen de tanque de concentrado [L]	Posición del tanque
CB1	Vejiga	265 - 2082	1136	Horizontal
CB2	Presión balanceada	757 - 5678	9464	Horizontal
CB4	Presión balanceada	265 - 2082	5678	Horizontal
CB5	Presión balanceada	265 - 2082	2839	Horizontal
CB5	Presión balanceada	250 - 2498	19684	Horizontal

Fuente: Autor del proyecto.

3.2.3. Propuesta de implementación de sistemas de detección y protección por sobrellenado.

De la revisión de normatividad, se propone la instalación de sistemas de detección y protección por sobrellenado de la siguiente forma:

❖ Sistema de detección.

Tanques de techo cónico fijo: Instalación de detectores de temperatura de tasa compensada y sensores infrarrojos a nivel de piso para detección de atmosferas explosiva cerca de áreas de válvulas (recibo y succión). Prioridad los tanques de nafta y gasolina debido a su alta inflamabilidad.

Tanques de techo flotante externo: Instalación de detectores lineales de temperatura, alrededor del perímetro interno. Prioridad los tanques de nafta y gasolina debido a su alta inflamabilidad.

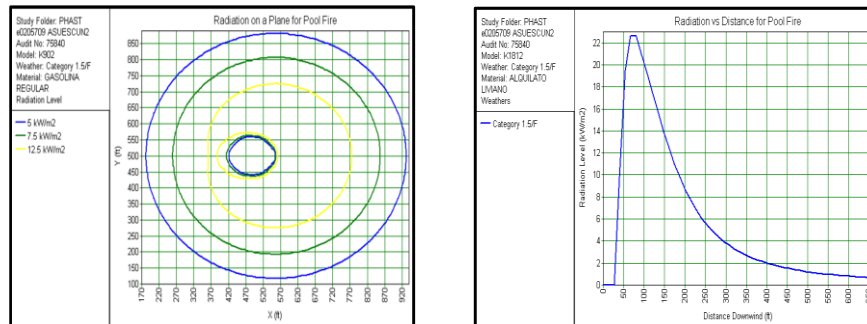
- ❖ Sistema de protección por sobrellenado.

Instalación de interruptores de nivel tipo *Echotel Model 961/962* en tanques de nafta y gasolina. En caso de no contar con cámara de nivel alto-alto, se debe discutir la instalación de la cámara según el veredicto de una inspección basada en riesgos (RBI).

3.2.4. Resultados sobre la propuesta de implementación de sistemas de enfriamiento.

Realizadas las simulaciones, el entorno de resultados de *PHAST 6.54*, muestra los contornos de radiación térmica en tres niveles especificados (5 – 7,5 – 12,5 KW/m²), además cuenta con la facilidad de exportar sus resultados de forma gráfica como niveles de radiación vs distancia del *pool fire*; y reportes en texto que muestran a nivel detallado las distancias abarcadas por los contornos de radiación desde el centro del incendio tipo piscina. En la Figura 6, se muestran los resultados gráficos obtenidos con la herramienta.

Figura 6. Entorno grafico de resultados en PHAST 6.54.

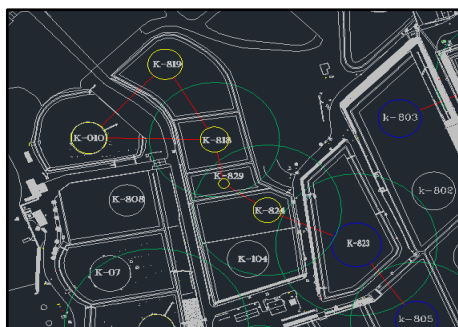


Fuente: Autor del proyecto.

Seguido a esto, se realizó la selección de tanques prioritarios para la implementación de anillos de enfriamiento para los cuales el nivel de impacto sobre estos es igual o supera los 12,5 KW/m², valor escogido como factor de seguridad comparado con la máxima radiación tolerable de 40 KW/m² para aceros en general [9]. Haciendo uso de los resultados obtenidos con *PHAST 6.54*, se tomaron los datos de distancia de afectación a 12,5 KW/m², y utilizando el plano

de vista superior del área de tanques, se construyeron los entornos de este nivel de radiación para cada uno de los tanques. En la Figura 7 se muestran el entorno grafico en AutoCAD que se utilizó para determinar los tanques impactados.

