

Universidad de Matanzas
Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.

TÍTULO: Evaluación del impacto económico de posibles accidentes provocados por incendio y explosión en la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas.

Autor: Eliadni Costa Romero.

Tutor: Ing. Julio Ariel Dueñas Santana.

Matanzas, Cuba. 2019

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

Yo, Eliadni Costa Romero, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente, siempre que se respeten mis derechos sobre el mismo.

*El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable.
Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la
oportunidad.*

Víctor Hugo.

DEDICATORIA.

*A toda mi familia,
en especial a mi madre.*

AGRADECIMIENTOS.

Hoy tengo la oportunidad de agradecerles a todos los que de una manera u otra han contribuido y me han apoyado en la tarea de cumplir uno de mis sueños:

A mi madre por estar siempre para mí, por darme la fortaleza necesaria para enfrentar cada obstáculo de la vida, por ser el pilar fundamental y no rendirse jamás a pesar de los golpes y decepciones que ha recibido, por ser todo para mí y porque no me imagino una vida sin ella.

A los demás miembros de mi familia por compartir conmigo cada noche de desvelo, cada momento de angustia y por hacer presente en esta historia.

A mi tutor, Julio por confiar en mí para realizar esta tarea, por su tiempo y su paciencia dedicada porque sin él no hubiese sido posible finalizar y por enseñarme que la genialidad y la inteligencia se esconden detrás de la persona más humilde.

A mis compañeros del curso 2017-2018 con los cuales compartí momentos inolvidables que no se repetirán nunca.

A la empresa por la facilitación de los datos y el tiempo dedicado.

A los profesores de la universidad que me brindaron sus conocimientos de la forma más pedagógica y profesional que existe.

Gracias a todos.

Resumen

En el presente trabajo se realizó una investigación en la Terminal 320 y la Base en Tierra de la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas acerca del impacto económico provocado por incendios y explosión. A partir una búsqueda bibliográfica se analizaron conceptos básicos a tener en cuenta en el análisis económico y de riesgos, así como los accidentes que estos pueden provocar dentro de la industria. Se hizo un análisis histórico referido a los acontecimientos que han ocurrido a nivel mundial. Se dieron a conocer las diferentes herramientas metodológicas o índices que permitan cuantificar el impacto económico de posibles accidentes provocados por incendios y explosiones. Se selecciona el índice de Incendio y Explosión de DOW como método más eficaz con este fin. Seguido se describe el proceso y se seleccionan las diferentes unidades de proceso a tener en cuenta para el desarrollo del método. Finalmente, se evalúa un impacto económico que da a conocer que el tanque 17 es el que tiene un intenso riesgo de explosión debido a su alta capacidad de almacenaje y a la sustancia que contiene que es nafta siendo la más volátil de todas. Las pérdidas económicas por concepto de posibles incendios y explosiones pueden ascender a \$22 443 919,36 y a 22 días de paralización.

Abstract

In the present work, an investigation was made in Terminal 320 and the Ground Base of the Territorial Division of Fuel Trading of Matanzas about the economic impact due to fires and explosion. From a bibliographic search, basic concepts were analyzed, such as fire and explosion, as well as the accidents that these can cause within the industry. An historical analysis was made referring to the events that have occurred worldwide. The different methodological tools or indexes that allow quantifying the economic impact of possible accidents caused by fires and explosions were made known, thus selecting the DOW index as the most effective method. The mixing process is then described and the different process units are selected to have the amount for the development of the method. Finally, an economic impact is evaluated that reveals that tank 17 is the one that has an intense risk of explosion due to its high storage capacity and the substance it contains, which is naphtha being the most volatile of all. The economic losses due to possible fires and explosions can amount to \$ 22443919.36 and 22.03 days of stoppage.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Análisis Bibliográfico	4
1.1 Tipos de accidentes que pueden ocurrir en la industria petrolera relacionada a incendios y explosión	4
1.2 Análisis histórico referido a pérdidas económicas por accidentes en la industria petrolera.....	10
1.3 Herramientas metodológicas o índices que permitan cuantificar el impacto económico de posibles accidentes provocados por incendios y explosiones.....	15
1.4 Conclusiones parciales.....	21
Capítulo 2: Materiales y métodos	23
2.1 Descripción del proceso tecnológico en la Terminal -320 y en Base en Tierra	25
2.2 Metodología para la evaluación del impacto económico a través del Índice de Incendio y Explosión de Dow	28
2.2.1 Selección de las Unidades de Proceso Pertinentes y determinación del factor material.....	31
2.2.2 Factores de Peligrosidad en Unidades de Procesos.....	32
2.2.3 Factor general de peligrosidad del proceso	32
2.2.4 Factor especial de peligrosidad del proceso	34
2.2.5 Determinación del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso.....	39
2.2.6 Determinación del Índice de Incendio y Explosión.....	39
2.2.7 Factores de bonificación en la pérdida del control.....	40
2.2.8 Resumen del análisis de riesgo en la Unidad de Proceso.....	43
Capítulo 3: Análisis de resultados	47

