

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE SEGURIDAD Y SALUD
OCUPACIONAL

Trabajo de fin de carrera titulado:

INGENIERÍA EN SEGURIDAD Y SALUD
OCUPACIONAL:

GESTIÓN TÉCNICA DE FUEGO EN UNA ESTACIÓN
DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO

Realizado por:

LUIS ROMANO LARA

Como requisito para la obtención del título de
INGENIERO EN SEGURIDAD Y SALUD
OCUPACIONAL

QUITO, FEBRERO DEL 2014

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Luis Alberto Romano Lara, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....

Luis Alberto Romano Lara

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación de fin de carrera, titulado

GESTIÓN TÉCNICA DE FUEGO EN UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO

Realizado por el alumno

LUIS ALBERTO ROMANO LARA

Como requisito para la obtención del título de

INGENIERO EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Ha sido dirigido por el profesor

Ing. DAVID TRUJILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor.

.....

Ing. DAVID TRUJILLO

Director

Los profesores informantes

Ing. LUIS FREIRE, y

Ing. DANIEL SALVADOR

después de revisar el trabajo escrito presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

.....
Ing. LUIS FREIRE

.....
Ing. DANIEL SALVADOR

Quito, a 24 de febrero de 2014

A mi familia y amigos.

Resumen Ejecutivo

El presente estudio se enfoca a la evaluación del riesgo generado por incendio en un depósito de petróleo. Se parte con una breve descripción del proyecto donde se implementó el estudio; luego, se hace una breve reseña de los grandes desastres ocurridos en la industria petrolera. Se continúa en el Capítulo II con la descripción de los tipos de incendios, los efectos del incendio sobre las personas y en los materiales y se concluye con una recopilación del marco legal referente a incendios.

En el Capítulo III se desarrolla la modelación del riesgo de fuego en un depósito de petróleo utilizando el Método de DOW'S. Se determinan el Índice de Incendios y Explosiones (II&E) y el Factor de Crédito de Control de Pérdidas. En el Capítulo IV se evalúan los resultados en base del cálculo del Factor de Peligros de la Unidad de Proceso y el valor del Daño Máximo Probable de la Propiedad Actual.

En el Capítulo V se señalan las conclusiones y recomendaciones, orientadas a fortalecer la seguridad, tanto para el personal como para los equipos e instalaciones, siempre desde el punto de vista de la prevención.

Abstract

The present study focuses on the assessment of risk generated by fire in an oil reservoir. It starts with a brief description of the project where the study was implemented, followed by a brief overview of the major disasters in the oil industry. The effects of fire on people and materials continue in Chapter II with a description of the types of fire and conclude with a compilation of the legal framework relating to fire.

In Chapter III the risk of fire modeling is developed in an oil reservoir using the method DOW'S, the Fire and Explosion Index (II&E) and Factor Credit Loss Control are determined. In Chapter IV the results are evaluated on the basis of the calculation of the Hazard Factor Processing Unit and value of the Probable Maximum Actual Property Damage.

In Chapter V the conclusions and recommendations are aimed at strengthening the security for both personnel and equipment and installations, always from the point of view of prevention.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1 LOS INCENDIOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y LEGAL.....	14
2.1 CLASES DE INCENDIOS	14
2.2 INCENDIOS EN CHARCOS O DEPÓSITOS	16
2.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA	17
2.3.1 Efectos sobre las personas.....	17
2.3.2 Efectos sobre los materiales	19
2.4 MÉTODO DE CÁLCULO.....	21
2.4.1 Método DOW'S guía de clasificación de peligro e índice de incendios y explosiones.....	21
2.4.2 Procedimiento para el cálculo de análisis del riesgo.....	22
2.5 REFERENCIA LEGAL	25
CAPÍTULO III: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO DE FUEGO EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO	33
3.1 MODELACIÓN METODO DOW'S	33
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1 CONCLUSIONES	65
5.2 RECOMENDACIONES	67
6. BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS.....	72

TEMA

GESTIÓN TÉCNICA DE FUEGO EN UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La empresa en la cual se desarrolló este estudio opera en el sector de la industria hidrocarburífera en la región amazónica del Ecuador y orienta sus recursos a la exploración y producción de petróleo. En la actualidad la empresa tiene una producción diaria promedio de 15.000 barriles de petróleo con un API de 19°.

Para la implementación de los procesos de producción de petróleo cuenta con las siguientes instalaciones:

Una plataforma donde están ubicados los pozos productores y de reinyección del agua de formación, un oleoducto primario de aproximadamente 50 km de longitud para el transporte del crudo, una estación central de procesamiento donde se hace la separación del gas, agua y petróleo, un oleoducto secundario de aproximadamente 140 km de longitud para el transporte del petróleo hasta una estación de almacenamiento donde posteriormente se lo entrega al Estado.

Un proyecto petrolero consta de dos etapas: “upstream” y “downstream”. En la primera se tienen los procesos de exploración, desarrollo y producción, mientras que en la segunda tenemos los procesos de transporte, separación, almacenamiento y distribución.

El ciclo de cada uno de estos procesos está perfectamente definido, sin embargo entre cada uno de ellos existen etapas de transición, es decir, la fase final del proceso anterior se sobrepone con la fase inicial del proceso siguiente.

En el proceso de exploración se determina la localización de las reservas y se define su rentabilidad. Si el proyecto resulta rentable se sigue con el segundo proceso que es el de Desarrollo, en este se construyen la infraestructura necesaria para la explotación de las reservas, es decir, construcción de campamentos, oleoductos, plantas procesadoras, entre otras. Una vez que se han construido todas las facilidades viene una etapa de pruebas, previa al proceso de producción.

El proceso de producción se inicia con la extracción del crudo desde los pozos denominados productores, luego este crudo se lo transporta a través de un oleoducto hasta una central donde se hace la separación del agua, gas y petróleo, concluido este proceso se lo transporta también a través de un oleoducto hasta una terminal de almacenamiento y finalmente se lo entrega al Estado.

Siendo la industria hidrocarburífera catalogada como de alto riesgo, por la naturaleza misma de los procesos, en cada uno de estos se efectúan estudios y análisis para la gestión de la Salud Ocupacional, Seguridad Industrial y el Ambiente. Estos estudios son revisados y actualizados periódicamente conforme se desarrolla el proyecto, para ajustarlos a las nuevas condiciones y circunstancias del mismo.

El presente caso de estudio se enfoca a la evaluación del riesgo de fuego proveniente del proceso de almacenamiento de crudo. Es importante indicar que, en este estudio, no se ha analizado la probabilidad de materialización del riesgo de fuego, sino que, partiendo de que por cualquier causa se produjera el incendio del depósito de crudo, se analizan cuáles serían las consecuencias, tanto para el personal como para las instalaciones y equipos, adicionalmente, y en función de los resultados obtenidos, cuáles serían las recomendaciones y acciones a implementar tomando en cuenta que la terminal de almacenamiento ya está en funcionamiento.

1.1 LOS INCENDIOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

La industria petrolera desde sus inicios se ha visto envuelta en grandes catástrofes, esto debido no solamente a la peligrosidad de sus procesos productivos y al alto riesgo que estos representan para las personas, los bienes y el medio ambiente; sino también por las distintas fallas que se pueden presentar, como consecuencia de errores humanos, errores de diseño en las plantas, escasez de medidas preventivas y de control. Todo esto finalmente ha generado daños y pérdidas de gran magnitud en diferentes ámbitos.

En términos generales, en la producción petrolera se implementan tres macro procesos: Exploración, Desarrollo y Producción, los cuales a su vez contemplan procesos. Dentro del macro proceso de producción se tienen los procesos de producción, transporte y almacenamiento de petróleo. El almacenamiento de petróleo se lo realiza en grandes tanques o contenedores de gran capacidad, los mismos que representan un peligro potencial alto en el caso de que se materialice el riesgo de incendio.

Enclave o equipo	Frecuencia, (%)
Almacenamiento:	42.0
Almacén o lugar abierto	27.0
Tanques	15.0
Equipos:	31.0
Tuberías	19.0
Reactor o mezclador	5.0
Secadero de vapor	2.5
Cabinas de pulverización y vaporización	1.0
Torres de refrigeración	1.0
Sin especificar	2.5
Accesorios:	16.0
Acoplamientos, collarines, juntas	8.0
Equipos eléctricos	8.0
Sin especificar:	11.0

Tabla 1. Incendios producidos en la industria química y petrolera.¹

¹ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 16.

A través de los años se han registrados distintas catástrofes originadas por incendios en la industria del petróleo. A continuación se mencionan algunos sucesos importantes:

1982. El 19 de diciembre se presentó en Tocoa una terminal petrolera cercana a Caracas, Venezuela, el mayor derrame por ebullición desbordante, en un tanque de almacenamiento de petróleo y sus derivados, que haya ocurrido en la historia de la humanidad.

Los muertos se calcularon en más de 500 y las pérdidas económicas fueron superiores a los 250 millones de dólares. El tanque contenía fuel oil y la ebullición cubrió un radio de 700 metros desde el tanque, enviando partículas hasta las embarcaciones que estaban ancladas en la playa cercana.

Este es tal vez el mayor accidente en la historia, que ocurrió por el fenómeno que típicamente está presente en los lugares en donde se almacenan hidrocarburos y que se define con el nombre de boilover o ebullición desbordante.

Al parecer, en el tanque se recibía petróleo crudo pesado de características similares al fuel oil. Según dicen, algunos de los operarios fumaban encima del tanque y dentro del proceso de llenado o vaciado del mismo, para empeorar la situación, por situaciones operacionales ese día se recibía un crudo liviano, que generaba vapores inflamables.²

1976. El Urquiola fue un petrolero de 276 metros de eslora, 39 de manga y 15,19 de calado. Construido en Astilleros Españoles, en su factoría de Sestao en 1972, tenía un peso muerto de 111.225 Toneladas.

El 12 de mayo de 1976 en la maniobra de entrada al Puerto de La Coruña, para efectuar la descarga en su refinería, toca unos bajos no señalados en las cartas, dañando su casco y vertiendo unas 100.000 toneladas de su carga al mar. La valoración de los daños se estimó en unos 2,25 millones de euros.

Sobre las 14:00 horas el barco sufrió varias explosiones y un incendio posterior y pese a los esfuerzos de un remolcador por acercarse a recoger al capitán Castelo y al práctico del Puerto Sánchez Lebón, solo este pudo salvarse en medio de un mar en llamas.³

2010. La Deepwater Horizon era una plataforma petrolífera semisumergible de posicionamiento dinámico de aguas ultra-profundas construida en el año 2001. El propósito de la torre era perforar pozos petrolíferos en el subsuelo marino,

² Raúl Felipe Trujillo Mejía, 2012, El fuego y sus implicaciones en la industria, Ecoe Ediciones, Bogotá.

³ Wikipedia, [http://es.wikipedia.org/wiki/Urquiola_\(petrolero\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Urquiola_(petrolero)); Esta página fue modificada por última vez el 10 mar 2013, a las 08:03.

trasladándose de un lugar a otro conforme se requiriera. Una vez que se terminaba de perforar, la extracción era realizada por otro equipo.

Deepwater Horizon se hundió el 22 de abril de 2010 como resultado de una explosión que había tenido lugar dos días antes provocando 11 muertos y el más importante vertido de petróleo de la historia, estimado en 779.000 toneladas de crudo.⁴

Paralelamente al desarrollo industrial se han presentado distintos tipos de catástrofes en la industria petrolera, siendo los incendios uno de los de mayor importancia, esto debido a la cantidad de víctimas en términos de lesiones y fatalidades, los graves daños al ambiente y la afectación a los bienes de las empresas.

⁴ Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon; Esta página fue modificada por última vez el 5 agosto 2013, a las 00:21.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y LEGAL

2.1 CLASES DE INCENDIOS

Existen varios tipos de incendios, cada uno con características propias. Particularmente en la industria petrolera están determinados por el tipo depósito, tipo de combustible, el tipo de derrame y la forma como se inflama el combustible.

Denominación	Estado físico del producto	Ignición
Incendio en charco o depósito	Líquido	Inmediata o diferida
Bola de fuego	Gas o líquido	Inmediata
Dardo de fuego	Gas o líquido	Inmediata o diferida
Incendio flash	Gas	Diferida

Tabla 2. Tipos de incendios asociados al producto y a la fuente de ignición.⁵

A continuación una breve descripción de los tipos más usuales de incendio:

- Incendio de Charco.- Se produce cuando se da un derrame a causa de un fallo en los depósitos de almacenamientos de un líquido inflamable y posterior ignición del mismo. Su forma y tamaño varía dependiendo del lugar donde se produzcan y el tipo de derrame; pueden tener formas circulares, rectangulares, etc., dependiendo de la geometría del depósito.

⁵ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 15.



- Incendio de Chorro.- Se produce por el escape de un gas o vapor inflamable y su posterior ignición; dando como resultado una llama en forma de dardo o cono truncado. Debido a la presión a la que se halla el gas, alcanzan dimensiones considerables.



- Incendio tipo Boilover.- Se producen, en su mayoría, en depósitos de almacenamiento de crudo. Cuando se produce el incendio, la superficie del hidrocarburo se va calentando debido a la radiación térmica, dando como resultado que esta capa entre en ebullición. Los componentes más volátiles se evaporan y abastecen la llama del incendio aumentando su tamaño.



2.2 INCENDIOS EN CHARCOS O DEPÓSITOS

Dentro de este tipo podemos encontrar 3 sub divisiones:

- Charcos de fuego al aire libre.- Son producidos por un derrame de líquido inflamable al aire libre y su posterior ignición. Dependiendo del tipo de derrame, es decir, si es continuo o instantáneo, se determina el fuego resultante. En el caso de un derrame instantáneo, el líquido se distribuirá hasta que se encuentre con una barrera o que se consuma todo el combustible. Mientras que si el derrame es continuo, el charco irá creciendo hasta que la velocidad de combustión sea igual al caudal, de tal forma que, en un momento alcanzará un diámetro definido que no variará su tamaño hasta que no se termine la fuga. Si el líquido derramado se mantuviese retenido dentro de un recipiente, tipo cubeto, el incendio no dependerá del tipo de derrame, instantáneo o continuo sino de la forma del recipiente.
- Charco de fuego sobre el mar.- Se produce por un derrame en la superficie del mar; dependiendo del tiempo que tarde el derrame, el diámetro se incrementa mientras que su grosor ira disminuyendo. “Se puede alcanzar de este modo un

valor mínimo (que según los estudios se encuentra alrededor de 1,25 mm), en el que la ignición no es posible aunque exista una fuente de ignición.”⁶

Otro punto importante a tomar en cuenta es la temperatura del combustible, que debe estar sobre la temperatura de inflamación, ya que si esta es menor, las opciones de que se produzca el incendio son mínimas.

Si se llegara a producir el incendio, el combustible se quema hasta que el grosor del derrame es tan delgado que con el calor que se produce se pierde en el agua.