Figura 7. Contornos de radiación (verde) a 12,5 KW/m² realizados con AutoCAD.



Fuente: Autor del proyecto.

Como criterio secundario de selección, se tuvo en cuenta aquellos cuyos distanciamientos mínimos fueran inferiores a 3 veces la distancia mínima establecida por NFPA 30. En la Tabla 5 se muestran los tanques propuestos para implementar los anillos de enfriamiento, y la porción de tanque que debe ser protegida según el costado de impacto afectado por la radiación.

Tabla 5. Tanques propuestos para implementación de anillos de enfriamiento.

Tanque	Porción a proteger	Tanque	Porción a proteger
K948	1	K620	0,75
K940	1	K3110	1
K809	0,5	K924	1
K931	0,5	K939	1
K921	1	K671	1
K922	0,5	K672	0,75
K947	1	K94	1
K1812	1	K673	0,5
K6A	1	K954	1
K6B	0,5	K956	0,75
K902	1	K950	1

Fuente: Autor del proyecto.

4. CONCLUSIONES

Efectuado el diagnóstico del estado actual en seguridad de procesos en tanques, es notoria la gran cantidad de condiciones subestándares encontradas (aproximadamente 7 CS promedio por tanque), pero la gran mayoría de estas representan riesgos con baja valoración RAM. Esto demuestra de forma cuantitativa, que las áreas de tanques cuentan con una alta cantidad de CS, pero que su mayoría no representa riesgos altos sobre la operación.

La localización de áreas de almacenamiento de hidrocarburos, suele hacerse por motivos que no son estrictamente de seguridad. Tal procedimiento da origen al emplazamiento de facilidades o unidades en lugares que no favorecen la seguridad del conjunto. Por esta razón, el estudio de distanciamientos mínimos provee junto con la modelación de consecuencias de escenarios, resultados que permiten justificar el distanciamiento adecuado y los sistemas de enfriamiento como capas de protección pasivas necesarias para el aseguramiento de los procesos.

Es importante garantizar la operación continua y el mantenimiento periódico de los sistemas de detección y extinción, ya que de su correcto funcionamiento las consecuencias iniciantes de un accidente pueden ser drásticamente reducidas.

5. RECOMENDACIONES

Implementar una normatividad adecuada que explique la metodología para realizar análisis cuantitativo del riesgo (QRA) sobre diagnóstico e inspección de condiciones subestándares de seguridad de procesos.

Estandarizar según normatividad internacional, las tecnologías de detección adecuadas según los tipos de tanque y el producto a almacenar.

Es necesario para la continuidad del proyecto, el desarrollo de las fases de ingeniería básica y de detalle, para las adecuaciones civiles, tubería y estudio de terrenos para la ubicación de los equipos de detección y extinción.




Realizar un procedimiento de inspección basado en riesgos (RBI) para evaluar la posibilidad de instalar cámaras de los interruptores de protección por sobrellenado, durante las labores de mantenimiento del tanque.

BIBLIOGRAFÍA


- [1] VICEPRESIDENCIA DE REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA, GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA. Manual de descripción de procesos de la Unidad MPP. Versión 1. Barrancabermeja, 2009. 235 p.
- [2] DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL ECOPETROL S.A. Uso de la matriz de valoración de riesgos - RAM. Versión 1, Barrancabermeja, 2008. 13 p.
- [3] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 30: Código de líquidos inflamables y combustibles. 2008. 183 p.
- [4] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 653: Inspección de tanques, reparación, alteración y reconstrucción. 2010. 264 p.
- [5] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 11: Estándar para espumas de baja, media y alta expansión. 2005. 68 p.
- [6] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 505: Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, and Zone 2. 1997. 131 p.
- [7] EUROPEAN COMMISSION ENTERPRISE AND INDUSTRY. Guidelines on the application of Directive ATEX 94/9/EC. 2011. 18 p.
- [8] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 2350: Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities. 2005. 42 p.
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases. 2003. 11 p.
- [10] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Safety and environmental standards for fuel storage sites. 2009. 268 p.

ANEXOS


Anexo 1. Reportes de inspección en campo con lista de chequeo para el tanque K954.