3.1 Resultados y análisis de la selección de las unidades de proceso y factor material.....	47
3.2 Resultados y análisis de los factores de peligrosidad de las unidades de proceso.....	49
3.3 Resultados y análisis del índice de incendio y explosión para cada unidad de proceso.....	50
3.4 Determinación de los factores de bonificación.....	51
3.4.1 Determinación de los factores de bonificación por control del proceso (C1).....	51
3.4.2 Determinación de los factores de bonificación por aislamiento del material (C2).....	52
3.4.3 Determinación de los factores de bonificación por protección contra incendio (C3).....	53
3.5. Resultados y análisis de las pérdidas totales.....	55
3.5.1. Determinación del radio y área de exposición.....	55
3.5.2. Cálculo del valor del área de exposición.....	56
3.5.3. Cálculo de las pérdidas por interrupción del negocio.....	59
3.5.4. Análisis de las pérdidas totales.....	61
3.6 Conclusiones parciales.	64
Conclusiones	65
Recomendaciones	66
Bibliografía	67
Anexos	72

Introducción

La industria moderna se caracteriza por un continuo crecimiento de la potencia unitaria de sus instalaciones con el objetivo de alcanzar mejores rendimientos. Independientemente del desarrollo científico –técnico, el aumento del grado de complejidad de los procesos tecnológicos genera condiciones de riesgos en la sociedad y el medio natural que actúa como soporte de la misma.

Todos estos avances han ayudado a hacer crecer a la industria química, incrementando su capacidad de producción. Junto a ellas ha incrementado también el número de personas que trabajan en las plantas de proceso y viven en los alrededores que pueden estar expuestas a un accidente industrial. Esto ha provocado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial, y con ella, han aparecido a nivel administrativo y teórico medidas para identificar el peligro y así acotar el riesgo de accidentes industriales. (Sengupta, 2007).

Los accidentes comunes en las industrias químicas incluyen explosiones, fuegos y emisiones tóxicas; sin embargo, las consecuencias más grandes se producen durante un efecto dominó. Un análisis de riesgo puede ayudar prevenir cualquier accidente. (Poljanšek *et al.*, 2017).

El análisis previo de los riesgos y accidentes suma gran importancia sobre el impacto económico industrial porque es la economía es la base más importante para el desarrollo del país. Una afectación económica provocada por accidentes traería consigo una inversión financiera a la industria aumentando así los costos de inversión y de esta forma se necesitara tiempo para la recuperación y puesta en marcha de la misma, sin contar los gastos provocados por las pérdidas ocasionadas.

En Cuba y en especial en la industria del petróleo se opera de la forma más segura posible y para esto es necesaria el implemento de sistemas que minimicen el riesgo asociado al mismo.

La División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas, ubicada en la Zona Industrial del Municipio de Matanzas, al Noroeste de la Bahía en el Km. 8

de la carretera de esta Zona Industrial, tiene como principal función la de entregar y recibir los diferentes tipos de hidrocarburos por la vía marítima, oleoductos y transporte terrestre (camiones y tanques de ferrocarril) ya sean a usuarios de la provincia como del resto del país.

La misma presenta la Terminal 320 y la Base en Tierra destinada para la recepción de PCN (petróleo crudo nacional) por oleoducto y pailas, almacenamiento y entrega con facilidades para todos los muelles de nuestras instalaciones de PCN mejorado, y PCN a buque tanques con destino a diferentes puntos del país. Además desde estas áreas se puede trasegar producto a, donde se preparan las mezclas de PCN mejorado, esta mezcla se obtiene a partir de la unión del petróleo crudo nacional con una dosis de solvente (nafta). Por estas razones se hace una necesidad estudiar el comportamiento de posibles accidentes en la industria porque cualquier caso de incendio y explosión ocasionaría grandes daños económicos a la institución.

Para ello se plantea el siguiente **problema**: ¿Cómo determinar los daños económicos que se producen como consecuencias de incendios y explosiones de la Terminal 320 y en la Base en Tierra en la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas?

Para responder a la interrogante se plantea la siguiente **hipótesis**: Si se realiza una evaluación, mediante herramientas que permitan cuantificar el impacto económico de posibles accidentes por incendio y explosión, se podrán determinar los daños provocados por los mismos a la economía de la entidad.

Por lo que el **objetivo general** de este trabajo es: Evaluar el impacto económico, de posibles accidentes provocados por incendio y explosión en la Terminal 320 (T-320) y en la Base en Tierra de la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas.

Los **objetivos específicos** que se fijan serán los siguientes:

- Estimar los posibles escenarios que se pueden producir por incendios y explosión.

- Determinar las herramientas más eficaces que cuantifique los daños económicos producto de accidentes provocados por incendio y explosión.
- Pronosticar las pérdidas económicas reales provocadas por accidentes de incendio y explosión.