- **Incendio en movimiento.**- Se originan cuando se da un derrame de un líquido inflamable sobre una superficie inclinada o vertical. Cuando se produce la ignición, el fuego del incendio se desplaza en la dirección en la que se desplaza el líquido. Es un tipo de incendio muy peligroso, ya que debido a sus características de movimiento abarcan áreas muy extensas y llega a grandes dimensiones.

2.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

2.3.1 Efectos sobre las personas

Los principales efectos que el incendio de charco produce en las personas son de dos tipos: fisiológicos y patológicos. Los primeros no representan una gran amenaza y no producen daños considerables en las personas; se caracterizan por el incremento del ritmo cardiaco, aumento de la transpiración y ligera elevación de la temperatura corporal. Los patológicos están relacionados con las quemaduras, las cuales varían según su gravedad, dependiendo del tiempo de exposición y la intensidad de radiación recibida por el sujeto. Se clasifican en quemaduras de primero, segundo y tercer grado; su ubicación en la escala estará determinada por la extensión y la profundidad del daño, que se relaciona con la temperatura alcanzada por la piel.

⁶ J. Casal et al, 1999, **Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales**, Pág. 126.

- Quemaduras de primer grado:

Las quemaduras de primer grado producen un daño superficial, caracterizado por el enrojecimiento y sequedad de la piel que provoca sensación dolorosa. No aparecen ampollas y la sensación de dolor crece a medida que aumenta el tiempo de exposición. No requiere asistencia médica, ya que los daños producidos son reversibles al cabo de uno o dos días.⁷

Las quemaduras de primer grado se producen cuando se rebasa el límite inferior de la dosis de radiación térmica de $115 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3}\text{s}$.

Es importante considerar que el límite del valor umbral del dolor es $1,7 \text{ kW/m}^2$, donde valores menores a estos se consideran seguros.⁸

- Quemaduras de segundo grado:

Las quemaduras de segundo grado afectan considerablemente a la epidermis –capa externa de 0.05 a 0.1 mm de espesor–, provocando la aparición de ampollas, presentando el resto un aspecto húmedo y enrojecido, siendo necesario el tratamiento médico para recuperar la zona dañada.⁹

Las quemaduras de segundo grado se pueden producir cuando se rebasa el límite inferior de la dosis de radiación térmica de $250 \text{ (kW/m}^2\text{)}^{4/3}\text{s}$.

- Quemaduras de tercer grado:

Las quemaduras de tercer grado se extienden a la dermis –capa interna de la piel de 1 a 2 mm de espesor– donde se alojan terminaciones nerviosas y raíces capilares, provocando la insensibilidad de la parte afectada que presenta aspecto seco, de diversa coloración –tanto más oscura cuanto mayor sea el nivel de daño–. Esta zona es vulnerable a los agentes patógenos que pueden dar lugar a infecciones, por lo que requiere atención médica urgente y en muchos casos los daños son irreversibles, pudiendo provocar la muerte.¹⁰

⁷ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 36.

⁸ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 38.

⁹ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 39.

¹⁰ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 41.

La radiación de 114 kJ/m^2 puede provocar quemaduras de tercer grado en un periodo de pocos segundos.

2.3.2 Efectos sobre los materiales

La radiación térmica puede producir daños en los distintos materiales de los que están compuestos los equipos e instalaciones.

Para determinar los daños producidos se tomará como referencia los siguientes materiales:

Madera, materiales sintéticos, vidrio, acero, hormigón, cemento, ladrillo, etc.

Se consideran 2 niveles de daños:

“**Nivel 1**, que supone la ignición de los mismos, así como la rotura de vidrios o fallos de elementos estructurales de edificios.”¹¹

“**Nivel 2**, de menor importancia, en los cuales se produce decoloraciones serias en la superficie del material, desprendimiento de pinturas y deformaciones apreciables de elementos estructurales de edificios, sin que se produzca el colapso.”¹²

Según Robertson (1976) pueden producirse incendios secundarios en edificaciones cuando éstas se hallen sometidas a flujos de radiación superiores a 12.6 kW/m^2 y en plantas de proceso y tanques de almacenamiento de productos inflamables cuando la radiación sea superior a 37.8 kW/m^2 .¹³

¹¹ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 44.

¹² Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 44.

¹³ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 44.

Con esta referencia se puede determinar un segundo valor límite en referencia a tanques de almacenamiento de productos inflamables, cuando se produce un incendio y se tiene otro u otros tanques cerca, se determina que el tiempo máximo al que pueden estar expuestos al mismo nivel de radiación que el producido en el incendio es de 20 minutos.

Material	Daños de nivel 1		Daños de nivel 2	
	I_{CR} , kW/m ²	T, K	I_{CR} , kW/m ²	T, K
Madera	15	683	2	373
Sintético	15		2	373
Vidrio	4	393	-	-
Acero	100	773	25	473

Tabla 3. Intensidad crítica de radiación y temperatura de ignición para diferentes materiales.¹⁴

Material	Máxima radiación tolerable, kW/m ²
Cemento	60
Cemento precomprimido	40
Hormigón	200
Acero	40
Madera	10
Vidrio	30-300
Pared de ladrillos	400

Tabla 4. Intensidades de radiación máxima tolerable para diferentes materiales.¹⁵

¹⁴ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 46.

¹⁵ Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, **ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO**, pág. 47.

2.4 MÉTODO DE CÁLCULO

2.4.1 Método DOW'S guía de clasificación de peligro e índice de incendios y explosiones

La primera edición de este método fue realizada en 1964. En los años siguientes este se ha ido desarrollando y mejorando hasta el punto de otorgarnos un índice amplio con valores relativos de los riesgos y las pérdidas de cada unidad individual de procesos causados por potenciales incendios y explosiones.

El objetivo principal del Índice de Incendios y Explosiones (II&E), es ayudar al técnico con la selección de métodos de protección contra incendios. Su objetivo secundario es calificar individualmente a cada unidad de proceso en una escala enfocada en equipos y elementos claves.

El índice de incendios y explosiones provee información muy importante para la evaluación general del riesgo de incendios y explosiones.

El sistema de análisis nos guía paso a paso y nos permite obtener una evaluación realista de incendios, explosiones y el potencial reactivo de los equipos de proceso y sus contenidos. Los datos cuantitativos usados en este método de cálculo son basados en archivos históricos de control de pérdidas; la energía potencial del material en estudio y la magnitud de las prácticas de prevención de pérdidas están incluidas.

Los propósitos del índice de incendios y explosiones son:

- Cuantificar el daño potencial previsto de incendios, explosiones e incidentes reactivos en términos realistas.
- Identificar equipos que puedan contribuir al aumento del incidente.
- Comunicar los riesgos potenciales del índice de incendios y explosiones a la gerencia.

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de este índice es concientizar al ingeniero de las posibles pérdidas en cada área de procesos y ayudarlo a identificar planes para reducir la severidad y los gastos monetarios de potenciales incidentes, de manera eficiente y económicamente efectiva.

El índice de incendios y explosiones está diseñado para operar con almacenamiento, manipulación o procesamiento de materiales inflamables, combustibles o reactivos. También puede ser usado en análisis de pérdidas de sistemas de facilidades de tratamiento de aguas residuales, sistemas de distribución, tuberías, rectificadores, transformadores, calderos, oxidadores térmicos y ciertos elementos de una planta de energía.

Adicionalmente, este índice puede ser usado en la evaluación de riesgos de pequeños procesos con cantidades modestas de materiales peligrosos; es altamente recomendable su uso para plantas piloto. Este índice es aplicable cuando hay una manipulación de material inflamable o reactivo en una cantidad mínima aproximada de 454 kg.

Los peligros que pueden contribuir al incremento de la magnitud y probabilidad de las pérdidas han sido calificados como **penalizaciones**, las cuales nos proveen datos numéricos. No todas las penalidades son aplicables a situaciones específicas y es probable que muchas deban ser ajustadas.

2.4.2 Procedimiento para el cálculo de análisis del riesgo

Para desarrollar el Índice de Incendios y Explosiones (II&E) y Resumen del Análisis de Riesgos, es necesario contar con los siguientes datos:

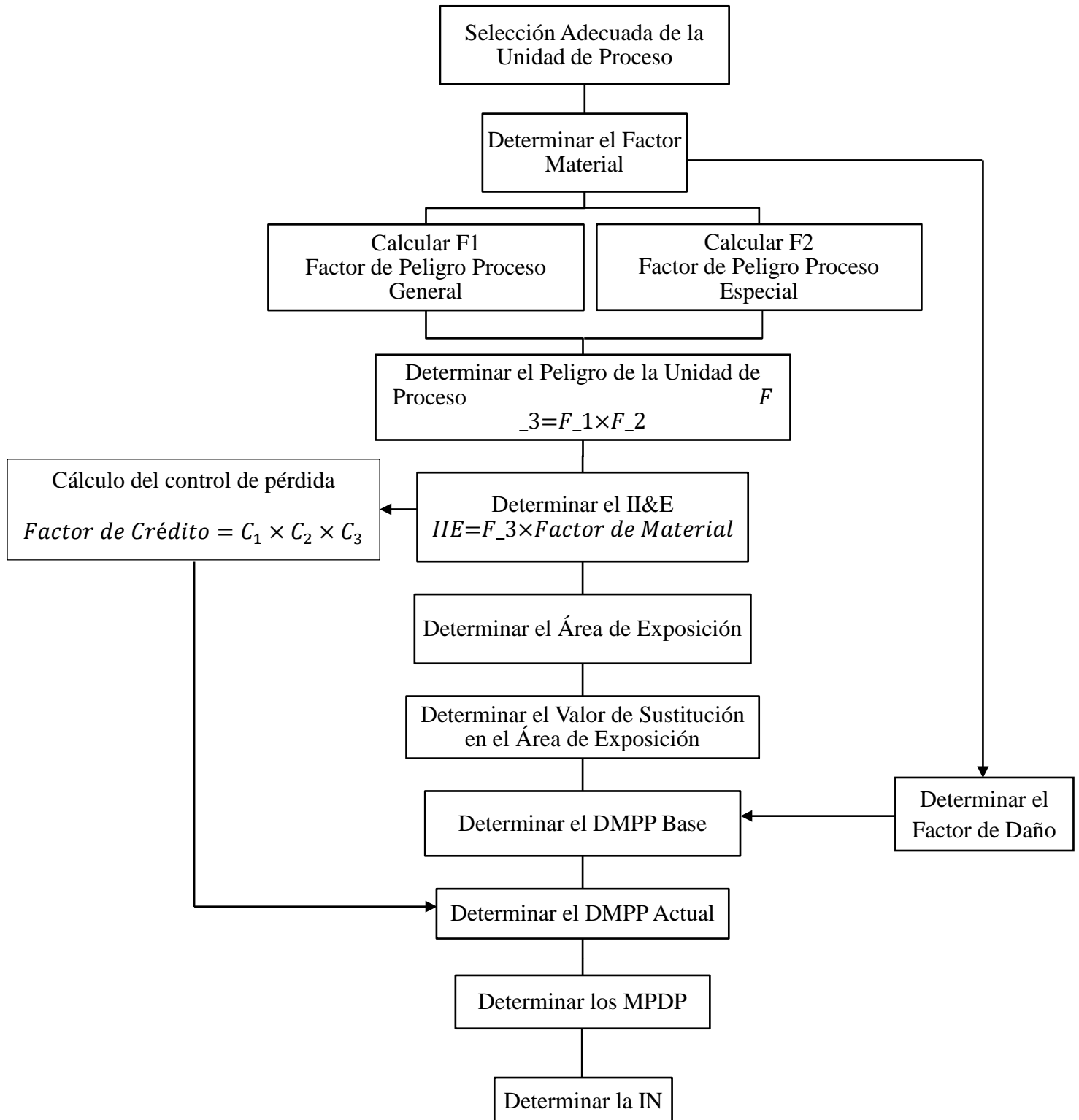
1. Plano exacto de la planta
2. Flujograma de procesos
3. *Guía del Índice de Clasificación de Peligros de Incendios y Explosiones*
4. Formulario para el Índice de Incendios y Explosiones (incluido en la Guía)
5. Formulario del Factor de Crédito del Control de Pérdidas (incluido en la Guía)
6. Formulario del Resumen del Análisis de la Unidad de Proceso (incluido en la Guía)
7. Formulario del Resumen del Análisis de Riesgo de la Unidad de Manufactura (incluido en la Guía)
8. Información del costo de sustitución del equipo de proceso instalado que está siendo estudiado

El orden del proceso que debe ser seguido es el siguiente:

1. Unidad de Proceso, se la debe seleccionar a través de un plano exacto de la planta, debe tomarse en cuenta cual tiene la mayor importancia y la que podría producir el mayor impacto en un potencial incendio u explosión.
2. Factor de Material (FM), se determinará para cada Unidad de Proceso. El FM específico de cada material de la Unidad de Proceso está dado en la Guía del II&E.
3. Factor de Peligro del Proceso General, para calcularlo se debe aplicar correctamente las penalidades del formulario proporcionado en la Guía del II&E.
4. Factor de Peligro del Proceso Especial, para calcularlo se debe aplicar correctamente las penalidades del formulario proporcionado en la Guía del II&E.
5. Factor de Peligro de la Unidad de Proceso, para calcularlo se debe multiplicar el Factor de Peligro del Proceso General por el Factor de Peligro del Proceso Especial.
6. Valor del II&E, para calcularlo se debe multiplicar el Factor de Peligro de la Unidad de Proceso por el Factor de Material.
7. Área de Exposición, para determinarla se debe tomar en cuenta los alrededores de la Unidad de Proceso que está siendo evaluada basándose en el Radio de Exposición que se incluye en la Guía del II&E.
8. Valor de Sustitución de los Equipos, para calcularlo se debe inventariar los equipos dentro del Área de Exposición.
9. Factor de Daño, representa el grado de exposición de pérdida, se lo determinará usando la Figura 8, que se encuentra en la Guía del II&E, la cual conjuga los valores del FM y el Factor de Peligro de la Unidad de Proceso (F_3).
10. Daño Máximo Probable a la Propiedad (DMPP) Base, se la calcula multiplicando el valor del Área de Exposición con el Factor de Daño.
11. Daño Máximo Probable a la Propiedad (DMPP) Actual, se calcula multiplicando el Factor de Crédito de Control de Pérdidas con el DMPP Base.
12. Máximos Probable de Días de Para (MPDP), se lo determina usando la Figura 9 incluida en la Guía de II&E.
13. Interrupción del Negocio (IN), se la determina usando la ecuación provista por la Guía II&E, en la cual se multiplica el MPDP por el valor de Valor de Producción Mensual (VPM) y por 0,70/30.

$$IN = \frac{MPDP}{30} \times VPM \times 0,70$$

PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN Y OTRA INFORMACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS



2.5 REFERENCIA LEGAL

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008

Art. 326.- El derecho al trabajo se sustenta en los siguientes principios:

5. Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar.

ACUERDO DE CARTAGENA

DECISIONES:

DECISIÓN 584

ACUERDO DE CARTAGENA

Sustitución de la Decisión 547, Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo

CAPÍTULO III

GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN LOS CENTROS DE TRABAJO - OBLIGACIONES DE LOS EMPLEADORES

Artículo 11.- En todo lugar de trabajo se deberán tomar medidas tendientes a disminuir los riesgos laborales. Estas medidas deberán basarse, para el logro de este objetivo, en

directrices sobre sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo y su entorno como responsabilidad social y empresarial.