	REPORTE FINAL DE INSPECCION DE CONDICIONES SUBESTANDARES		
	DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CONDICIONES DE SEGURIDAD DE PROCESO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DEL DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.		
	ECP-GRB	Elaborado por:	
MPP	ANDERSON SUESCUN - REG. 05709		
1. DATOS GENERALES DEL TANQUE			
FECHA DE INSPECCION	10/03/2011	TAG	K954
TIPO DE INSPECCION	Externa	PRODUCTO	Nafta craqueada
METODO DE INSPECCION	Visual	AÑO DE CONSTRUCCION	1999
CASA DE BOMBAS	9	TIPO DE TANQUE	Techo geodesico con membrana interna flotante
		CAPACIDAD NOMINAL, BLS	80021
2. LISTA DE COMPONENTES INSPECCIONADOS			
DESCRIPCION DE LA CONDICION SUBESTANDAR		Foto	DESCRIPCION DETALLADA
Area del dique			
Mal estado en general			
Vegetacion en el area			
Cuneta de aguas lluvias			
No tiene rejilla			
Iluminacion de escaleras			
Cajas de cableado destapada			
Cableado suelto			
Cuerpo del tanque			
Pintura entizada			
Líneas a tierra			
Línea a tierra desconectada		3.1, 3.2	
3. REGISTRO FOTOGRAFICO			
			
Foto 3.1 y 3.2. Líneas a tierra desconectadas.			

Anexo 2. Formato ECP-DRI-F-045 Matriz de Valoración de Riesgos – RAM

		DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL				ECP-DRI-F-045				
		MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM				ACT: 2		1/1		
31 de Marzo de 2008										
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catastrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M ●	M ●	H ●	H ●	VH ●
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L ○	M ●	M ●	H ●	H ●
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N ●	L ○	M ●	M ●	H ●
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N ●	N ●	L ○	L ○	M ●
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N ●	N ●	N ●	L ○	L ○
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N ●	N ●	N ●	N ●	N ●

Anexo 3. Propuesta de mejoramiento y valoración en riesgo de las condiciones subestándares encontradas para el tanque K954.


		PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES PARA ELIMINACION DE CONDICIONES SUBESTANDARES EN TANQUES					
		DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DE CONDICIONES DE SEGURIDAD DE PROCESO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DEL DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS.					
		ECP-GRB					Elaborado por:
		MPP					ANDERSON SUESCUN - REG. 05709
1. DATOS GENERALES DEL TANQUE							
FECHA DE INSPECCION	10/03/2011	METODO DE INSPECCION	Visual	TIPO DE TANQUE	T.G.M.I.F	TAG	K954
TIPO DE INSPECCION	Externa	CASA DE BOMBAS	9				
2. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES							
Condicion subestandar	Valoracion de riesgo	Consecuencia potencial	Solucion	Se puede ejecutar la solucion con el tanque en servicio?	Tiempo de Ejecucion (CP, MP, LP)		
Area del dique Vegetacion en el area	L	Dificultad de acceso al permitir crecimiento de la vegetacion, es fuente combustible en caso de incendio.	Incluir dentro del contrato de roceria la poda de esta vegetacion.	SI	CP		
Cuneta de aguas lluvias No tiene rejilla	L	Posibilita el riesgo de caida por tropezon.	Instalacion de rejilla, por contrato a cargo del lider de PS&O	SI	MP		
Iluminacion de escaleras Cajas de cableado destapada	M	Riesgo de contacto electrico con afectacion a operador, posible fuente de escape de punto caliente.	Instalacion de tapa, asegurar aislamiento de cables y hermeticidad de la caja a cargo de PS&O	SI	CP		
Cuerpo del tanque Pintura entizada	L	Desgaste de pintura	Realizar RBI, para determinar el grado de riesgo que incurre continuar la operacion.	NO	LP		
Líneas a tierra Línea a tierra desconectada	H	Reduce la proteccion contra descargas electricas al tanque con posibilidad de incendio	Solicitud a cargo del lider de PS&O para la evaluacion; reparacion a cargo del personal electricista	SI	CP		
3. RESUMEN EN DATOS							
Condiciones subestandares con valoracion de riesgo H	1	Tiempo de ejecucion en corto plazo (CP)	3			Tiempo de ejecucion	
Condiciones subestandares con valoracion de riesgo M	1	Tiempo de ejecucion en mediano plazo (MP)	1			LP	MP
Condiciones subestandares con valoracion de riesgo L	3	Tiempo de ejecucion en largo plazo (LP)	1			CP	1
				Valoracion RAM	H	1	1
					M	1	1
					L	1	1

Anexo 4. Resultados de evaluación de distanciamiento mínimo para tanques fuera de estándar.