Capítulo 1: Análisis Bibliográfico

En el presente capítulo se muestran diferentes temáticas asociadas sobre diversos accidentes que pueden ocurrir en la industria del petróleo. Además se hace un análisis histórico referido a los accidentes provocados en otras instalaciones para así demostrar la importancia que tiene el estudio de los mismos para evitar accidentes posteriores en la fábrica. Se citan también las diferentes herramientas metodológicas o índices que permitan cuantificar de forma económica el impacto que tienen los accidentes por incendio y explosión.

1.1 Tipos de accidentes que pueden ocurrir en la industria petrolera relacionada a incendios y explosión.

En el siguiente epígrafe se expondrá una síntesis de los diversos accidentes provocados por incendios y explosiones y las características de los mismos. Dentro de la bibliografía utilizada se encuentra el libro de Análisis de Riesgos de Casal et al., (2002) por ser este una bibliografía clásica con gran información aceptada acerca del tema seguido y se utilizará también otros artículos actualizados que han continuado con las investigaciones y han ampliado la información.

Cuando un accidente ocurre dentro de una planta de proceso sus efectos físicos (sobrepresión, radiación térmica y el impacto de fragmentos generados por la explosión) generalmente dañan al equipamiento circundante lo cual puede conducir a pérdidas de contención y escenarios de accidentes adicionales. (Spoelstra *et al.*, 2015) y (Jujuly *et al.*, 2015).

Los riesgos industriales graves están relacionados a la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de compuestos tóxicos. Por lo general, comprenden, el escape de material de un recipiente, seguido si la sustancia es volátil, de su evaporación y dispersión. (PNUMA, 1999).

Según Wells, (2003), Kardell, (2014) y Zarranejad, (2016), entre los diversos accidentes que pueden ocurrir en una industria, el incendio es el que, en términos generales, tiene un radio de acción menor. Sus efectos pueden ser temibles, ya que la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos

accidentes (explosiones o escapes). Por otra parte, el humo puede, además, complicar notablemente la actuación de los equipos de intervención y someterlos a un peligro adicional.

Cuando se produce un escape de un líquido inflamable se pueden generar diferentes tipos de incendio, según el tipo de escape y el lugar donde se produzca. Así pues, en este apartado se tratarán separadamente:

- los charcos de fuego al aire libre.
- los charcos de fuego sobre el mar.
- los incendios en movimiento.

Los charcos de fuego al aire se originan cuando se produce un escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo y en el exterior. En caso de que se produzca la ignición del líquido derramado, el tipo de fuego resultante dependerá en gran medida de si el escape es continuo o instantáneo. Si el escape es instantáneo, el líquido se irá esparciendo hasta que encuentre una barrera o hasta que se haya consumido todo el combustible en el incendio. En caso de un escape continuo, el charco irá creciendo hasta que la velocidad de combustión iguale el caudal de vertido. De esta manera, se llega a un diámetro de equilibrio, que se mantiene mientras no se detiene la fuga. Por otra parte, si el líquido queda retenido dentro de algún recipiente o área protegida, como puede ser una cubeta, el incendio no dependerá tanto de si el escape es instantáneo o continuo. En los casos en los que no hay muro de contención, se tendrá que hacer previamente la distinción entre si el escape es instantáneo o continuo. En la mayoría de los modelos se hace necesario conocer el diámetro del incendio. (Dueñas, 2018), (Sengupta, 2007) y (Kadri, 2013).

Los charcos de fuego sobre el mar no son más que la mancha de combustible que se encuentra en la superficie marina y que fueron provocados por vertimientos accidentales. (CL: AIRE, 2017)

Los incendios en movimiento tienen lugar cuando un líquido inflamable se vierte sobre una superficie vertical o inclinada. Este incendio es de gran peligro porque en

muy poco tiempo puede alcanzar grandes dimensiones y cubrir zonas amplias dentro de la fábrica. Además si se produce la ignición el incendio se desplazará en sentido del líquido. (Casal, 2002) y (Cermelli, 2018).

Según Casal *et al.*, (2002) y CL: AIRE, (2017) los incendios en depósitos de almacenaje de hidrocarburos son relativamente frecuentes. Teniendo en cuenta que las cantidades almacenadas suelen ser elevadas.

Los escenarios pueden predecirse de la liberación de sustancias específicas bajo las circunstancias específicas. Debe acentuarse que estos escenarios representan la estructura básica de un escenario típico que involucra cada sustancia, equipo asociado y procesos. (Gyenes *et al.*, 2017).

El boilover o borbollón puede producirse en depósitos conteniendo mezclas de diversos hidrocarburos. Si en uno de estos depósitos se produce un incendio -que puede durar muchas horas - la capa superficial de hidrocarburo se va calentando debido a la radiación del incendio. (Gill, 2016).