Para tal fin, las empresas elaborarán planes integrales de prevención de riesgos que comprenderán al menos las siguientes acciones:

REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

Decreto Ejecutivo No. 2393

Registro Oficial No. 565

* Artículo 11. Obligaciones de los Empleadores

Son obligaciones generales de los personeros de las entidades y empresas públicas y privadas, las siguientes:

* Artículo 136. Almacenamiento, Manipulación y Trabajos en Depósitos de Materiales Inflamables

Artículo 153. Adiestramiento y Equipo.

1. Todos los trabajadores deberán conocer las medidas de actuación en caso de incendio, para lo cual:

CAPÍTULO II

INSTALACIÓN DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

Artículo 154. En los locales de alta concurrencia o peligrosidad se instalarán sistemas de detección de incendios, cuya instalación mínima estará compuesta por los siguientes elementos: equipo de control y señalización, detectores y fuente de suministro.

CAPÍTULO III

INSTALACIÓN DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Artículo 155.

Se consideran instalaciones de extinción las siguientes: bocas de incendio, hidrantes de incendios, columna seca, extintores y sistemas fijos de extinción.

Artículo 156. Bocas de Incendio.

Estarán provistos de los elementos indispensables para un accionamiento efectivo, de acuerdo a las normas internacionales de fabricación.

La separación máxima entre dos bocas de incendio equipadas será de 50 metros.

TÍTULO VI

PROTECCIÓN PERSONAL

Artículo 175. Disposiciones Generales.

1. La utilización de los medios de protección personal tendrá carácter obligatorio en los siguientes casos:

* Artículo 176. Ropa de Trabajo.

1. Siempre que el trabajo implique por sus características un determinado riesgo de accidente o enfermedad profesional, o sea marcadamente sucio, deberá utilizarse ropa de trabajo adecuada que será suministrada por el empresario.

Igual obligación se impone en aquellas actividades en que, de no usarse ropa de trabajo, puedan derivarse riesgos para el trabajador o para los consumidores de alimentos, bebidas o medicamentos que en la empresa se elaboren.

REGLAMENTO SUSTITUTIVO DEL REGLAMENTO AMBIENTAL PARA LAS OPERACIONES HIDROCARBURÍFERAS EN EL ECUADOR

Decreto Ejecutivo No. 1215

Registro Oficial No. 265

5. Fecha : 13-FEB-2001

Art. 25.- Manejo y almacenamiento de crudo y/o combustibles.- Para el manejo y almacenamiento de combustibles y petróleo se cumplirá con lo siguiente:

- a) Instruir y capacitar al personal de operadoras, subcontratistas, concesionarios y distribuidores sobre el manejo de combustibles, sus potenciales efectos y riesgos ambientales así como las señales de seguridad correspondientes, de acuerdo a normas de seguridad industrial, así como sobre el cumplimiento de los Reglamentos de Seguridad Industrial del Sistema PETROECUADOR vigentes, respecto al manejo de combustibles;
- b) Los tanques, grupos de tanques o recipientes para crudo y sus derivados así como para combustibles se regirán para su construcción con la norma API 650, API 12F, API 12D, UL 58, UL 1746, UL 142 o equivalentes, donde sean aplicables; deberán mantenerse herméticamente cerrados, a nivel del suelo y estar aislados mediante un material impermeable para evitar filtraciones y contaminación del ambiente, y rodeados de un cubeto técnicamente diseñado para el efecto, con un volumen igual o mayor al 110% del tanque mayor;
- c) Los tanques o recipientes para combustibles deben cumplir con todas las especificaciones técnicas y de seguridad industrial del Sistema PETROECUADOR, para evitar evaporación excesiva, contaminación, explosión o derrame de combustible. Principalmente se cumplirá la norma NFPA-30 o equivalente;
- d) Todos los equipos mecánicos tales como tanques de almacenamiento, tuberías de productos, motores eléctricos y de combustión interna estacionarios así como compresores, bombas y demás conexiones eléctricas, deben ser conectados a tierra;
- e) Los tanques de almacenamiento de petróleo y derivados deberán ser protegidos contra la corrosión a fin de evitar daños que puedan causar filtraciones de petróleo o derivados que contaminen el ambiente;
- f) Los sitios de almacenamiento de combustibles serán ubicados en áreas no inundables. La instalación de tanques de almacenamiento de combustibles se realizará en las condiciones de seguridad industrial establecidas reglamentariamente en cuanto a capacidad y distancias mínimas de centros poblados, escuelas, centros de salud y demás lugares comunitarios o públicos;

- g) Los sitios de almacenamiento de combustibles y/o lubricantes de un volumen mayor a 700 galones deberán tener cunetas con trampas de aceite. En plataformas off-shore, los tanques de combustibles serán protegidos por bandejas que permitan la recolección de combustibles derramados y su adecuado tratamiento y disposición; y,
- h) Cuando se helitransporten combustibles, se lo hará con sujeción a las normas de seguridad OACI.

Art. 26.- Seguridad e higiene industrial.- Es responsabilidad de los sujetos de control, el cumplimiento de las normas nacionales de seguridad e higiene industrial, las normas técnicas INEN, sus regulaciones internas y demás normas vigentes con relación al manejo y la gestión ambiental, la seguridad e higiene industrial y la salud ocupacional, cuya inobservancia pudiese afectar al medio ambiente y a la seguridad y salud de los trabajadores que prestan sus servicios, sea directamente o por intermedio de subcontratistas en las actividades hidrocarburíferas contempladas en este Reglamento.

Es de su responsabilidad el cumplimiento cabal de todas las normas referidas, aún si las actividades se ejecutan mediante relación contractual con terceros.

Toda instalación industrial dispondrá de personal profesional capacitado para seguridad industrial y salud ocupacional, así como de programas de capacitación a todo el personal de la empresa acorde con las funciones que desempeña.

CAPÍTULO IX

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS Y SUS DERIVADOS

Art. 69.- Disposiciones generales.- Se observarán todas las disposiciones generales establecidas en el Capítulo IV de este Reglamento en cuanto sean pertinentes.

Art. 70.- Estudios Ambientales.- Se presentarán los Estudios Ambientales del área de influencia, incluyendo una actualización y/o profundización del Diagnóstico Ambiental-Línea Base, para la construcción de ductos (oleoductos principales y secundarios,

gasoductos y poliductos, estaciones de bombeo) e instalaciones para el almacenamiento de petróleo y sus derivados. Además de lo establecido en el artículo 41 de este Reglamento, deberá presentarse la siguiente descripción específica de las actividades del proyecto para esta fase:

Descripción del Proyecto:

- 1) Localización, diseño conceptual, trazado, construcción, derechos de vía y habilitación de la superficie para construcción de ductos, estaciones y terminales de almacenamiento y otras instalaciones de almacenamiento y transporte de petróleo y/o sus derivados y afines.
- 2) Fuentes de materiales, así como tratamiento y disposición de desechos.
- 3) Trazado y construcción de líneas de flujo y troncales.
- 4) Construcción y montaje de equipos.
 - 4.1) Infraestructura, almacenamiento, transporte y comercialización.
- 5) Captación y vertimiento de agua.
- 6) Análisis de alternativas.

Art. 71.- Tanques de almacenamiento.- Para los tanques de almacenamiento del petróleo y sus derivados, además de lo establecido en el artículo 25, se deberán observar las siguientes disposiciones:

a) Tanques verticales API y tanques subterráneos UL:

- a.1) El área para tanques verticales API deberá estar provista de cunetas y sumideros interiores que permitan el fácil drenaje, cuyo flujo deberá controlarse con una válvula ubicada en el exterior del recinto, que permita la rápida evacuación de las aguas lluvias o hidrocarburos que se derramen en una emergencia, y deberá estar conectado a un sistema de tanques separadores.
- a.2) Entre cada grupo de tanques verticales API deberá existir una separación mínima igual al $\frac{1}{4}$ de la suma de sus diámetros, a fin de guardar la debida seguridad.

a.3) Los tanques de almacenamiento deberán contar con un sistema de detección de fugas para prevenir la contaminación del subsuelo. Se realizarán inspecciones periódicas a los tanques de almacenamiento, construcción de diques y cubetos de contención para prevenir y controlar fugas del producto y evitar la contaminación del subsuelo, observando normas API o equivalentes.

a.4) Las tuberías enterradas deberán estar debidamente protegidas para evitar la corrosión, y a por lo menos 0.50 metros de distancia de las canalizaciones de aguas servidas, sistemas de energía eléctrica y teléfonos.

a.5) Cada tanque estará dotado de una tubería de ventilación que se colocará preferentemente en área abierta para evitar la concentración o acumulación de vapores y la contaminación del aire;

b) Recipientes a presión para GLP:

b.1) Las esferas y los tanques horizontales de almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) deberán estar fijos sobre bases de hormigón y mampostería sólida, capaces de resistir el peso del tanque lleno de agua, a fin de garantizar su estabilidad y seguridad y así evitar cualquier accidente que pudiera causar contaminación al ambiente.

b.2) Todas las operaciones de mantenimiento que se realicen en tanques de almacenamiento de combustibles y/o esferas de GLP, se ejecutarán bajo los condicionantes de las normas de seguridad del sistema PETROECUADOR, a fin de evitar cualquier derrame o fuga que pudiera afectar al ambiente;

c) Transporte de hidrocarburos y/o sus derivados costa afuera

c.1) El transporte de hidrocarburos y/o sus derivados costa afuera, a través de buque tanques, se realizará sujetándose a lo establecido por la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral, como autoridad marítima nacional responsable de la prevención y control de la contaminación de las costas y aguas nacionales.

c.2) Semestralmente durante los meses de junio y diciembre, la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral presentará a la Subsecretaría de Protección Ambiental a través de la Dirección Nacional de

Protección Ambiental un informe de las medidas ambientales aplicadas durante las actividades de transporte para el respectivo control y seguimiento; y,

d) Disposiciones generales para todo tipo de instalaciones:

d.1) Mantener las áreas de las instalaciones industriales vegetadas con mantenimiento periódico para controlar escorrentías y la consecuente erosión.

d.2) Se presentará anualmente un informe de inspección y mantenimiento de los tanques de almacenamiento a la Subsecretaría de Protección Ambiental, así como sobre la operatividad del Plan de Contingencias incluyendo un registro de entrenamientos y simulacros realizados con una evaluación de los mismos.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO DE FUEGO EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO

3.1 MODELACIÓN METODO DOW'S

El petróleo, en todos sus tipos, está compuesto principalmente por hidrocarburos y en una menor cantidad por azufre y oxígeno.

Contiene elementos líquidos y gaseosos, su consistencia puede variar desde un líquido con poca viscosidad como la gasolina hasta unos muy viscosos.

A continuación se indica la composición básica del petróleo:

Elemento	Peso %
Carbono	84 – 87
Hidrógeno	11 – 14
Azufre	0 – 2
Nitrógeno	0,2

Tabla 5. Composición básica del petróleo.¹⁶

La densidad del petróleo oscila entre 0,75 y 0,95 [g/ml]. Su color puede variar desde el amarillo pardusco hasta el negro.

¹⁶ <http://mediateca.cl/500/540/quimica/petroleo/componentes%20quimicos%20del%20petroleo.htm>

La clasificación del petróleo variar según el tipo de hidrocarburos que predominan:

- Petróleo a base parafínica (fluidos)
- Petróleo a base asfáltica (viscoso)
- Petróleo a base mixta

Densidad relativa:	1,42
Peso molecular promedio [g/gmol] :	40,51
Poder calórico del gas [Btu/pie3] :	2122,8

Tabla 6. Datos del petróleo.¹⁷

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Gravedad Especifica	-	PNE/DPEC/P/ ASTM D 287	0,9365
Densidad API a 60° F	°API	PNE/DPEC/P/ ASTM D 287	19,6
API Seco a 60° F	°API	PNE/DPEC/P/ ASTM D 287	19,6

Tabla 7. API de petróleo en estudio.¹⁸

Como se puede observar de los parámetros mostrados en la tabla 7, el petróleo tiene un API de 19,6 determinado a 60 °F.

¹⁷ Ing. L. Mera, 2013, **Reporte de análisis por cromatografía de gases de una muestra de gases de pozo**, pág. 1

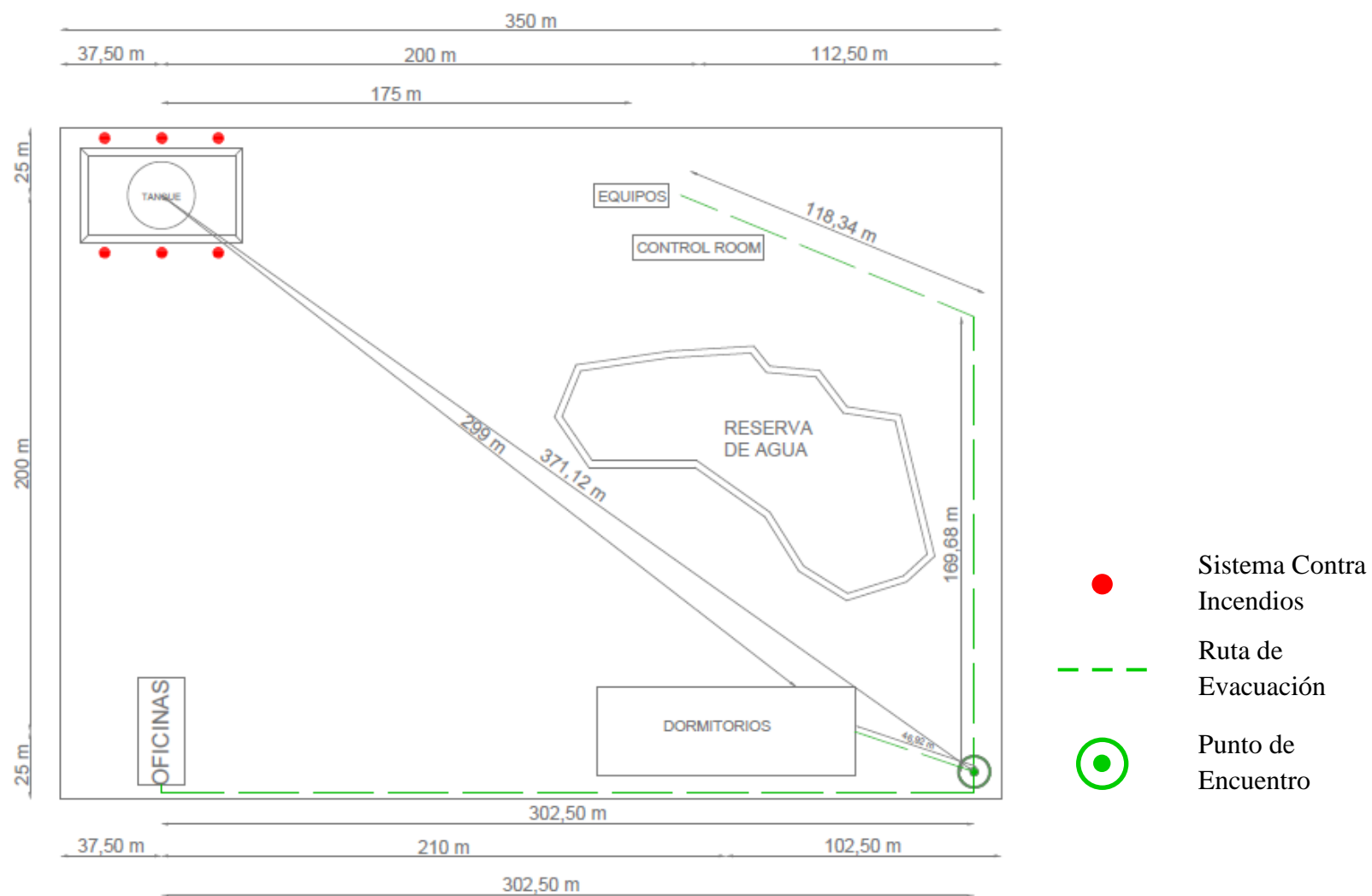
¹⁸ Ing. L. Mera, 2013, **Reporte de análisis por cromatografía de gases de una muestra de gases de pozo**, pág. 2.