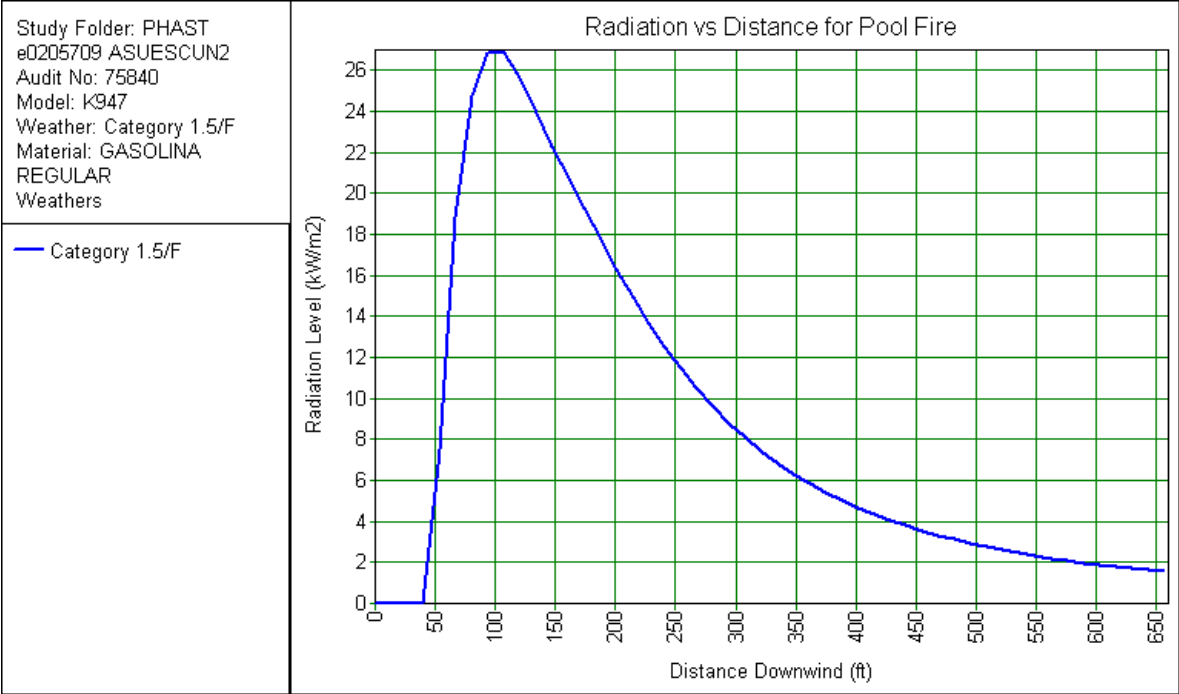
Tanque de estudio	Tipo de tanque	Diámetro real (ft)	Radio layout	Tanque adyacente	Radio en layout [ft]	Distancia mínima [unid]	Distancia pared- pared layout [unid]	Cumple con distancia mínima NFPA 30	Radio real/radio layout [ft/unid]	Distancia pared- pared layout [ft]	Distancia pared- pared layout [m]
K944	T.C	90	13,785	K943	13,82	9,20	10,62	SI	3,26	34,67	10,57
	T.C	90	13,785	K945	15,33	9,70	5,28	NO	3,26	17,24	5,26
	T.C	90	13,785	K938	18,39	10,73	42,84	SI	3,26	139,86	42,63
K945	T.C	100	15,329	K911	12,33	9,22	27,54	SI	3,26	89,83	27,38
	T.C	100	15,329	K943	13,82	9,72	20,73	SI	3,26	67,61	20,61
	T.C	100	15,329	K944	13,79	9,70	5,28	NO	3,26	17,23	5,25
K904	T.C	74	11,336	K906	6,54	5,96	9,25	SI	3,26	30,19	9,20
	T.C	74	11,336	K903	4,66	5,33	21,04	SI	3,26	68,66	20,93
	T.C	74	11,336	K907	8,00	6,45	5,90	NO	3,26	19,27	5,87
	T.C	74	11,336	K908	3,13	4,82	19,84	SI	3,26	64,75	19,74
K907	T.F	52	8,001	K910	10,74	6,25	41,52	SI	3,25	134,91	41,12
	T.F	52	8,001	K903	4,66	4,22	14,42	SI	3,25	46,86	14,28
	T.F	52	8,001	K904	11,34	6,45	5,90	NO	3,25	19,19	5,85
	T.F	52	8,001	K908	3,13	3,71	24,15	SI	3,25	78,46	23,92

- T.C: Tanque te techo cónico.
- T.F: Tanque de techo flotante.