Para que se produzca el boilover es necesario en general que se cumplan tres condiciones:

- a) Presencia de agua en el recipiente.
- b) Generación de una ola de calor; es decir, existencia de una amplia gama de volatilidades en los componentes presentes en el depósito.
- c) Que la viscosidad del hidrocarburo sea suficientemente elevada para dificultar el paso del vapor.

En caso de incendio con posibilidad de boilover, una forma de seguir la progresión de la ola de calor consiste en instalar sobre la pared exterior del depósito tiras de pintura intumescente, de manera que la variación de su aspecto indique el aumento de la temperatura en función de la altura. Otra forma, en caso de emergencia, es lanzar agua sobre la pared con una manguera, de forma suave, observando si ebulle o no. A pesar de estas técnicas, la posible aparición de boilover en un momento

determinado sigue presentando un elemento de incertidumbre si no se conoce a qué altura se encuentra la capa de agua o de emulsión. (Casal *et al.*, 2002).

Según Reniers and Cozzani, (2013), las elevadas temperaturas del incendio, normalmente entre 800 y 1200 °C, por una parte aumentan la presión interna de los recipientes y por otra disminuyen su resistencia mecánica. La combustión de una mezcla aire-gas inflamable ocurre si su concentración está dentro de los límites de inflamabilidad y existen las condiciones de ignición.

Un charco de una sustancia inflamable puede producir un incendio, que se denomina "charco de fuego", este se encuentra entre los más comunes de los accidentes relacionados con incendios. (Nwabueze, 2016).

Aunque el término "charco de fuego" se usa principalmente para describir un grupo de combustible líquido que se incendia, el término también se aplica a la quema de combustibles sólidos, por ejemplo el Polietileno. El arrastre de fuego suministra oxígeno a la llama, suministro adecuado para sostener la combustión. En el proceso, estructuras torácicas toroidales grandes, que recirculan cerca de la llama, se puede generar la ocurrencia de este fenómeno oscilante, también conocido como el "soplo". Este efecto, deriva de la presencia de estructuras coherentes por encima de una columna de fuego. Esto, a su vez, conduce a la formación de vórtices especialmente a través de la formación de grandes vórtices llameantes que se elevan hasta que se queman en la parte superior de la llama.

Un charco de fuego en Proceso Químico Industrial (IPC) comienza típicamente con el lanzamiento de material inflamable (sólido o líquido) del equipo de proceso. Si el material es líquido, almacenado a una temperatura por encima de su punto de ebullición normal, entonces una fracción del líquido se convertirá en vapor, con el líquido restante formando una piscina de vaporización rápida en la proximidad de la liberación. Una encuesta de accidentes pasados, revela que si no está contenido y controlado rápidamente el charco de derrame de combustible líquido puede atrapar fuego. Tal fuego puede engullir el recipiente que almacena el combustible, haciendo que explote. Los misiles resultantes generados en la forma de fragmentos de la nave destrozada, puede provocar nuevos incendios y explosiones. Si el derramado el

líquido se vaporiza sustancialmente, como sucede con gases licuados a presión: pueden formar una nube de vapor. La nube puede encenderse y provocar un incendio o una nube de vapor. En muchos casos la nube de vapor puede vagar a favor del viento varios cientos de metros y explotando, de esta manera, puede poner en peligro el proceso. (Vipin, 2018).

Una explosión es un proceso que supone la producción de una discontinuidad de presión. Una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Esta liberación tiene que ser, no obstante, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible. Wells, (2003), Ibarra (2016) y Mitropetros (2016).

Las explosiones de tipo BLEVE son uno de los peores accidentes que pueden ocurrir en la industria química o en el transporte de mercancías peligrosas. (Casal *et al.*, 2002).

Si un recipiente que contiene un líquido a presión es calentado la presión en su interior irá en aumento. Llegará un momento en el que las paredes no podrán resistir la elevada tensión a la que están sometidas y cederán. Esto sucederá principalmente en la parte superior del recipiente, donde la pared al no estar bañada por el líquido no estará refrigerada, de este modo aumentará su temperatura y disminuirá su resistencia mecánica. En cambio, la parte del recipiente situada por debajo del nivel del líquido que contiene transmitirá el calor recibido al líquido, por lo que se calentará mucho menos que la parte superior. En caso de abertura de una válvula de seguridad, la ebullición del líquido implicará una refrigeración aún mayor de esta superficie, debido al calor de vaporización. (Casal *et al.*, 2002).

Cuando se consideran explosiones que provienen de una fuente puntual, por ejemplo el BLEVE y la explosión de fase condensada, para la valoración de las consecuencias de los efectos de la sobrepresión se utiliza el modelo TNT equivalente, modelo conservador que convierte la energía liberada en equivalentes de TNT. (Díaz, 2006).

En cualquier caso de explosión, Ibarra (2016), se puede despreciar tanto la velocidad como la dirección del viento, ya que la velocidad de los fragmentos es mucho mayor, solamente se considerarán las características del escenario y del diseño del recipiente. (Al-Dahhan, 2018).