APÉNDICE A PROPIEDADES Y FACTOR MATERIAL							
COMPUESTO	FM	H _C BTU/LB X 10 ³	Clasificación NFPA			Punto de Inflamación (°C)	Punto de Ebullición (°C)
			N(H)	N(F)	N(R)		
Petróleo - Crudo	16	21,3	1	3	0	-7/32	-

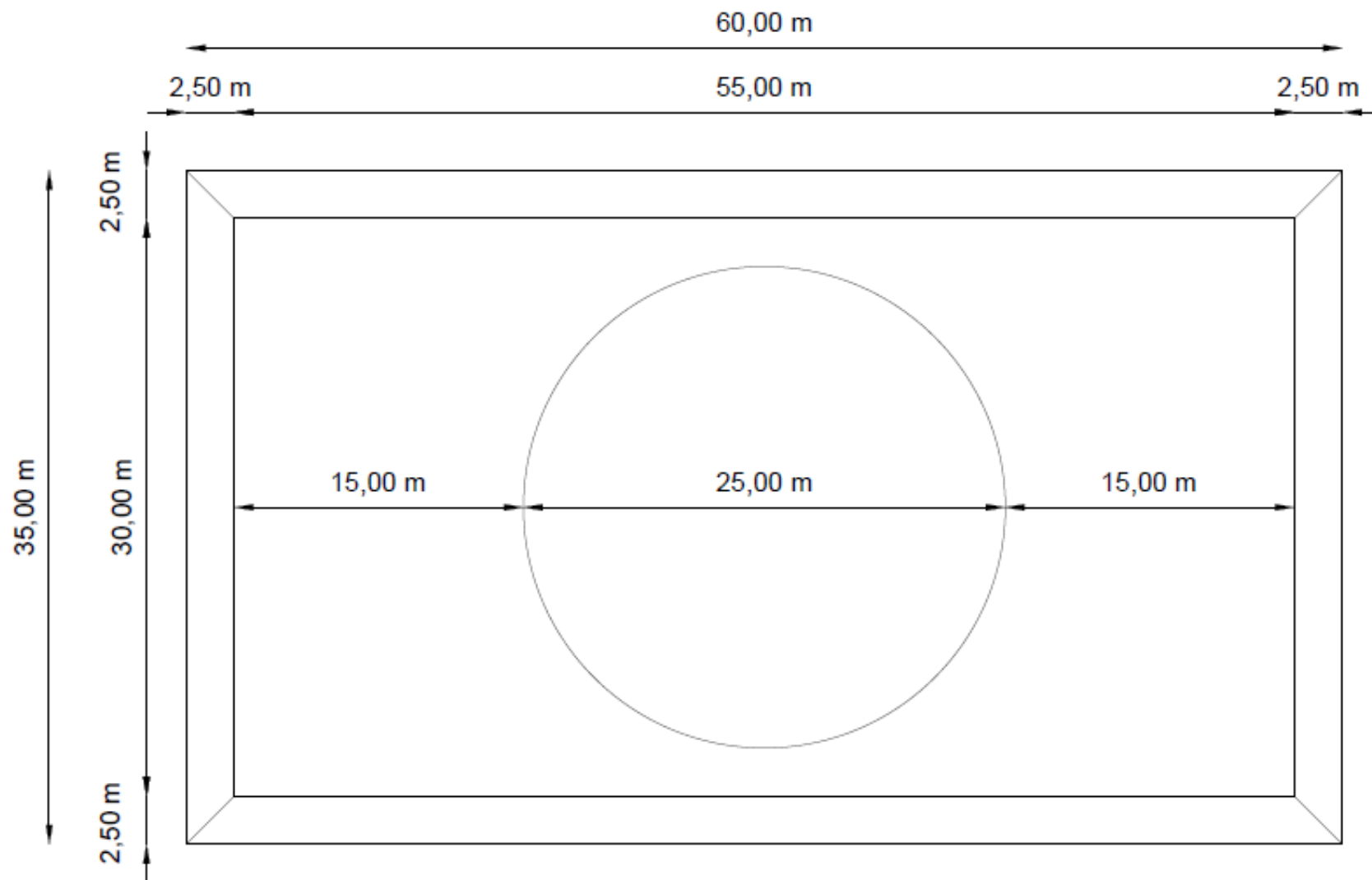
Tabla 8. Factor Material y Propiedades.¹⁹

A continuación se presenta una planimetría de la estación de almacenamiento de petróleo, objeto de este estudio, donde se observa la ubicación del tanque de almacenamiento con las respectivas distancias a las instalaciones de la estación.

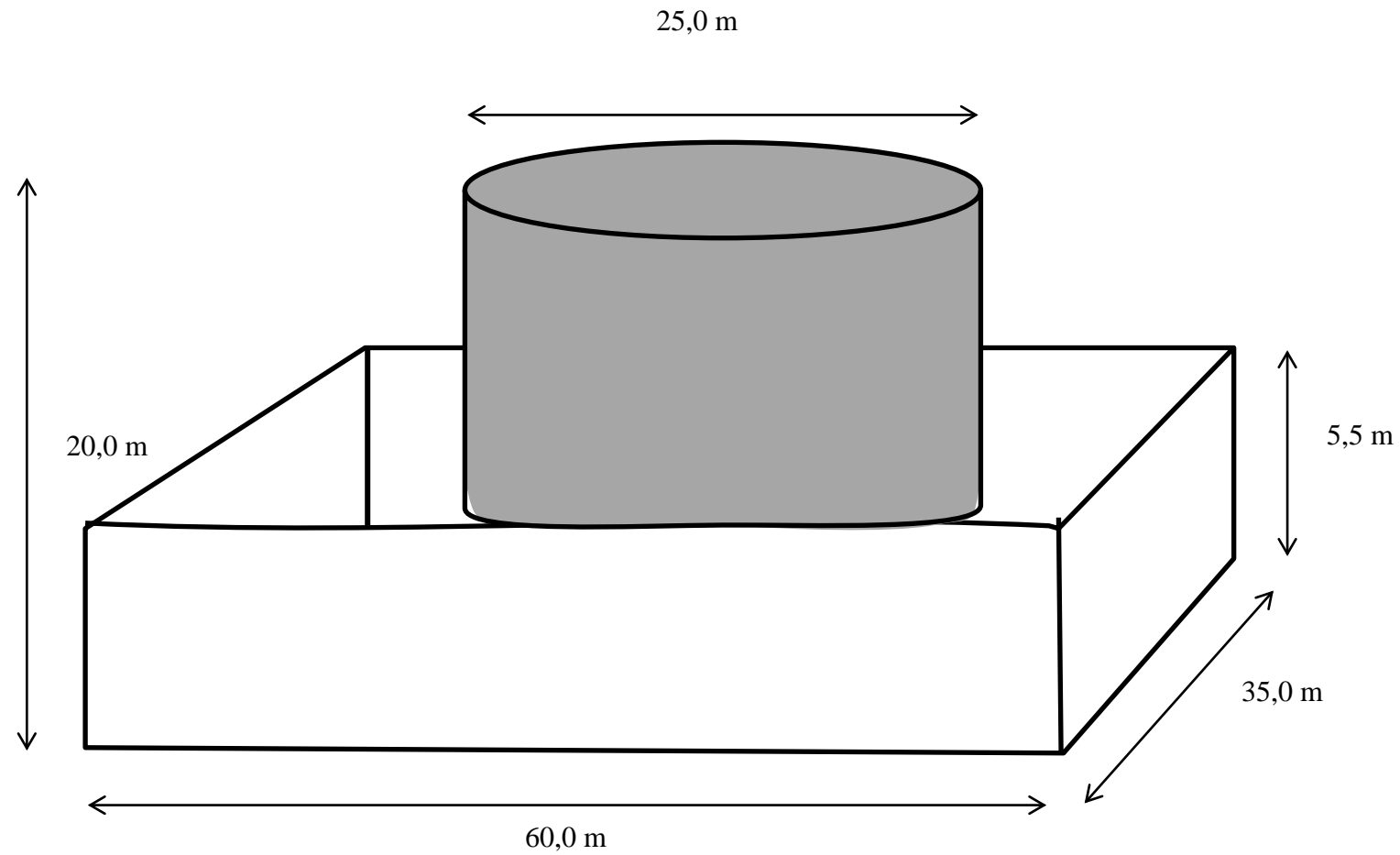
¹⁹ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 69.



Plano 1. Estación de Almacenamiento de Petróleo



Plano 2. Planimetría del tanque y cubeto de almacenamiento de petróleo



Plano 3. Altimetría del tanque de almacenamiento y cubeto de almacenamiento de petróleo

DETERMINACIÓN DE LA UNIDAD DE PROCESO PERTINENTE

Para que el Índice de Incendios y Explosiones (II&E) se determine adecuadamente es muy importante una selección eficiente y lógica de la Unidad de Procesos, en esta selección es importante tomar en cuenta todos los sub-procesos que se incluyan en dicha Unidad.

Existen diversos factores que deben ser tomados en cuenta:

- a. Potencial energético del químico (Factor de Materia)
- b. Cantidad de material peligroso en la Unidad de Proceso
- c. Densidad capital (dólares por metro cuadrado)
- d. Presión y temperatura del proceso
- e. Historial de problemas que dieron como resultado incendios y explosiones
- f. Unidades críticas para la operación de la planta

Es muy importante tomar en cuenta en qué fase se encuentra la Unidad de Proceso, es decir, arranque, operación normal, apagado, llenado, vaciado, entre otras.

Tomando en consideración los factores antes mencionados, la unidad de proceso que se evaluará es el Tanque de Almacenamiento de Petróleo de la estación de almacenamiento en operación normal, el cual tiene una capacidad total de 62.000 bls.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MATERIAL

El Factor de Material (FM) mide el rango de la potencia energética liberada en un incendio o explosión por una reacción química o de combustión. Para obtener el valor del FM se deben tomar en cuenta los valores de N_F y N_R , los mismos que son dados por la NFPA, siendo estos valores de Flamabilidad y Reactividad respectivamente.

Para poder determinar adecuadamente el FM, se debe tomar en cuenta la temperatura del material en proceso, en este caso la del petróleo, si la misma supera los 60 °C se debe realizar un ajuste.

En el presente caso de estudio el petróleo se encuentra almacenado a una temperatura de entre 68 y 74 °C, por lo cual se realizará el ajuste pertinente.

El FM del petróleo está dado en la tabla del Apéndice A, Factor de Material y Propiedades, de la Guía del II&E.²⁰

APÉNDICE A FACTOR MATERIAL Y PROPIEDADES

COMPUESTO	FM
Petróleo - Crudo	16

Se realiza el ajuste usando la Tabla 2 que se encuentra en la Guía del II&E.²¹

TABLA 2

AJUSTE DE TEMPERATURA DEL FACTOR DE MATERIAL	N _F	N _R
a. Ingresar N _F y N _R .	3	0
b. Si la temperatura es menor a 60 °C, ir al punto “e”.		
c. Si la temperatura es superior al Punto de Inflamación o si es mayor a 60 °C ingresar 1 en la fila de N _F .	1	
d. Si la temperatura exotérmica de arranque es mayor a la de autoignición, ingresar 1 en la columna de N _R .		1
e. Sumar las dos columnas, pero ingresar 4 si la suma es 5.	4	1
f. Usando “e.” y la Tabla 1, determinar el Factor de Material (FM) e ingresarlo en la forma del II&E y el Resumen del Análisis del Riesgo de la Unidad de Manufactura.		

Con los nuevos valores de N_F = 4 y N_R = 1 que determinamos usando la Tabla 2, ingresamos a la Tabla 1 que se encuentra en la Guía de II&E.²²

²⁰ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW’S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 69.

²¹ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW’S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 14.

²² American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW’S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 13.

TABLA 1

GUÍA DE DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE MATERIAL

Gases & Líquidos Inflamables o Combustibles	NFPA 325M o 49	Reactividad o Inestabilidad				
		$N_R = 0$	$N_R = 1$	$N_R = 2$	$N_R = 3$	$N_R = 4$
No combustible	$N_F = 0$	1	14	24	29	40
$P.I. > 93,3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$N_F = 1$	4	14	24	29	40
$P.I. > 37,8\text{ }^{\circ}\text{C} \leq 93,3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$N_F = 2$	10	14	24	29	40
$P.I. \geq 22,8\text{ }^{\circ}\text{C} < 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $P.I. < 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ & $P.E. \geq 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$N_F = 3$	16	16	24	29	40
$P.I. < 22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ & $P.E. < 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$N_F = 4$	21	21	24	29	40

P.I. = Punto de Inflamación P.E. = Punto de Ebullición a una Temperatura y Presión Estándar

Los valores de N_R y el N_F que nos indica la Tabla 1 en la Guía de II&E son basados en el estándar de NFPA 704: Norma para la Identificación de Peligros de los Materiales y para Respuesta de Emergencia; para N_R . La NFPA 49: Tabla de Productos Químicos Comunes y NFPA 325M: Propiedades de los Peligros de Incendios de Líquidos, Gases Inflamables y Sólidos Volátiles; para N_F .

Una vez realizado el ajuste usando las Tablas 1 y 2 podemos determinar el valor final de FM.

FM = 21.

FACTOR DE PELIGRO DE LA UNIDAD DE PROCESO

Después de determinar el Factor del Material (FM), se debe determinar el Factor de Peligro de la Unidad de Proceso (F_3), el cual se debe multiplicar con el FM para obtener el Índice de Incendios y Explosiones (II&E).

Para obtener el valor del Factor de Peligro de la Unidad de Proceso es necesario obtener primero el valor del Factor de Peligros Generales del Proceso y el Factor de Peligro Especial del Proceso.

FACTOR DE PELIGROS GENERALES DEL PROCESO

Al determinar este valor obtenemos factores muy importantes para determinar la magnitud de las pérdidas en un incidente.