Anexo 5. Hoja de cálculo para actualización de sistemas de extinción (Hoja #4 de 23)

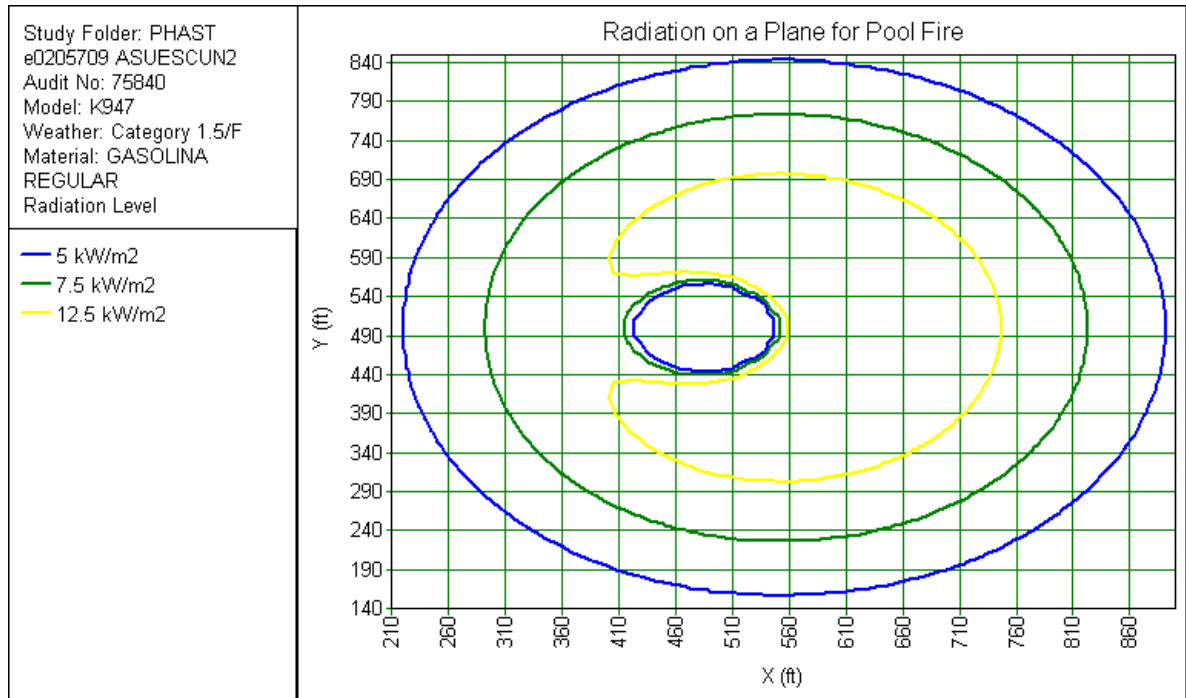
		TECHO FIJO											
		Para mangueras y/o monitores						Cámaras de espuma Tipo II (Techo fijo)					
Área	Tipo de tanque	Uso de mangueras monitor	Uso mangueras de espuma	Caudal mínimo de aspersión (L/min*m2)	Caudal mínimo de aspersión (gpm/ft^2)	Tiempo mínimo de descarga (min)	#	Caudal mínimo de aspersión (L/min*m2)	Caudal mínimo de aspersión (gpm/ft^2)	Tiempo mínimo de descarga (min)	Área de superficie de producto a proteger (ft^2)	Requerimiento mínimo de solución de espuma (gpm)	Tamaño de cámara de espuma(gpm)
CASA DE BOMBAS 1													
K0012	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	1809,6	181,0	181,0
K0016	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0017	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0044	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	907,9	90,8	90,8
K0056	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	314,2	31,4	31,4
K0094	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0095	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	1555,3	155,5	155,5
K0099	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0620	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0671	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0672	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0673	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7
K0674	CÓNICO	SI	NO	6,5	0,16	65	1	4,1	0,1	55	706,9	70,7	70,7

Anexo 6. Grafica de radiación vs distancia al *Pool Fire* en tanque K947



Software utilizado: PHAST 6.54

Anexo 7. Grafica radiación sobre un plano de *Pool Fire* en tanque K947



Software utilizado: PHAST 6.54

Anexo 8. Informe de resultados de simulación de *Pool Fire* en tanque K940.