Los proyectiles, causados por la fragmentación, ya sea debido a la explosión de un equipo o por la proyección de partes de máquinas giratorias, son definidos como "proyectiles principales", debido a que son generados directamente del fallo de un equipo, mientras que se entiende por "proyectiles secundarios" los objetos que son arrastrados por la onda de choque en los alrededores del equipo que explotó. Al realizarse un estudio de efecto dominó la atención debe centrarse en los "proyectiles primarios", ya que estos son los que con mayor probabilidad pueden provocar la intensificación. La valoración de la proyección se puede dividir en tres pasos: el cálculo de la velocidad del fragmento: la estimación de las características de la fragmentación y el análisis del impacto. (Reniers and Cozzani, 2013).

La acción de la combinación BLEVE-bola de fuego puede sintetizarse en los efectos siguientes: radiación térmica, onda de sobrepresión, fragmentos despedidos por la explosión y lluvia eventual de combustibles en los alrededores.

Kidam y Hurme, (2013) plantean que los accidentes más frecuentes causados en equipos son los sucedidos en tuberías en un 25%, en reactores y tanques de almacenamiento con un 14%, y los tanques de proceso con un 10%. Los seis equipamientos más propensos a accidentes representan acerca de un 80% de los accidentes totales ocurridos en equipos de procesos, por lo que, a estos equipamientos, hay que prestarles mayor atención. El 78% de los accidentes en equipos son debidos a fallas en el diseño y de técnicas ejecutadas por humanos. Las razones organizacionales y puramente humanas son responsables en un 33% de los tanques de almacenamientos, un 18% de las tuberías y un 16% de los equipos de transferencia de calor. Para otros equipos, las causas técnicas son las más comunes de los accidentes.

En accidentes industriales las ondas expansivas, pueden generarse a partir de diferentes escenarios como son: rotura de tanques, explosiones de nube de vapor,

BLEVE y explosiones de vapores condensados. Las consecuencias de las ondas expansivas sobre la estructura de equipamiento, depende de las características de la misma y de las instalaciones como: forma, tamaño, masa y resistencia dinámica. (Necci, 2015).

Entre las tres grandes categorías de accidentes que ocurren en industrias de procesos químicos (IPC): incendios, explosiones y liberación tóxica: el fuego es el más común. Entre los diferentes tipos de accidentes de incendio: charco de fuego, fuego repentino y bola de fuego: la más común es el charco de fuego.

También sucede a menudo que un incendio puede propagarse de un grupo para crear otros incendios, o una explosión puede desencadenar más de un charco de fuego. Se produce un charco de fuego cuando un líquido inflamable es accidentalmente liberado en el suelo y se enciende. El incendio en un tanque de almacenamiento de líquidos también es una forma de charco de fuego, como lo es un fuego de trinchera.

A criterio del autor se plantea que los incendios y explosiones son los accidentes que más ocurren dentro de la industria, de ahí la importancia de su estudio y evaluación de su impacto. Según la bibliografía consultada, los escenarios relacionados a incendios y/o explosiones que se deben analizar son: charco de fuego, nube de vapor inflamable, nube de vapor explosiva, BLEVE y el borbollón.

1.2 Análisis histórico referido a pérdidas económicas por accidentes en la industria petrolera.

Con datos de diferentes bibliografías especializadas en el siguiente epígrafe se mostraran algunos hechos históricos de accidentes provocados por incendios y explosiones los cuales son de indispensable conocimiento para así poder aplicar los diferentes métodos y obtener datos cuantitativos del impacto económico de los mismos.

Los incidentes químicos pueden tener muchas manifestaciones ya sean natural o antropogénicos. Por consiguiente, el término “incidentes químicos” podría referirse a los eventos antropogénicos como la explosión de una fábrica que guarda o usa los químicos, un derramamiento de aceite, una gotera en una unidad del

almacenamiento durante transporte que es (probablemente para ser) asociado con la exposición química. (World Health Organization, 2009).

Los incidentes pueden ocurrir dentro y al aire libre, siendo estos los más importantes porque son a menudo más grandes y tienen el potencial para afectar a más individuos que los descargos interiores. Las consecuencias de descargos al aire libre pueden extenderse al ambiente interior, y puede producir las exposiciones dentro de los edificios y los riesgos subsecuentes desde el punto de vista económico. (World Health Organization, 2009) y (Blengini, (2017).

Con bastante frecuencia, se inician accidentes importantes en el proceso químico industrial en los tanques de almacenamiento sobre el suelo o "atmosféricos" que pueden sufrir pérdidas de confinamiento debido a una variedad de razones. Según Chang y Lin, (2005), el rayo es la causa más frecuente de falla de los tanques atmosféricos, y representa un tercio de todos los accidentes. Otras causas, en orden decreciente, son el error de mantenimiento, el error operacional, el sabotaje, la falla del equipo, el agrietamiento y el arrebato, la electricidad estática, la fuga y la lineruptura, las llamas abiertas, los desastres naturales como los terremotos y las cañas y las reacciones descontroladas. (Taussef, 2018) y (Lees, 2012).