Esta sección se divide en seis ítems, los cuales han sido determinados a través del historial de incendios y explosiones. No siempre se aplican penalidades para cada ítem.

Es importante realizar la evaluación de la Unidad de Proceso mientras se encuentra en una operación normal.

A continuación se muestra la determinación de las penalidades seleccionadas, de acuerdo a las condiciones reales que se presentan en el presente estudio.

A. Reacciones Químicas Exotérmicas

2. **EXOTÉRMICAS MODERADAS** Normalmente se aplica una penalidad de 0,50, sin embargo, se deben considerar casos especiales en los cuales puede variar el valor de la penalidad.

d. Oxidación – Combinación de sustancias con oxígeno a través de la combustión, liberando CO_2 y H_2O o una reacción controlada de sustancias con oxígeno que nos dan como resultado CO_2 ni H_2O . Para procesos de combustión y cuando son usados agentes oxidantes vigorosos como cloratos, ácido nítrico, ácido hipocloroso y sales, **aumentar la penalidad a 1,00.**

B. Procesos Endotérmicos

1. **Calcinación** – Calentar el material para remover el agua enlazada químicamente u otro material volátil. Generalmente requiere un **penalidad de 0,40**

C. Transferencia y Manipulación del Material

1. Cualquier operación de carga o descarga que incluya material inflamable Clase I o GLP (Gas Licuado de Petróleo) donde las líneas de transferencia estén conectadas y desconectadas, reciben un **penalidad de 0,50.**

D. Unidades de Proceso Cerradas o Cubiertas

Una unidad de proceso cerrada es definida como cualquier área cubierta por un techo con tres o más paredes a su alrededor, también puede ser un estructura sin techo pero rodeada de cuatro muros.

Debido a que el tanque se encuentra a la intemperie y no está encerrado o bajo techo, esta **penalidad no aplica, se ingresa 0,00.**

E. Accesos

El tanque de almacenamiento del presente estudio cumple y sobrepasa las exigencias mínimas que se evalúan en este punto:

Equipo de emergencia ubicado en una zona de fácil alcance de la Unidad de Proceso. Un acceso en los lados es lo mínimo necesario.

Al menos un acceso pavimentado.

Al cumplir con estos requisitos la **penalidad es de 0,00.**

F. Control de Derrames y Drenaje

En esta sección se evalúa el diseño y la eficiencia del cubeto que se encuentra alrededor de la Unidad de Proceso, en el caso de presentarse un derrame y su posterior drenaje.

Esta penalidad se aplica sólo si la temperatura del material en la Unidad de Proceso está sobre su Punto de Inflamación, como es el caso en estudio.

Para determinar este factor es necesario saber si el cubeto soporta y drena la totalidad del volumen del material inflamable/combustible y el volumen del agua necesaria para combatir el incendio.

1. Para calcular la capacidad de drenaje del cubeto se debe realizar los siguientes pasos:

- a. Para procesos de almacenamiento se debe usar el 100% de la capacidad del tanque más el 10% del mismo.

Volumen del 100% Tanque:

$$V = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times h$$

$$V = \frac{25^2 \times \pi}{4} \times 20$$

$$V = 9\,817,47\,m^3$$

Volumen del 100% Tanque más el 10%:

$$V_1 = 9\,817,47 \times 1,10$$

$$V_1 = 10\,799,21\,m^3$$

- b.** Para saber el volumen del agua contra incendios se asume un flujo de 30 minutos de agua:

$$V_2 = 30\,min \times gl/min$$

Donde:

$gl/min = 350\,gl/min$. (Por cada monitor contra incendios)

Hay 6 monitores:

$$gl/min\,6\,monitores = 350\,gl/min \times 6$$

$$gl/min\,6\,monitores = 2100\,gl/min$$

$$V_2 = 30\,min \times 2100\,gl/min$$

$$V_2 = 63\,000\,gl$$

$$V_2 = 238\,140\,l$$

$$V_2 = 238,14\,m^3$$

Volumen Total:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 10\,799,21 + 238,14$$

$$V_T = 11\,037,35\,m^3$$

Volumen del cubeto:

$$V = l \times a \times h$$

$$V = 60 \times 35 \times 5,5$$

$$V = 11\,550\,m^3$$

2. Selección de la Penalidad:

Como el volumen del cubeto ($11\,550\,m^3$) es superior al volumen total de petróleo en el tanque más el volumen del agua utilizada en 30 min ($11\,037,35\,m^3$) **la penalidad es la menor, 0,25.**

Una vez determinados todos los valores de los factores de Peligros Generales del Proceso, se debe realizar la suma de estos Factores Base, la cual debe ser ingresada en la sección del Factor de Peligros Generales del Proceso (F_1), en el formato del Índice de Incendios y Explosiones.

$$F_1 = 2,15$$

FACTOR DE PELIGROS ESPECIAL DEL PROCESO

Los procesos peligrosos especiales son factores que contribuyen principalmente al incidente de pérdida. Están compuestos por condiciones específicas del proceso que son las principales causas de incendios y explosiones.

Están distribuidas en esta sección a través de doce ítems:

A. Material(es) Tóxico(s)

Los materiales tóxicos pueden limitar o complicar la respuesta del personal de emergencia, disminuyendo así su habilidad para investigar los daños producidos por un incidente.

Para determinar la penalidad se aplica la siguiente fórmula:

$$Penalidad = 0,20 \times N_H$$

Donde:

N_H = Es el factor de salud, determinado por la NFPA 704

En el caso del petróleo el N_H se encuentra en el Apéndice A de la Guía II&E²³.

$$N_H = 1$$

$$Penalidad = 0,20 \times 1$$

$$Penalidad = 0,20$$

B. Presión Sub-Atmosférica

Esta penalidad se aplica si la presión absoluta es menor a 500 mm Hg.

En el área donde se encuentra el tanque de almacenamiento la presión es de 760 mm Hg, por lo tanto **la penalidad es 0,00.**

C. Operaciones en o cerca del Rango Inflamable

Se debe determinar usando la Guía de II&E para determinar que condición es la que cumple con las características del área de estudio, en este caso es la siguiente:

3. Procesos u operaciones que por su naturaleza están siempre en o cerca al Rango de Inflamabilidad, ya sea porque la purga no es parcial o no se decidió purgar, recibe una **penalidad de 0,80.**

D. Explosiones de Polvo

Este ítem no aplica al estudio (0,00) ya que el petróleo no produce nubes de polvo.

E. Presión de Desfogue

El tanque de almacenamiento dispone de techo flotante por lo que se puede asumir que la presión interior del mismo es igual a la presión atmosférica, en consecuencia, **no se aplica ninguna penalidad para este ítem, 0,00.**

²³ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 69.

F. Temperaturas Bajas

Si la temperatura de operación, tanto en condiciones normales como anormales, es mayor a las temperaturas de ductilidad de los materiales no se aplica penalidad alguna.

El proceso de almacenamiento de petróleo se realiza a temperaturas que oscilan entre 68 °C y 74 °C, por lo que **no se aplica ninguna penalidad, 0,00**.

G. Cantidad de Material Inflamable/Inestable

En esta área se considera la cantidad de material inflamable o inestable en la unidad de proceso, ya que, dependiendo de esta, el área de exposición puede incrementarse.

Existen tres categorías en este ítem, la siguiente es la que se aplica al caso en estudio.

2. Almacenamiento de Líquidos o Gases

Para obtener la penalidad en este ítem es necesario calcular el BTU total del material en la Unidad de Proceso, una vez calculado el BTU total se lo debe multiplicar por el factor H_c , el cual se encuentra en el Apéndice A de la Guía del II&E. Finalmente, con el valor obtenido se obtiene la penalidad usando la Figura 4 de la Guía del II&E.

Densidad del Petróleo = 850 kg/m³

$$M = V \times d$$

Donde:

M = Masa [lb]

V = Volumen [m³]

d = Densidad [kg/m³]

$$M = 7155 \text{ m}^3 \times 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$M = 6\,081\,750 \text{ kg}$$

$$M = 13\,379\,850 \text{ lb}$$

$$BTU \text{ total} = M \times H_c \times 10^3$$

$$BTU \text{ total} = 13\,379\,850 \text{ lb} \times 21,3 \times 10^3 \text{ BTU/lb}$$

$$BTU \text{ total} = 284\,990\,805 \times 10^3 \text{ BTU}$$

$$BTU \text{ total} = 284 \times 10^9 \text{ BTU}$$

Con este valor se ingresa a la Figura 4 – Líquidos o Gases en Almacenamiento.²⁴

En vista de que el valor máximo de la abscisa es de $100 \times 10^9 \text{ BTU}$, se asume un valor de **penalidad igual a 1,2** que es el valor máximo de la curva B Líquidos Inflamables Clase I (P.I. < 37,8 °C).

H. Corrosión y Erosión

La tasa de corrosión medida anualmente en el tanque está sobre el orden de 0,17 mm/año y menor a 0,254 mm/año. Por lo que se asume una **penalidad de 0,20**.

I. Fugas - Uniones y Empaques

Las uniones y los empaques son elementos por los cuales se pueden producir fugas del material inflamable o combustible, en especial en procesos que incluyan ciclos con presión. Con las condiciones que se presentan en el tanque de almacenamiento de petróleo la siguiente penalidad es la que aplica.

3. Procesos en los cuales ocurren ciclos Térmicos o de Presión, **se aplica la penalidad de 0,30**.

J. Uso de Equipos que Funcionen con Combustible

El uso de equipos que funcionan con combustible incrementa la probabilidad de ignición si se diera la fuga de líquidos inflamables, tales como el petróleo.

Para determinar esta penalidad se debe conocer la distancia a la que se encuentra el equipo que funciona con combustible de la unidad de proceso, la cual está

²⁴ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 29.

determinado en la Figura 6 de la Guía del II&E ²⁵, la cual nos muestra dos curvas, la A-1 y la A-2.

Para el presente estudio se aplica la siguiente:

1. Curva A-1

- a) Para cualquier Unidad de Proceso en la cual el material del Factor Material puede ser liberado sobre su Punto de Inflamación.

Distancia del generador (equipo que funciona con combustible) = 200 m. = 656,17 ft.

La penalidad que se aplica es de 0,10.

K. Sistema de Intercambio de Calor de Crudo Caliente

Este ítem no aplica (0,00), ya que en la Unidad de Proceso el petróleo sólo es almacenado y no cumple ningún otro proceso en el cual se involucre el intercambio de calor.

L. Equipo Rotatorio

Este ítem no aplica (0,00), ya que en la Unidad de Proceso no existen equipos rotatorios, ya sean estas bombas o compresores.

Una vez obtenidas todas las penalidades de los ítems del Peligros Generales del Proceso, se realiza la suma de cada ítem y se obtiene el valor del Factor de Peligros Especiales del Proceso (F_2), para ingresarlo posteriormente en el formato del Índice de Incendios y Explosiones.

$$F_2 = 2,80$$

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE PELIGROS DE LA UNIDAD DE PROCESOS

²⁵ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 34.

Los valores de F_1 (Factor de Peligros Generales del Proceso) y F_2 (Factor de Peligros Especiales del Proceso) se los multiplica y se obtiene el valor del Factor de

Peligros de la Unidad de Proceso, F_3 , el mismo que debe ser ingresado en el formato del Índice de Incendios y Explosiones.

$$F_3 = F_1 \times F_2$$

$$F_3 = 2,15 \times 2,80$$

$$F_3 = 6,02$$

El valor de F_3 normalmente no debe exceder de 8,00.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Finalmente, para obtener el valor Índice de Incendios y Explosiones que se encuentra en el formato, se debe multiplicar F_3 por el Factor Material (FM).

$$II\&E = F_3 \times FM$$

$$II\&E = 6,02 \times 21$$

$$II\&E = 126,42$$

El valor del Índice de Incendios y Explosiones nos ayuda a determinar el daño que podría producirse si se da un incidente en la planta de procesos.

A continuación se presenta la Tabla 6 de la Guía del Índice de Incendios y Explosiones²⁶ (II&E), la cual determina un valor versus el grado del peligro.

TABLA 6

GRADO DEL PELIGRO DEL II&E

²⁶ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 38.

RANGO DEL II&E	GRADO DEL PELIGRO
1 – 60	Bajo
61 – 96	Moderado
97 – 127	Intermedio
128 – 158	Grave
159 - Superiores	Severo

Para el presente caso de estudio el valor del II&E es de 126,42, con lo cual el **Grado del Peligro es Intermedio**.

FACTOR DE CRÉDITO DEL CONTROL DE PÉRDIDA

Cada Unidad de Proceso que trabaja con material químico debe cumplir con ciertos requisitos de construcción. Adicionalmente, el criterio técnico basado en la experiencia beneficia tanto en el ámbito de prevención de incidentes serios como en la reducción de la probabilidad y la magnitud de un incidente en particular. Se determinan tres categorías en el Factor de Crédito de Control de Pérdida:

C₁ Control de Proceso

C₂ Material de Aislamiento

C₃ Protección Contra Incendios

Para determinar los valores del Formato del Factor de Crédito del Control de Pérdida se sigue el siguiente proceso:

1. Ingresar el valor apropiado del factor de crédito en cada ítem seleccionado.
2. Si no se aplica ningún factor de crédito, se debe ingresar 1,00 para el ítem seleccionado.
3. El valor de cada Factor de Crédito del Control de Pérdida es el resultado del producto de todos los factores usados en esa categoría.
4. Para determinar el valor total de Factor de Crédito del Control de Pérdida se debe realizar la multiplicación de $C_1 \times C_2 \times C_3$.

5. El valor total de Factor de Crédito del Control de Pérdida se debe ingresar en el formato dado por la Guía del II&E²⁷.

La selección de los factores de crédito tiene como objetivo determinar un valor económico realista en cuanto al DMPP.

1. Factor de Crédito del Control de Proceso

a. Energía de Emergencia – 0,98

En esta categoría se evalúa si la energía de emergencia es esencial para el funcionamiento de la Unidad de Proceso en caso de emergencia.

En el caso del tanque de almacenamiento la energía provista por un generador de emergencia es esencial por lo cual se toma un **factor de crédito de 0,98**.

b. Enfriamiento

En el caso del tanque de almacenamiento se cuenta con 6 monitores contra incendios, los cuales pueden proveer el 150% del enfriamiento requerido por al menos 10 minutos, con estos datos se determina que el **factor de crédito es de 0,97**.

c. Control de Explosiones

No se aplica para el caso de estudio. El valor del factor de **crédito es de 1,00 según lo explicado previamente**.

d. Apagado de Emergencia

En el caso del tanque de almacenamiento de petróleo, el equipo activa una alarma y después se inicia el apagado, por lo que el **factor de crédito es de 0,96**.