RESULTADOS DE SIMULACION A EVENTOS AMENAZANTES PHAST				
VICEPRESIDENCIA DE REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA Gerencia de Proyectos de Refinación y Petroquímica GRP				
VRP-GRP-F-121	Elaborado: 22/09/2011	Versión: 1		
FECHA:	28/12/2011	HOJA:	2 DE 6	
Descripción del Evento Iniciante: Fuga instantánea por el techo del tanque, debido a eventos exógenos (tormentas eléctricas y rayos).		Evento Amenazante: Incendio tipo piscina temprana.		
Rata de quema (Kg/s):	Masa a Relevar:	Producto:	Localización:	
788	N.A	GASOLINA MOTOR	K-940 Casa Bombas 5	
Condiciones de Proceso Simuladas:				
Volumen (Bls):	Diámetro equivalente (in):	Fase:	Presión (psig):	Temperatura (°F):
188764	N.A	Líquida	Atmosferica	90
Estabilidad atmosférica (Clasificación Pasquill):		1.5 F	Dirección de relevo: NA	
Descripción de la Gráfica:				
La gráfica muestra el radio de afectación causado por el incendio del tanque K-940, el círculo azul muestra la radiación térmica a nivel de piso de 12.5 kW/m ² , que es la distancia de interés que debe ser considerada para establecer las medidas necesarias para la protección de los tanques y equipos aledaños.				
Radiación Térmica	Radio (m)	Descripción		
Effect Zone @ Zone 1.6 kW/m ²	624	Zona segura para efectos de exposición prolongada a la radiación térmica.		
Effect Zone @ Zone 5 kW/m ²	380	Permite realizar control durante cortos tiempos de exposición con ropa adecuada.		
Effect Zone @ Zone 9.5 kW/m ²	283	Intensidad de radiación suficiente para escapar.		
Effect Zone @ Zone 12.5 kW/m ²	247	Zona de probabilidad de fatalidad mayores del 50% por exposición mayor a 30 seg		
Effect Zone @ Zone 37.5 kW/m ²	125	Zona en la que las estructuras de acero pierden su integridad sino estan protegidas		
Elaboró:	ANDERSON SUESCUN	Revisión:	JEC	Anexo:


Anexo 9. Informe de resultados de modelación de consecuencias en PHAST 6.54 para el tanque K940

POOL FIRE REPORT

Study Folder: PHAST e0205709 ASUESCUN con elevacion

Unique Audit Number: 64,352

Phast 6.54



K940

Base Case

Weather: Study\Category 1.5/F

Speed: 1.50 m/s **Stability:** F

\PHAST e0205709 ASUESCUN con elevacion\Study\K940

Flame Data

Correlation Type: Thomas / Johnson

User-Defined Quantities

Material	GASOLINA REGULAR
Ambient Temperature	30.00 degC
Ambient Relative Humidity	0.85 fraction
Ambient Wind Speed	1.50 m/s
Surface Type	Land
Elevation	40.00 ft
Maximum Exposure Duration	60.00 s

Input and/or Output Quantities

Pool Diameter		200.00 ft
	Input	Output
Flame Length		282.65 ft
Flame Angle		18.35 deg
Flame Emissive Power		276.08 kW/m2
Burn Rate		315.42 kg/s
Radiative fraction for general fires		0.40 fraction

For linked models, early pool fires are assumed to occur at the time a spreading pool's spill rate equals the pool fire burn rate; the pool-fire center is located at the rainout point, and the spill rate is the PVAP rainout rate (segment 1).