En proceso químico industrial (IPC) en particular, los incendios de charcos de fuego son los más frecuentes de todos los tipos posibles de accidentes. Los charcos de fuegos son también, la mayoría de las veces, los desencadenantes de incendios más grandes, explosiones y / o liberaciones tóxicas. La mayoría de los accidentes catastróficos que han ocurrido en el IPC comienzan con un charco de fuego, que luego llevan a otros incendios y / o explosiones, que agravan la inicial y así ocurre un accidente muchas veces más. En la vida cotidiana también, como también en incendios forestales, los principales accidentes de incendio comienzan con un pequeño charco de fuego. (Vipin, 2018).

Debido a estas razones, una comprensión de los factores que puedan influenciar los incendios por charcos de fuego, y los mecanismos asociados, es esencial para idear estrategias para controlar y mitigar el desastre. En el IPC, se relatan estudios de casos de algunos de los principales accidentes de charcos de fuego, realiza un

análisis de accidentes pasados y describe el mecanismo de incendios por charcos de fuego. (Vipin, 2018).

Signal Hill, California, el 22 de mayo de 1958, un barril de 80000 L que sirve como recipiente de alimentación para una unidad que rompe la viscosidad en una refinería en Signal Hill, California, entró en erupción. El aceite en el tanque estaba a una temperatura de 157 °C cuando un poco de vapor se generó haciendo que el aceite formara espuma. Parte del techo fue arrancada y la espuma de aceite fluyó hacia afuera. No había incendio inmediato incluso cuando la espuma de aceite fluyó a través de la planta en una ola de un metro de altura. Una erupción más ocurrió y la espuma se encendió. El fuego cubrió un área de 27 hectáreas y quemadas durante 40 horas. Dos personas murieron y 18 resultaron heridos. La fuente del agua que causó la erupción no estaba clara; pudo haber estado el tanque. (Vipin, 2018).

Polonia, 1971, el 26 de junio de 1971, un rayo golpeó uno de los tanques de almacenamiento, causando que su techo colapsara y liberara aceite en un paquete adjunto. Había cuatro tanques de petróleo crudo idénticos cerca, cada uno en un paquete separado diseñado para el 100% del volumen del tanque y 0,6 m capa de alta espuma. Después de un día, y a pesar de la lucha contra incendios, esfuerzos que en gran medida resultaron inútiles, el primer tanque explotó debido a la ignición de vapores inflamables dentro del tanque. La dispersión del fuego no se movió solo a toda el área de los cuatro tanques también ocurrió en el área de la refinería muy lejos de los bancos. (Vipin, 2018).

Newark, New Jersey, Estados Unidos, 1983, el 1 de julio de 1983, ignición de los vapores de gasolina que se habían formado debido a derrames de un tanque de techo flotante sobrecargado. Entonces iniciaron cuatro incendios. Este incidente causó daños por 10 millones de dólares al terminal y hasta 25 millones en reclamaciones legales por daños al material rodante ferroviario y propiedades adyacentes. Aunque los diques contenían el derrame ardiente, dos contiguos tanques de techo flotante internos y un tanque de transmisión más pequeño todavía se incendiaron. Los tres fueron destruidos junto con 19100 kilolitros del producto. (Vipin, 2018).

Nápoles, Italia, 1985, el 21 de diciembre de 1985, 24 charcos de fuego comenzaron simultáneamente en tanques de almacenamiento de diesel y gasolina. Fueron provocados por una explosión de nube de vapor ocurrido como resultado del sobrellenado de un tanque de techo flotante. Aproximadamente 700 kilolitros de inflamables sostenidos. El charco se quemó durante 6 días en un área afectada de aproximadamente 49.000 m. El daño ascendió a 51 millones de dólares. (Vipin, 2018).

Lyon, Francia, 1987, el 2 de junio de 1987, una violenta explosión resultado de la ignición de los aditivos de combustible que fueron siendo liberado en forma de spray. La ignición fue causada por una chispa de una operación de soldadura. La explosión comenzó numerosos incendios que finalmente se extendieron a 11 tanques. Acerca de 37,000 kilolitros de combustible que incluyó 1900 kilolitros de combustible doméstico y combustible diésel, 1200 kilolitros de gasolina y 600 kilolitros de aditivos de combustible en 14 tanques se consumieron en el charco. El daño costó 26 millones de dólares. (Vipin, 2018).