²⁷ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

e. Control Computarizado

El tanque de almacenamiento de petróleo cuenta con un sistema de entradas de campo críticas redundantes. Por lo que el **factor de crédito es de 0,93**.

f. Gas Inerte

En la Unidad de Proceso seleccionada se libera gas inerte pero no se puede regular la cantidad, se usa un **factor de crédito de 0,95**.

g. Proceso/Instrucciones de Operación

A continuación se detallan las instrucciones operativas que se consideran más importantes para el mantenimiento de la unidad:

1. Encendido – 0,5
2. Rutina de apagado – 0,5
3. Condiciones de operación normal – 0,5
4. Condiciones de operación de cobertura – 0,5
5. Condiciones de funcionamiento en espera – 0,5
6. Condiciones de funcionamiento mejorado – 1,0
7. Reiniciado poco después de un apagado – 1,0
8. Reiniciado de la planta post-mantenimiento – 1,0
9. Procesos de Mantenimiento – 1,5
10. Apagado de emergencia – 1,5
11. Adición o modificación de equipos/tuberías de la unidad de manufactura – 2,0
12. Situación de fallo anormales previsibles – 3,0

Se deben sumar todos los factores de crédito de las condiciones que cumplen con las instrucciones de operación. En el caso del tanque de almacenamiento cumple con todos los factores y se aplica la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ Crédito = 1,0 - \frac{x}{150}$$

$$\text{Factor de Crédito} = 1,0 - \frac{13,5}{150}$$

$$\text{Factor de Crédito} = 0,91$$

h. Revisión de reactivos químicos

Los operadores reciben capacitaciones de manejo de químicos que se emplean en su trabajo más de una vez al año. Por lo que el **factor de crédito es de 1,00 según lo explicado previamente.**

i. Otros análisis de riesgos del proceso

Se debe tomar un factor de crédito si se realizan otros tipos de análisis de riesgos del proceso, en este caso aplica el siguiente factor:

Evaluación mediante Lista de Chequeo, **factor de crédito de 0,98.**

Una vez calculado cada factor de crédito se los debe multiplicar y colocar el resultado en la celda del Factor de Crédito del Control del Proceso (C_1) del formato de la Guía del II&E.²⁸

$$\text{Factor de Crédito del control del Proceso } (C_1) = 0,72$$

2. Factor de Crédito del Material de Aislamiento

a. Válvulas de Control Remoto

El tanque de almacenamiento tiene válvulas que se operan desde una zona aislada y remota, las mismas que reciben un mantenimiento al menos anualmente. Se otorga un **factor de crédito de 0,96.**

b. Cubeto/Purga

²⁸ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

El cubeto está por fuera del área de la Unidad de Proceso y su diseño permite recibir directamente el contenido de la unidad, se usa un **factor de crédito de 0,96**.

c. Drenaje

El cubeto cumple con las siguientes normas de diseño: talud de al menos 2% direccionado a una zanja de drenaje de un tamaño adecuado, es decir que contenga el 100% de la capacidad del tanque más un 10% y al menos una hora de la cantidad de agua contra incendios rociada por los sprinklers. Se usa un **factor de crédito de 0,91**.

d. Bloqueo

El tanque dispone de un sistema de bloqueo que previene que se produzca un flujo incorrecto del material, se usa un **factor de crédito de 0,98**.

Una vez calculado cada factor de crédito se los debe multiplicar y colocar el resultado en la celda del Factor de Crédito del Material de Aislamiento (C_2) del formato de la Guía del II&E.²⁹

Factor de credito del Material de Aislamiento (C_2) = 0,82

3. Factor de Crédito de la Protección Contra Incendios

a. Detección de Fuga

El tanque de almacenamiento cuenta con un sistema de detección de fuga de gas que da una alarma y además activa un sistema de protección que se activa antes de que se alcance el límite inferior de inflamabilidad. Por lo tanto, el **factor de crédito a usar es de 0,94**.

²⁹ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

b. Estructura de acero

El tanque de almacenamiento de petróleo no se encuentra cubierto por ningún tipo de estructura metálica, por lo que el factor de crédito no aplica, **por lo que se ingresa 1,00 según lo explicado previamente.**

c. Suministro de agua contra incendios

La presión del agua contra incendios es de 100 psig (690 kPa), por lo que el **factor de crédito que se usa es de 0,94.**

d. Sistemas especiales

El tanque se encuentra rodeado por un cubeto que está construido bajo las normas establecidas por lo que el **factor de crédito es de 0,91.**

e. Sistemas de rociadores

El tanque no se encuentra en un lugar cerrado con cubierta en el cual se puedan instalar rociadores, por lo que este factor de crédito no aplica, **por lo que se ingresa 1,00 según lo explicado previamente.**

f. Cortinas de agua

Se tiene la fuente de agua que produce la cortina a una distancia de 5 m, a esta distancia el **factor de crédito es de 0,98.**

g. Espuma

El sistema de detección de incendios instalado en el tanque de almacenamiento de petróleo con techo flotante cumple con la función de accionar el sistema de espuma, por lo que **el factor de crédito que se usa es de 0,94.**

h. Extintores/monitores de mano

Al tener una cantidad tan grande de material inflamable en el tanque, (62.000 bls.), no es efectivo combatir un incendio con extintores, por lo que este factor de crédito no aplica, **por lo que se ingresa 1,00 según lo explicado previamente.**

i. Protección para el cableado

El canal para cables del tanque de almacenamiento se encuentra enterrado bajo la gradiente de la fosa, se usa un **factor de crédito de 0,94**.

Una vez calculado cada factor de crédito se los debe multiplicar y colocar el resultado en la celda del Factor de Crédito de Protección Contra Incendios (C_3) del formato de la Guía del II&E.³⁰

$$\textbf{Factor de crédito de Protección Contra Incendios (C_3) = 0,70}$$

Una vez determinado el Factor de Crédito de Control del Procesos (C_1), el Factor de Crédito del Material de Asilamiento (C_2) y el Factor de Crédito de la Protección Contra Incendios (C_3), se los multiplica y su producto debe ser ingresado en la celda del Factor de Crédito de Control de Pérdidas en el formato dado por la Guía del II&E.³¹

$$\textit{Factor de Crédito del Control de Pérdidas} = C_1 \times C_2 \times C_3$$

$$\textit{Factor de Crédito del Control de Pérdidas} = 0,72 \times 0,82 \times 0,70$$

$$\textbf{Factor de Crédito del Control de Pérdidas = 0,41}$$

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RIESGO DE LA UNIDAD DE PROCESO

³⁰ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

³¹ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

El Resumen del Análisis de Riesgo de la Unidad de Proceso es un formato que se encuentra en la Guía del II&E y que nos permite resumir toda la información importante del Análisis de Riesgo de la Unidad de Proceso.

En este se evalúan factores de riesgo adicionales a los antes calculados para poder tener una revisión total de todos los factores de riesgos que están considerados en una Unidad de Proceso.

1. Índice de Incendios y Explosiones (II&E)

El cálculo del Índice de Incendios y Explosiones es usado para determinar cuál podría ser el daño probable de presentarse un incidente en una planta de procesos.

$$II\&E = 126,42$$

2. Radio de exposición

Para calcular el radio de exposición se debe multiplicar el valor del II&E por el factor de 0,84, que es entregado en la Guía del II&E³².

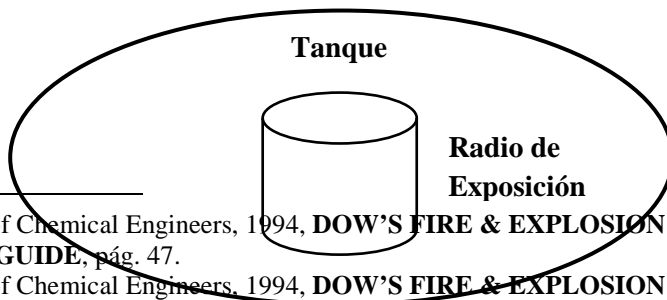
$$Radio\ de\ Exposición = II\&E \times 0,84$$

$$Radio\ de\ Exposición = 126,42 \times 0,84$$

$$Radio\ de\ Exposición = 106,19\ ft.$$

$$Radio\ de\ Exposición = 32,37\ m.$$

El radio de exposición debe ser dibujado desde el centro de la Unidad de Proceso y su valor debe ser ingresado en el formato del Resumen del Análisis de Riesgo de la Unidad de Proceso dado por la Guía del II&E³³.



³² American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 47.

³³ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 6.

32,37 m.

3. Área de Exposición

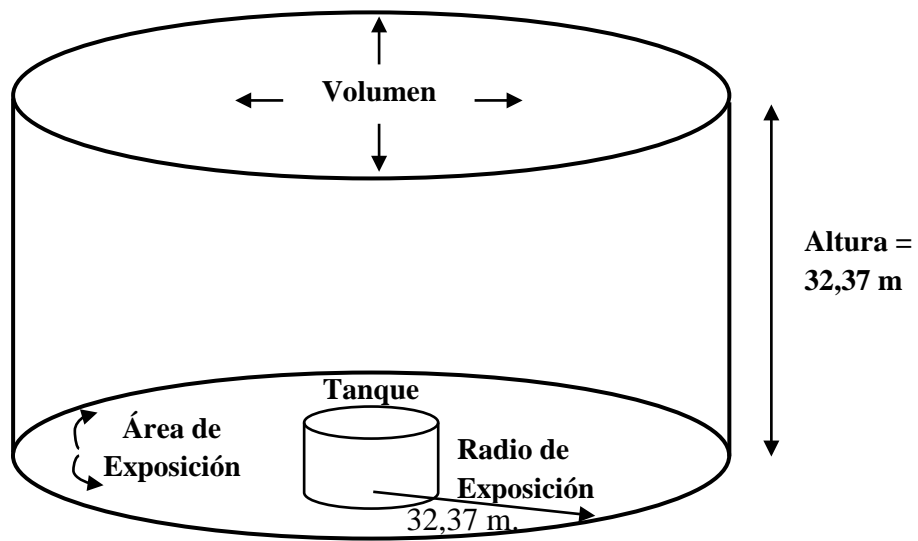
Una vez determinado el radio de exposición se debe determinar el área de exposición.

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \times 32,37^2$$

$$A = 3291,81 \text{ m}^2$$

Esta área de exposición tiene una forma cilíndrica en la cual la altura es igual al radio de exposición, como se representa en el gráfico siguiente:



4. Valor del área de exposición

Para determinar el valor del área de exposición se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Valor de Reposición} = \text{Costo Original} \times 0,82 \times \text{Factor de Escalamiento}$$

Donde:

El factor 0,82: es un margen para elementos que de coste que no están sujetos a la pérdida tales como la preparación del terreno, carreteras, líneas subterráneas, los gastos de ingeniería, entre otros.

Costo Original: Incluye el costo de los equipos, costo del material y la mano de obra.

Costo de equipos (tanque), incluido obra civil, mecánica, instalación y extras = 3'700 000 USD.

Costo del Material: Para determinar el valor del material se debe calcular el valor del petróleo contenido en el tanque (50.000 bls.) multiplicado por el costo de cada barril (86,28 USD)³⁴.

Factor de Escalamiento: se lo determina a partir de un valor obtenido a partir de un estimador de ingeniería que mantiene los valores más aceptados actualmente. Es una constante determinada por la Guía del Índice de Incendio y Explosiones³⁵ (1,157).

$$\text{Costo material} = N^{\circ} \text{ de barriles} \times \text{Costo de Barril USD}$$

$$\text{Costo material} = 50\,000 \text{ bls.} \times 86,28 \text{ USD/bls.}$$

$$\text{Costo material} = 4' 314\,000 \text{ USD}$$

$$\text{Costo original} = \text{Costo material} + \text{Costo equipos}$$

$$\text{Costo original} = 3' 700\,00 + 4' 314\,000$$

$$\text{Costo original} = 8' 014.000 \text{ USD}$$

$$\text{Valor de Reposición} = \text{Costo Original} \times 0,82 \times \text{Factor de Escalamiento}$$

$$\text{Valor de Reposición} = 8' 014\,000 \times 0,82 \times 1,157$$

$$\text{Valor de Reposición (Factor } N^{\circ}4) = 7'603\,202 \text{ USD}$$

5. Determinación del Factor de Daño

Para determinar el Factor de Daño se debe usar la Figura 8 de la Guía del Índice de Incendios y Explosiones³⁶ usando los valores del Factor Material (FM) y el F₃, que para el presente estudio es de 6,02.

$$\text{Factor de Daño (Factor } N^{\circ} 5) = 0,79$$

³⁴ www.elcomercio.com/negocios/Petroleo-ecuatoriano-exporto-noviembre-Crudo-Negocios-Economia_0_1054694699.html

³⁵ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 56.

³⁶ American Institute of Chemical Engineers, 1994, **DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE**, pág. 53.

6. Daño Máximo Probable a la Propiedad Base

Con el área de exposición, el valor del área de exposición y el factor de daño determinados, es necesario obtener algún valor apropiado en dólares para el equipo de la planta dentro del volumen de exposición. El MPPD Base no asume ninguna de las características de control de pérdidas que mitigan la pérdida. El Daño Máximo Probable a la Propiedad Base, DMPP Base, se lo determina multiplicando el valor del factor número 4, Valor del Área de Exposición, por el factor número 5, Factor de Daño, del formato Resumen del Análisis de Riesgos de la Unidad de Proceso.

$$DMPP\ Base = Factor\ N^{\circ}\ 4 \times Factor\ N^{\circ}\ 5$$

$$DMPP\ Base = 7' 603\ 202 \times 0,79$$

$$DMPP\ Base = 6' 006\ 529\ USD$$

7. Factor de Control de Crédito de Pérdida

Este factor está determinado e ingresado en el formato de Factor de Control de Crédito de pérdida = 0,41 de la Guía del II&E.

8. Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual

El Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual, DMPP Actual, representa los daños a la propiedad que podría resultado de un incidente de una magnitud considerable con el funcionamiento adecuado, pero no perfecto, de los dispositivos de protección previamente mencionados. Si cualquiera de estos sistemas de protección fallara, la pérdida podría acercarse al DMPP Base. Se lo determina multiplicando el valor del factor número 6, DMPP Base, por el factor número 7, Factor de Crédito del Control de Pérdida, del formato Resumen del Análisis de Riesgos de la Unidad de Proceso que se encuentra en la Guía del II&E.

$$DMPP\ Actual = Factor\ N^{\circ}\ 6 \times Factor\ N^{\circ}\ 7$$

$$DMPP\ Actual = 6\ 006\ 529 \times 0,41$$

$$DMPP\ Actual = 2' 462\ 676\ USD$$

9. Máximo Probable de Días de Para

Este valor se lo debe determinar mediante la ayuda de un técnico experiencia que trabaje en la Unidad de Proceso, en el presente caso de estudio con la ayuda técnica se ha estimado que de producirse el incendio en el tanque de almacenamiento de petróleo, la reparación de esta instalación tomaría **100 días** aproximadamente con los recursos que cuenta la empresa.