Data

Flame Co-ordinates

X	Z	R	Phi
ft	ft	ft	deg
0.00	40.00	100.00	0.00
88.98	308.27	100.00	0.00
88.98	308.27	0.00	0.00

Date: 12/2/2011
189 of 233
Time: 1:56:58PM

POOL FIRE REPORT

Unique Audit Number: 64,352



Study Folder: PHAST e0205709 ASUESCUN con elevacion

Phast 6.54

Radiation Intensity Ellipse

User-Defined Quantities

Observer Inclination	Variable	deg
Observer Orientation	Variable	deg
Exposure Duration	60.00	s
Effect Height	0.00	ft

Calculated Quantities

Incident Radiation Level:	12.50	kW/m2
Lethality Level	90.33	%
View Factor	0.05	
Dose Level	17,400,485.69	(W/m2)^Probit N.s
Downwind semi-axis (A)	452.86	ft
Crosswind semi-axis (B)	451.95	ft
Offset Ratio (D)	0.17	
Effect Distance	528.69	ft
Area	59,735.81	m2

POOL FIRE REPORT

Unique Audit Number: 64,352



Study Folder: PHAST e0205709 ASUESCUN con elevacion

Phast 6.54

Radiation Distance

User-Defined Quantities

Maximum Distance	656.17	ft
Angle from Wind Direction	0.00	deg
Height above Origin	0.00	ft
Observer Inclination	Variable	deg
Observer Orientation	Variable	deg

Calculated Quantities

X Coordinates ft	Y Coordinates ft	Z Coordinates ft	Incident Radiation kW/m2	Lethality Level %	View Factor
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
93.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107.13	0.00	0.00	10.68	77.75	0.04
120.52	0.00	0.00	29.32	100.00	0.11
133.91	0.00	0.00	40.83	100.00	0.15
147.30	0.00	0.00	46.13	100.00	0.17
160.69	0.00	0.00	47.79	100.00	0.17
174.09	0.00	0.00	47.65	100.00	0.17
187.48	0.00	0.00	46.46	100.00	0.17
200.87	0.00	0.00	44.66	100.00	0.16
214.26	0.00	0.00	42.57	100.00	0.15
227.65	0.00	0.00	40.76	100.00	0.15
241.04	0.00	0.00	39.12	100.00	0.14
254.43	0.00	0.00	37.39	100.00	0.14
267.82	0.00	0.00	35.64	100.00	0.13
281.21	0.00	0.00	33.88	100.00	0.12
294.61	0.00	0.00	32.17	100.00	0.12
308.00	0.00	0.00	30.50	100.00	0.11
321.39	0.00	0.00	28.89	100.00	0.10
334.78	0.00	0.00	27.35	100.00	0.10
348.17	0.00	0.00	25.89	99.99	0.09
361.56	0.00	0.00	24.49	99.98	0.09
374.95	0.00	0.00	23.17	99.97	0.08
388.34	0.00	0.00	21.91	99.94	0.08
401.74	0.00	0.00	20.73	99.88	0.08
415.13	0.00	0.00	19.62	99.77	0.07
428.52	0.00	0.00	18.57	99.60	0.07
441.91	0.00	0.00	17.59	99.32	0.06
455.30	0.00	0.00	16.66	98.87	0.06
468.69	0.00	0.00	15.79	98.20	0.06
482.08	0.00	0.00	14.97	97.23	0.05

Date: 12/2/2011

191 of 233

Time: 1:56:58PM

POOL FIRE REPORT

Unique Audit Number:

64,352



Study Folder: PHAST e0205709 ASUESCUN con elevacion

Phast 6.54

X Coordinates ft	Y Coordinates ft	Z Coordinates ft	Incident Radiation kW/m2	Lethality Level %	View Factor
495.47	0.00	0.00	14.20	95.88	0.05
508.86	0.00	0.00	13.48	94.05	0.05
522.26	0.00	0.00	12.81	91.68	0.05
535.65	0.00	0.00	12.18	88.70	0.04
549.04	0.00	0.00	11.58	85.07	0.04
562.43	0.00	0.00	11.02	80.81	0.04
575.82	0.00	0.00	10.50	75.94	0.04
589.21	0.00	0.00	10.00	70.55	0.04
602.60	0.00	0.00	9.54	64.74	0.03
615.99	0.00	0.00	9.11	58.66	0.03
629.39	0.00	0.00	8.69	52.45	0.03
642.78	0.00	0.00	8.31	46.27	0.03
656.17	0.00	0.00	7.94	40.26	0.03

Date: 12/2/2011

192 of 233

Time: 1:56:58PM