Denver, Colorado, 1990, el 25 de noviembre de 1990, se produjeron siete incendios en una granja de tanques que contenía aproximadamente 61000 kilolitros de la alimentación por chorro. Se cree que los incendios de la piscina fueron iniciados por la ignición de la fuga de combustible de una bomba de alimentación operativa. El motor eléctrico para la bomba sirvió como fuente de ignición. Una tubería de suministro agrietada en el pozo de la válvula proporcionó combustible adicional para los incendios de la piscina. A medida que los incendios continuaron, las juntas de acoplamiento en la tubería deteriorada se fueron rompiendo y más combustible salió del almacenamiento. Tanques, alimentando sustancialmente los incendios. Además, la válvula controlaba esporádicamente el flujo de combustible en la línea de suministro al aeropuerto. Alturas de la llama se observaron hasta de 100 m en el momento del accidente. Los daños contaron con 30.6 millones de dólares. (Vipin, 2018).

Saint Herblain, Francia, 1991, el 7 de octubre de 1991, dos de los incendios en el charco comenzaron como resultado de la explosión de una nube de vapor causado por sobrellenado de gasolina. La granja de tanques consistía en 11 tanques de

almacenamiento que contienen 1500–15,000 kilolitros de combustible. Dos de los tanques fueron completamente quemados afuera. El accidente dañó otros 3 tanques de hidrocarburos en un cercano tanque de la granja. Las llamas se elevaron hasta 50 m en el aire. (Vipin, 2018).

Un grave accidente de incendio y explosión que resultó en una fuga masiva de petróleo crudo y en condiciones ambientales graves la contaminación ocurrió el 16 de julio de 2010 en el puerto de Dalian, China. Para investigar la causa raíz del accidente y realizar una investigación de amplio alcance, el agente desulfurante JH02, que tiene un ingrediente similar al del agente de desulfuración HD, utilizado en el puerto de Dalian y el TS02 se emplearon en este estudio para determinar el papel de agentes desulfurantes en el accidente. El comportamiento térmico del crudo, los agentes desulfurantes, las mezclas se midieron utilizando un calorímetro C80. Al utilizar los datos calorimétricos, los parámetros cinéticos de la reacción química, como la energía de activación, el factor preexponencial y la aceleración automática se calcularon la temperatura de descomposición del petróleo crudo, así como JH02, TS02 y sus mezclas y se compararon. Los resultados indicaron que la causa directa del accidente fue la fuga térmica iniciado por el aumento de la inestabilidad de la mezcla de agente desulfurante de petróleo crudo. Exceso de presión en el oleoducto provocó la explosión física, pero solo no fue suficiente para causar un daño grave. Los resultados de este estudio beneficiarían la gestión de la seguridad de los procesos durante la producción y almacenamiento. (Guo, 2013), (Zhao, 2016).

El 16 de julio de 2010, ocurrió una ruptura inesperada del oleoducto. La desulfuración en la nueva terminal de petróleo del puerto de Dalian dio lugar a un incendio grave y accidente de explosión. El petróleo crudo duró más de 15 h. Aproximadamente 3000 bomberos y más de 1000 soldados ayudaron a controlar los incendios. En consecuencia, 63000 toneladas de petróleo crudo se extendieron a lo largo del circuito de flujo, causando así una grave contaminación marina en un área de hasta 430 km². Las pérdidas directas de propiedad de este accidente alcanzaron hasta 35 millones de dólares, mientras que las pérdidas económicas indirectas, fueron difíciles de estimar. (Han, 2010).

El accidente en la terminal petrolera del puerto de Dalian fue grave y catastrófico debido al efecto dominó provocado por la primera explosión. Este accidente conmocionó al mundo y provocó que industrias aprendieran del evento catastrófico. La razón principal para el accidente fue analizada y discutida ya que se hacía necesario identificar la causa raíz del accidente. (Guo, 2013).

A criterio del autor es importante conocer los distintos accidentes ocurridos a nivel global para así demostrar con cifras las pérdidas económicas a las que hacen los mismos siendo estas muy altas. Además, se puede decir que los accidentes provocados por charcos de fuego han sido los más frecuentes y que tras un efecto dominó han provocado otros efectos como incendios y explosiones.

1.3 Herramientas metodológicas o índices que permitan cuantificar el impacto económico de posibles accidentes provocados por incendios y explosiones.

En este epígrafe se muestran los distintos índices de riesgo tecnológico que pueden determinar de forma cuantitativa los daños provocados en la industria los accidentes por incendios y explosión. En este caso se analizarán solo los índices basados en la peligrosidad de las sustancias debido a que son estos los que se necesita conocer para desarrollar el método más eficiente posteriormente.

Un índice es aquel cuyo valor numérico que pretende medir una característica determinada del objeto de un estudio, comparándolo con otros de referencia. Por tanto, un índice de riesgo tecnológico pretende evaluar el riesgo inherente de una instalación o proceso industrial, por comparación con otro considerado estándar, mediante el uso de unas listas de comprobación cuantificada y más o menos detallada según el índice utilizado. (Carol, 2001).

Los índices de riesgo tecnológico según sus efectos se estructuran en tres grandes categorías fundamentales en función de su nivel de descripción de la realidad:

- 1) Índices basados en la definición matemática de riesgo.
- 2) Índices basados en la carga de fuego.
- 3) Índices basados en la peligrosidad de las sustancias químicas.