10. Interrupción del Negocio

Se determina el costo total que representaría la paralización de la planta en caso de presentarse un accidente en la Unidad de Proceso, tanque de almacenamiento de petróleo, mediante la siguiente fórmula:

$$IN = \frac{MPDP}{30} \times VPM \times 0,70$$

Donde:

IN = Interrupción del Negocio

VPM = valor de producción por mes, (15 000 bls/día)

$$IN = \frac{100 \text{ días}}{30} \times (15\,000 \text{ bls} \times 30 \text{ días} \times 86,28 \text{ USD/bls}) \times 0,70$$

$$IN = 90\,594\,000 \text{ USD}$$

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Nivel de Peligro.- El índice de Incendios y Explosiones (II&E = 126,42) permite determinar que el nivel de peligro está en un **rango intermedio**. Esto es lógico, ya que, si bien, el sector de la industria hidrocarburífera es considerado de alto riesgo, sin embargo, la empresa en la cual se realizó el estudio, tiene implementados todos los controles que permiten bajar el nivel de peligro o riesgo. Esto se corrobora ya que, en más de 15 años de operaciones, no se han registrado incendios o explosiones en las instalaciones de almacenamiento de petróleo.

Valor del área de exposición.- El valor de reposición de 7' 603 202 USD, se lo puede considerar relativamente alto, sin embargo es lógico, ya que, toma en cuenta los valores del tanque de almacenamiento (3' 700 000 USD) más el valor de los 50 000 bls de petróleo (4' 314 000 USD). Su valor disminuye en un porcentaje al multiplicarlo por el factor de 0,82 que es el margen de los elementos que no están sujetos a daños.

Daño Máximo Probable a la Propiedad Base.- Los 6' 006 529 USD representan un porcentaje del valor al que ascenderían los daños de los equipos y materiales que se hallan dentro del volumen de exposición si se materializara el riesgo. Este valor es relativamente alto ya que considera básicamente el costo del tanque más el valor del petróleo almacenado. Este valor es menor al valor de exposición ya que considera un factor de daño de 0,79.

Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual.- El valor de 2' 462 676 USD es relativamente bajo en comparación al valor del Daño Máximo Probable a la Propiedad Base (6' 006 529 USD), esto se debe a que los daños resultarían mucho menores

considerando el funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección que se encuentran implementados en la estación de almacenamiento.

Interrupción del negocio.- El costo de las pérdidas que se generarían en los 100 días de para es de 90' 594 000 USD, lo cual es alto; esto se debe básicamente a que para restaurar la unidad de proceso (almacenamiento), se requiere un periodo de tiempo considerable y si a esto se suma el costo diario de producción que es de 1' 294 200 USD, esto explica el alto costo financiero que demandaría una para.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez evaluados los resultados se procede a definir las conclusiones, las mismas que se enfocan a determinar potenciales costos, además, a determinar, en última instancia, si la estación de almacenamiento ha sido o no bien diseñada.

En el diseño del área de la estación de almacenamiento de petróleo, se consideró un área de amortiguamiento alrededor del conjunto industrial. En el caso de producirse un incendio en el tanque de almacenamiento, no se producirían daños a instalaciones aledañas, por lo que se considera adecuada la previsión de contar con esta área.

En el caso de incendio, el personal que labora en el control-room y oficinas, a 200 m, no estarían expuestos a daños físicos ya que se encuentran a una distancia mayor a la del radio de exposición de 31,85 m.

Se puede determinar que estas edificaciones fueron establecidas adecuadamente, bajo un criterio técnico, en una zona segura durante la etapa de diseño de la estación.

El personal que se encontrase en los dormitorios, a 299 m, no estaría expuestos daños físicos ya que se encuentran a una distancia mayor a la del radio de exposición de 31,85 m.

De acuerdo a estos datos, se concluye que esta edificación, en la etapa de diseño de la estación, se la ubicó estratégicamente en una zona segura, considerando que el incendio podría presentarse durante la noche, cuando el personal se encontrase durmiendo en sus horas de descanso.

De acuerdo a los resultados, se concluye que los equipos están emplazados en una zona segura, 175 m, ya que están fuera del radio de exposición de 31,85 m.

El punto de encuentro de la estación se encuentra ubicada a una distancia segura, 371,12 m, a una considerable distancia del radio de exposición que es de 31, 85 m, la cual fue ubicada bajo estudios técnicos para poder garantizar el bienestar del personal que acuda a esta zona.

El personal de la estación que conforma las brigadas contra incendio cuenta con trajes especiales de bomberos, este personal puede intervenir en la zona del Área de Exposición del tanque siempre y cuando se tomen las debidas medidas de protección como: refrigeración, hidratación, rotación, entre otros.

Se puede concluir que la estación de almacenamiento de petróleo ha sido bien diseñada en función del riesgo de fuego.

En cuanto a los valores económicos de pérdidas del Área de exposición, 7' 603 202 USD, es un monto adecuado para la Unidad de Proceso y para la naturaleza de la industria petrolera, ya que por su gran dimensión de almacenamiento 62 000 bls el costo solo del tanque está en 3 700 000 USD, siendo solo este el 50% del valor total del Área de Exposición. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que de producirse un incendio en el tanque de almacenamiento se daría la pérdida del material, en este caso 50 000 bls de petróleo, valorados en 4 314 000 USD.

Considerando el valor del Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual de 2' 462 676 USD es un monto razonable, debido a la naturaleza de los valores financieros manejados en la empresa y, ya que la estación de almacenamiento tiene implementado todos los dispositivos de protección que son determinados por el Factor de Crédito del Control de Pérdida de la Guía de II&E y, que se encuentran compuesto por: Factor de Crédito del Control del Proceso, Factor de Crédito del Material de Aislamiento y Factor de Crédito de

Protección Contra Incendios. Disminuyendo el valor del Daño Máximo Probable a la Propiedad Base 6'006 529 USD, donde el valor es obtenido en función de producirse un incidente en la estación y donde hipotéticamente no existiese ningún dispositivo de protección.

Los Días Máximos Probables de Para, 100 días, constituyen un periodo de tiempo razonable, ya que la empresa cuenta con gran cantidad de recursos técnicos ya sean estos maquinaria, materiales, mano de obra, entre otros, debido a que por su naturaleza productiva se maneja gran cantidad de dinero. Adicionalmente se cuenta con los recursos intelectuales de los técnicos que han trabajado por más de 15 años en el ámbito petrolero. Es por esto que en caso de producirse el incidente no se escatimarían esfuerzos para su pronta construcción o reparación, tratándola de hacer en el menor tiempo posible ya que como se determinó en la Guía del Índice de Incendios y Explosiones, el costo de esta para sería de 90 594 000 USD.

5.2 RECOMENDACIONES

En función del análisis cuantitativo de la Guía del Índice de Incendios y Explosiones en una Estación de Almacenamiento de Petróleo, realizado en el presente estudio, a continuación se exponen las recomendaciones orientadas a reducir los valores de pérdidas económicas, mejorar las condiciones de seguridad del personal, equipos y medio ambiente.

Asegurar que el programa de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los equipos, máquinas, válvulas, tuberías, tanque, entre otros, se implementen regularmente de acuerdo a las especificaciones técnicas y a las condiciones reales de uso.

Implementar un sistema contra incendio automático en remplazo del actual que es de funcionamiento manual, además, revisar periódicamente el sistema contra incendios para asegurar su total funcionamiento, lo cual se evaluará en los simulacros.

Realizar los simulacros de incendio de acuerdo al plan anual de simulacros, poniendo especial interés en la medición de los tiempos de respuesta, tiempos de evacuación al punto de encuentro, el funcionamiento adecuado del sistema contra incendios, disponibilidad de equipos, desempeño de las brigadas contra incendios, además, en estos simulacros se considerará también el MEDEVAC (evacuación médica). Como parte de estos simulacros, es de fundamental importancia realizar la evaluación, donde se establecerán acciones preventivas y correctivas.

Reforzar las brigadas contra incendio, para lo cual se implementarán programas continuos de capacitación y entrenamiento en lucha contra incendios, se verificará que se cuente con todo el equipo necesario y se verificará su eficiencia a través de los simulacros planificados.

Fortalecer los programas de capacitación sobre fuego, dirigido a todo el personal de la estación de almacenamiento de petróleo. Entre otros componentes, en estos programas se considerarán los siguientes puntos:

- Marco legal sobre gestión del fuego

- Conceptos básicos sobre fuego

- Riesgos potenciales por exposición al fuego

- Controles preventivos en la fuente, medio y receptor

- Uso y mantenimiento del equipo de protección personal

Reforzar los planes de emergencia de evacuación de fuego, parte fundamental de este plan el MEDEVAC (evacuación médica de heridos, quemados, asfixiados, a un centro de salud especializado).

Revisar periódicamente la señalética, las vías de evacuación deben estar perfectamente señalizadas, avisos sobre restricción de acceso a sitios de alto riesgo permitidos únicamente al personal técnico, obligatoriedad del uso del EPP.

Finalmente, se recomienda que el Sistema de Gestión que ha implementado la organización sea mantenido, revisado y actualizado periódicamente, de tal forma que se asegure que todo el personal conozca la política, los procedimientos operativos, de emergencia, objetivos y otros, para garantizar un ambiente laboral seguro.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. AIChE technical manual. (1994). *DOW'S FIRE & EXPLOSION INDEX HAZARD CLASSIFICATION GUIDE*. New York: American Institute of Chemical Engineers, Seven Edition.
2. Casal Joaquim et al. (1999). *Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales*. Barcelona: EDICIONS UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
3. Dirección General de Protección Civil. Ministerio del Interior Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 2002, *ZONAS DE PLANIFICACIÓN PARA ACCIDENTES GRAVES DE TIPO TÉRMICO*. España: F.G. GRAF, S.L.
4. Gómez Mares Mercedes. (2009). *Estudio Experimental y Modelización Matemática de Dardos de Fuego*. Barcelona: Departamento de Ingeniería Química Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona Universitat Politècnica de Catalunya.
5. Jaramillo Salgado Oscar Alfredo. (1998). *Transporte de Energía Solar Concentrada a través de Fibras Ópticas: Acoplamiento Fibra-Concentrador y Estudio Térmico*. Temixco, Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México.
6. Perry Robert H. / Chilton Cecil H. (1973). *Chemical Engineers' Handbook*. New York: McGraw-Hill, Inc.
7. Turmo Sierra Emilio. (2003). *NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases*. España: CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DEL TRABAJO.
8. Trujillo Mejía Raúl Felipe. (2012). *El fuego y sus implicaciones en la industria*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
9. Universidad Nacional de Rosario. (2003). *Radiación Térmica*. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/fisica2ecen/pdf/files/radiacion.pdf>
10. ALOHA 5.4.4, Office of Emergency Management, EPA, and Emergency Response Division, NOAA.

11. Wikipedia, [http://es.wikipedia.org/wiki/Urquiola_\(petrolero\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Urquiola_(petrolero)); Esta página fue modificada por última vez el 10 mar 2013, a las 08:03.
12. Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon; Esta página fue modificada por última vez el 15 mar 2013, a las 22:17.
13. www.lea.com.ar. LEA, LEZA, ESCRIBIÑA & ASOCIADOS S.A.
14. http://www.elcomercio.com/negocios/Petroleo-ecuatoriano-exporto-noviembre-Crudo-Negocios-Economia_0_1054694699.html
15. http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/calorespec.pdf
16. <http://mediateca.cl/500/540/quimica/petroleo/componentes%20quimicos%20del%20petroleo.htm>

Anexos

ÍNDICE DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

ÁREA / PAÍS OPERACIONES / ECUADOR	DIVISIÓN PETRÓLEOS	LOCACIÓN BAEZA	FECHA 24-02-2014
LUGAR ESTACIÓN BAEZA	UNIDAD DE MANUFACTURA ALMACENAMIENTO	UNIDAD DE PROCESO TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO	
ELABORADO POR: LUIS ROMANO LARA	APROVADO POR: (Superintendente)	EDIFICIO: CAMPAMENTO	
REVISADO POR: (Gerente)	REVISADO POR: (Centro Tecnológico)	REVISADO POR: (Seguridad y Prevención de Pérdidas)	
MATERIALES EN LA UNIDAD DE PROCESO: PETRÓLEO			
ESTADO DE LA OPERACIÓN _ DISEÑO _ COMIENZO <u>X</u> OPERACIÓN NORMAL _ APAGADO		MATERIAL(ES) BÁSICOS PARA FACTOR DE MATERIA PETRÓLEO	
FACTOR MATERIAL			21
1. PROCESOS PELIGROSOS GENERALES		RANGO DEL FACTOR DE PENALIZACIÓN	FACTOR DE PENALIZACIÓN USADO (1)
Factor Base		1,00	1,00
A. Reacción Química Exotérmica		0,30 a 1,25	1,00
B. Procesos Endotérmicos		0,20 a 0,40	0,40
C. Transferencia y Manipulación Material		0,25 a 1,05	0,50
D. Unidades del Proceso Interno o Adjunto		0,25 a 0,90	0,00
E. Acceso		0,20 a 0,35	0,00
F. Control de Derrame y Drenaje <u>11 550</u> gal o <u>m3</u>		0,25 a 0,50	0,25
Factor General del Proceso Peligroso (F1)			2,15
2. Proceso Peligroso Especial			
Factor Base		1,00	1,00
A. Material(es) Tóxicos		0,20 a 0,80	0,20
B. Presión Sub-Atmosférica (< 500 mm Hg)		0,50	0,00
C. Operación en o cerca del Rango inflamable ___ Inerte <u>X</u> No Inerte			
1. Almacenamiento de Líquidos Inflamables en Bases Petroleras		0,50	0,00

2. Error de Purga o Error de Proceso	0,30	0,00
3. Siempre en el Rango de Inflamabilidad	0,80	0,80
D. Explosión de Polvo	0,25 a 2,00	0,00
E. Presión Presión Operativa _____ psig o kPa medidos		0,00
Ajuste de Presión _____ psig o kPa medidos		
F. Temperatura Baja	0,20 a 0,30	0,00
G. Cantidad Inflamable/Material Inestable Cantidad <u>13 379 850 lb</u> o kg Hc = <u>284 x 10⁹ BTU/lb</u> o kcal/kg		
1. Líquidos o Gases en Proceso		0,00
2. Líquidos o Gases en Almacenamiento		1,20
3. Combustibles Sólidos en Almacenamiento, Polvo en Proceso		0,00
H. Erosión y Corrosión	0,10 a 0,75	0,20
I. Fugas - Uniones y Empaques	0,10 a 1,50	0,30
J. Equipo usado o desechado		0,10
K. Sistema de Cambio de Calor de Aceite Caliente	0,15 a 1,15	0,00
L. Equipo de Rotación	0,50	0,00
Factor de Peligros en Proceso Especiales (F2)		2,80
Factor de Peligros en Unidad de Proceso (F1 x F2) = F3		6,02
Índice de Fuego y Explosiones (F3 x MF = F&EI)		126,42

FACTOR DE CRÉDITO DEL CONTROL DE PERDIDA

1. Factor de Crédito del Control de Proceso (C1)

Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado	Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Energía de Emergencia	0,98	0,98	f. Gas Inerte	0,94 a 0,96	0,95
b. Enfriamiento	0,97 a 0,99	0,97	g. Procedimientos de Operación	0,91 a 0,99	0,91
c. control de Explosiones	0,84 a 0,98	1,00	h. Revisión de Reactivos Químicos	0,91 a 0,98	1,00
d. Apagado de Emergencia	0,96 a 0,99	0,96	i. Análisis de Peligros de Otro Proceso	0,91 a 0,98	0,98
e. Control Computacional	0,93 a 0,99	0,93			

Valor C1

0,72

2. Factor de Crédito del Material de Aislamiento

Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado	Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Válvulas a Control Remoto	0,96 a 0,98	0,96	c. Drenaje	0,91 a 0,97	0,91
b. Vertedero/Purga	0,96 a 0,98	0,96	d. Bloqueo	0,98	0,98

Valor C2

0,82

3. Factor de Crédito de para la Protección de Incendios

Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado	Características	Rango del Factor Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Detección de Fugas	0,94 a 0,98	0,94	f. Cortinas de Agua	0,97 a 0,98	0,98
b. Estructura de Acero	0,95 a 0,98	1,00	g. Espuma	0,92 a 0,97	0,94
c. Abastecimiento de Agua Contra Incendios	0,94 a 0,97	0,94	h. Extintores de Mano	0,93 a 0,98	1,00
d. Sistemas Especiales	0,91	0,91	i. Protección de Cables	0,94 a 0,98	0,94
e. Sistemas Sprinkler	0,74 a 0,97	1,00			

Valor C3

0,70

Factor del de Control de Crédito de Perdidas = C1 x C2 x C3 =

0,41

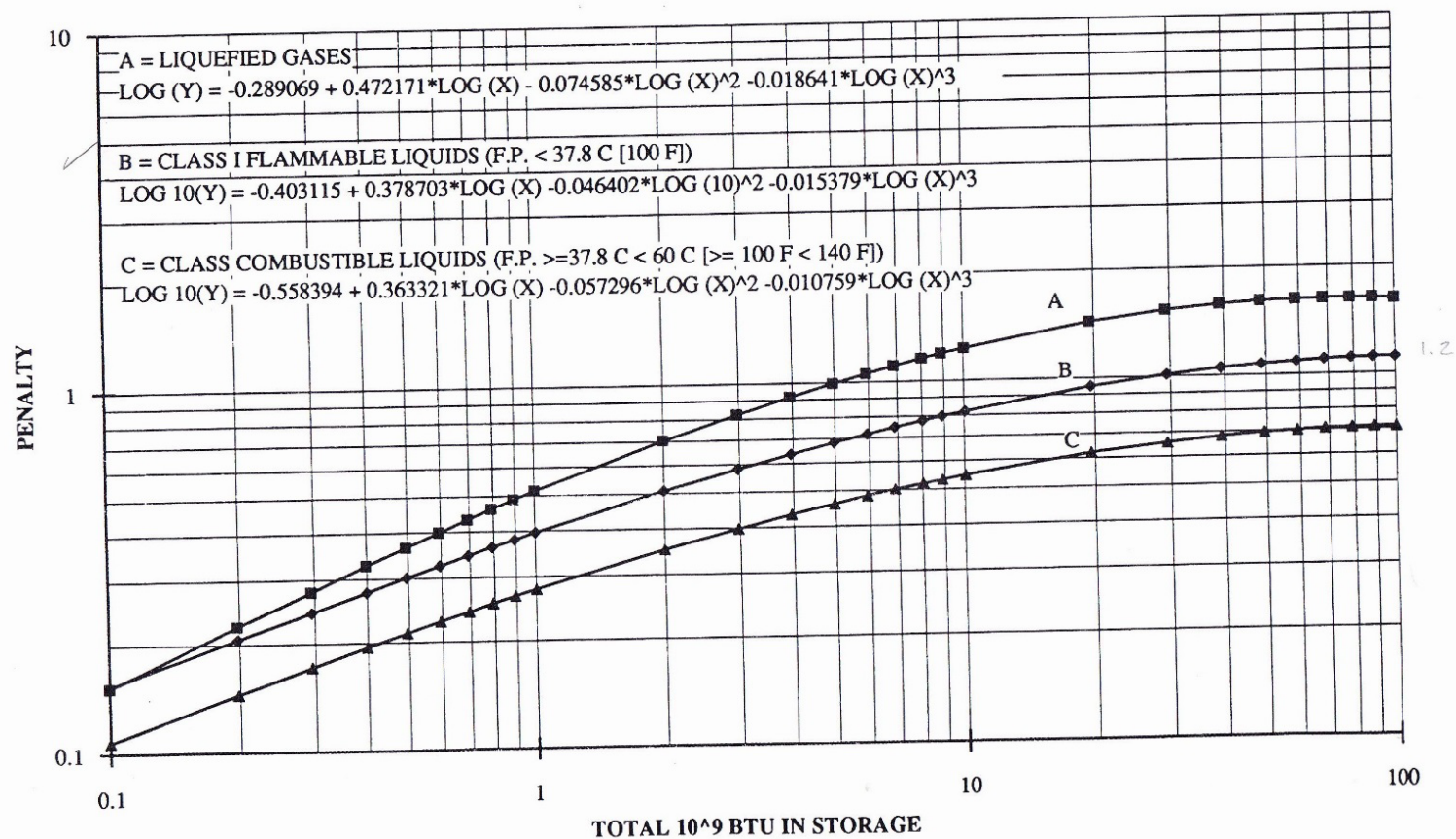
RESUMEN DEL ANÁLISIS DE RIESGO DE LA UNIDAD DE PROCESO

1. Índice de Incendios y Explosiones (II&E).....	126,42		
2. Radio de Exposición.....	32,37 m		
3. Área de Exposición.....	3291,81 m2		
4. Valor del Área de Exposición.....		\$MM	7.603.202
5. Factor de Daño.....	0,79		
6. Daño Máximo Probable a la Propiedad Base - (DMPP Base) [4x5]		\$MM	6.006.530
7. Factor de Crédito de Control de Perdida	0,41		
8. Daño Máximo Probable a la Propiedad Actual - (DMPP Actual) [6x7]		\$MM	2.462.677
9. Máximo Probable de Días de Para - (MPDP).....	100 días		
10. Interrupción del Negocio - (IN).....		\$MM	90.594.000,00

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE LA UNIDAD DE MANUFACTURA

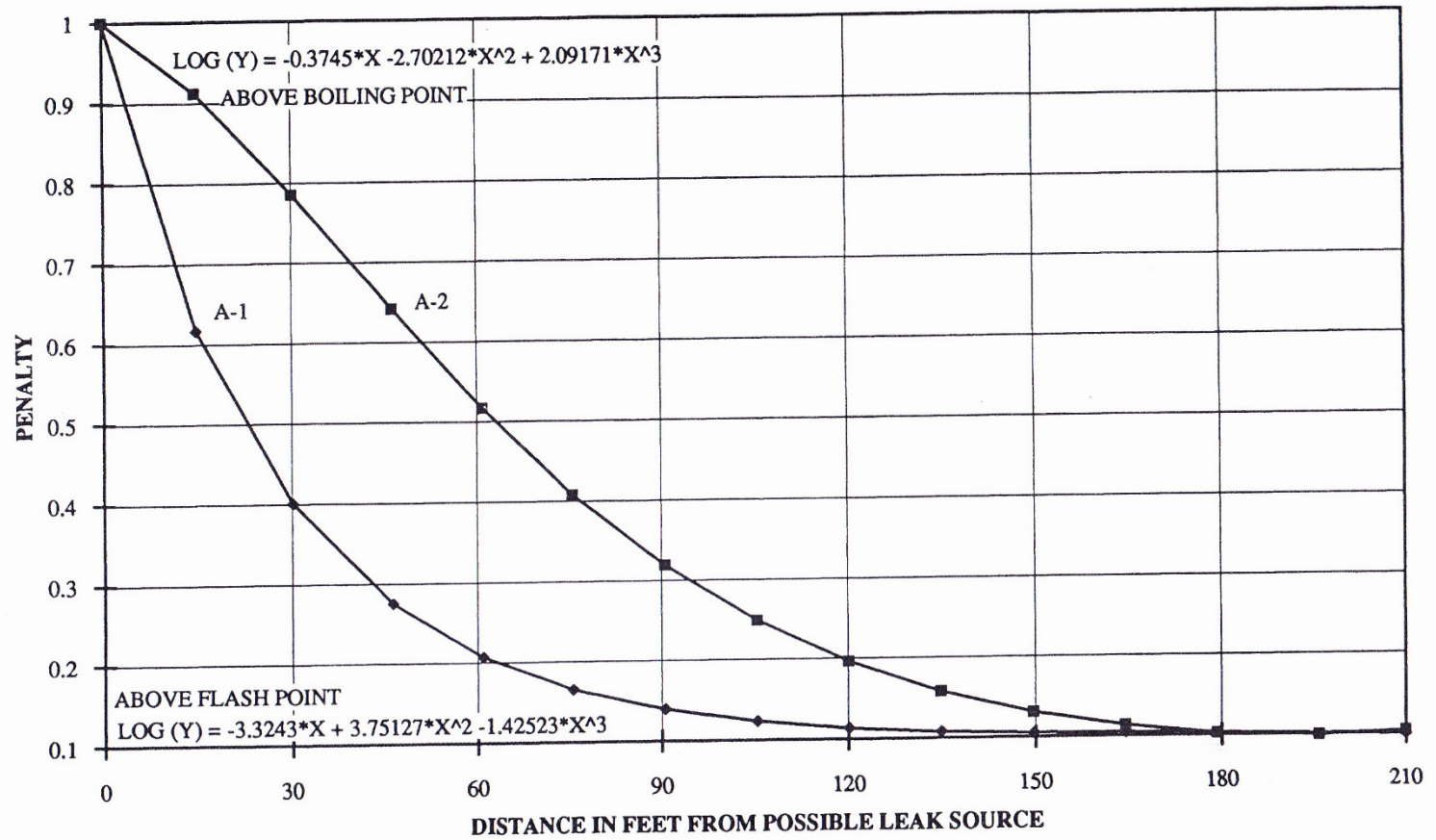
ÁREA / PAÍS OPERACIONES / ECUADOR		DIVISIÓN PETRÓLEOS			LOCACIÓN BAEZA		
SITIO ESTACIÓN BAEZA		UNIDAD DE MANUFACTURA ALMACENAMIENTO			TIPO DE OPERACIÓN ALMACENAMIENTO		
ELABORADO POR LUIS ROMANO LARA		VALOR TOTAL DE SUSTITUCION DE LA UNIDAD DE MFG. 3' 700 000 USD			FECHA 24-02-2014		
UNIDAD DE PROCESO	FACTOR MATERIAL	II&E	VALOR DEL ÁREA DE EXPOSICIÓN \$MM	DMPP BASE \$MM	DMPP ACTUAL \$MM	DÍAS DE PARA MPDP	IN PERDIDA \$MM
Tanque de Almacenamiento							
MATERIAL PRINCIPAL							
Petróleo - Crudo	21	126, 42	7.603.202	6.006.529	2.462.676	100	90.594.000

FIGURE 4 - LIQUIDS OR GASES IN STORAGE



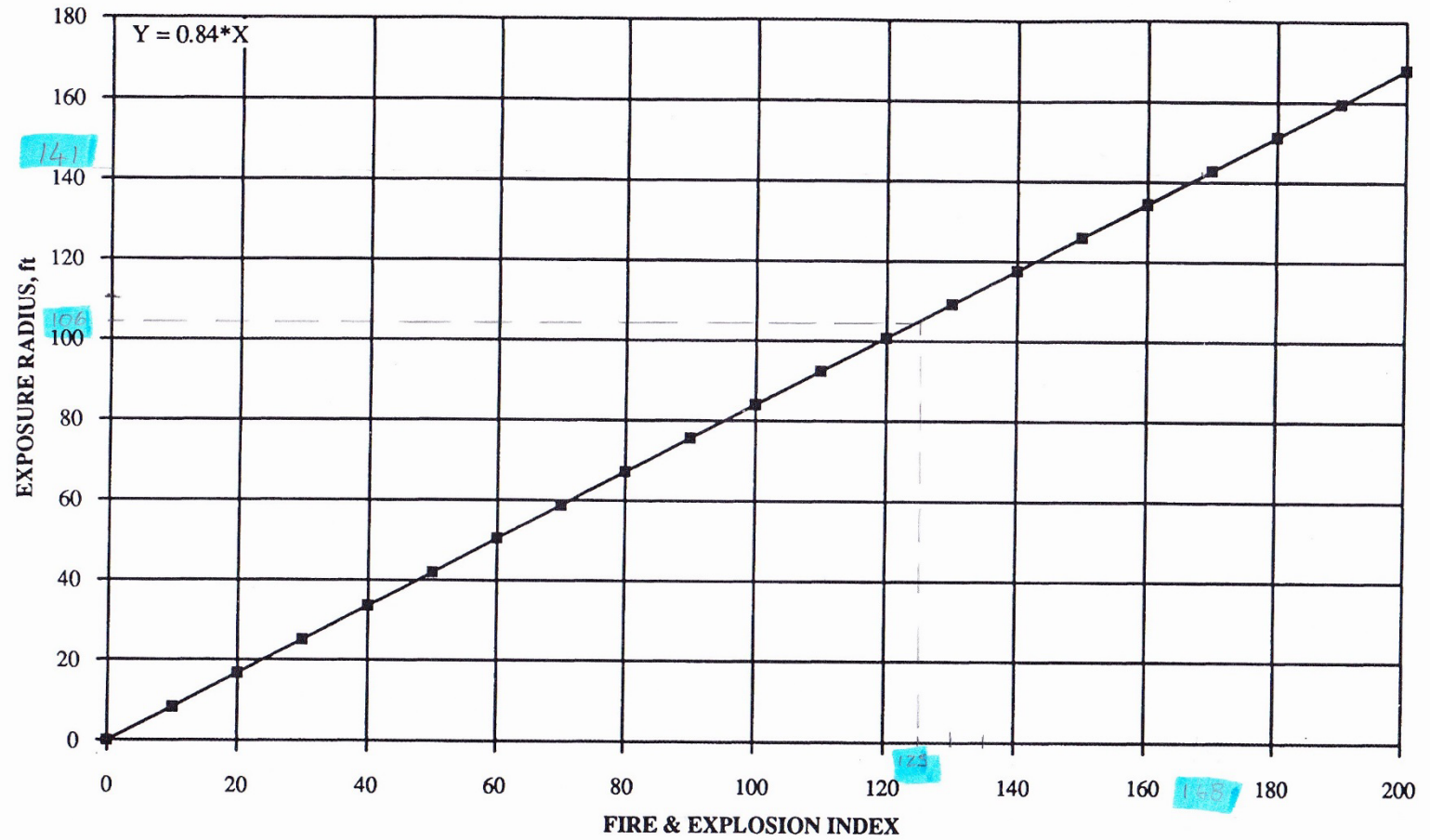
For kcal multiply by 0.2520. For Joules (J) multiply by 1.05506×10^3 .

FIGURE 6 - FIRED EQUIPMENT PENALTY



For distance in meters multiply by 0.3048.

FIGURE 7 - RADIUS OF EXPOSURE



For Exposure Radius in meters multiply by 0.3048.

FIGURE 8 - DAMAGE FACTOR