El método IFAL (*Instantaneous Fractional Annual Loss*) fue publicado en 1979 por el *Insurance Technical Bureau*. Se basa en el cálculo de la pérdida anual esperada, expresada como fracción del total del valor de la planta evaluada, promediada durante un largo período de años, y suponiendo que durante ese período las condiciones de operación se mantengan constantes. (Lees, 2012).

Carol, (2001) y Gupta, (1997) afirman que el índice de incendio y explosión ha sido desarrollado por la empresa DOW y está ampliamente respaldado por el AIChE (*American Institute of Chemical Engineers*). Constituye un índice de riesgo exclusivo para incendios y explosiones pero especialmente desarrollado para empresas químicas con un riesgo significativo.

Gupta, (1997) y Wang, (2013) definen que los objetivos del método son: cuantificar el daño esperado ocasionado por un incendio o una explosión, identificar los equipos que generan el mayor riesgo potencial y facilitar a la gerencia de seguridad una priorización de las medidas a adoptar

El índice de incendio y explosión (en adelante F&E) ha sido ampliamente contrastado por la empresa Dow y empleado por muchas otras, particularmente aquellas susceptibles de generar accidentes graves. Sin embargo se desconoce cuál ha sido el universo de estudio, el método y el rango de empresas y países analizado para el cálculo de los coeficientes. AIChE, (1994).

Según Gupta, (1997) y Saurdin, (2006) el índice DOW, de manera similar, se puede actualizar con insumos frescos. Algunos países en desarrollo con poblaciones de mayor densidad pueden entonces escalar valores para sus situaciones específicas. Basado en el valor F&E, la intensidad de la temperatura, las radiaciones y las sobrepresiones de explosión pueden ser aproximada con la ayuda de los datos históricos. Esta ayudará de una manera más definitiva en su determinación de las causalidades esperadas así como las medidas exactas a tomar por adelantado para minimizar, por ejemplo, lucha contra incendios, montaje, explosión de paredes contra explosiones, entre otras. Los ejemplos actuales deben ser revisados y su número debe ser aumentado en gran medida. Uno de los ejemplos más detallados y completos sobre el uso del índice DOW se muestran en otras situaciones tal es el

caso de la oxidación de propano, en donde el relleno del formulario F&E había sido demostrado mediante seis de las unidades de fabricación, a saber: área de reacción, absorbedor de alcohol, recuperación de propano, separación de alcohol, almacenamiento de propano, almacenamiento de alcohol. Éstas son bastante instructivas. El Índice DOW, basado en la experiencia de los países desarrollados pero cada vez más utilizados en todo el mundo, asume que la formación, experiencia, actitudes de gestión y personal hacia el trabajo y la seguridad, disponibilidad de fondos puede ser modificado para la situación.

El F&E añade posteriormente unas consideraciones adicionales que permiten estimar el importe de los daños materiales originados por un accidente y la pérdida de beneficios derivada de la paralización de las instalaciones. Con ello se convierte en una herramienta básica para la gerencia de riesgos. (AIChE, 1994).

Contrariamente a lo que sucedía con los métodos de aplicación general, el F&E no contempla el peligro para las personas ni las condiciones de evacuación. (AIChE, 1994).

El método F&E de DOW, permite evaluar un índice de riesgo exclusivamente derivado de incendio y/o explosión en industrias del sector químico. Los coeficientes aportados para cada factor de riesgo no se justifican estadísticamente, y aunque se observan tendencias muy similares a las de los otros métodos analizados, lo cierto es que los pesos relativos atribuidos en unos y en otros no se corresponden. (AIChE, 1994)

Como limitaciones más destacables se indican la no consideración de los incendios exógenos ni la propagación de un incendio a plantas vecinas (efectos dominó). Tampoco se hacen consideraciones relevantes con relación al riesgo de contaminación ambiental por escapes, fugas o generación de atmósferas tóxicas. La estimación de las consecuencias de una fuga se deja a criterio del analista y se renuncia a la aplicación de algún modelo de dispersión o técnica equivalente más objetiva. (Gupta, 1997.)

Como gran ventaja destaca el hecho de que el método ha venido aplicándose durante decenas de años con un resultado práctico que ha permitido su revisión y puesta al día. (Gupta, 1997.)

La Guía en lo sucesivo denominado Índice DOW se ha convertido en una referencia estándar en numerosos países para evaluar los posibles peligros por incendio y explosión. En la industria de procesos químicos su uso también se está extendiendo a los países en desarrollo por su carácter internacional de grandes proyectos que involucran financiación multinacional, así como las licencias de tecnología, diseño, fabricación, puesta en marcha y / o formación por parte de empresas extranjeras porque el índice DOW proporciona medios comunes de evaluación. En los países en desarrollo, la situación es, a menudo, muy diferente debido a diversos factores asociados con la disponibilidad de recursos, costos de artículos importados, capacitación, manejo y actitudes del personal, normativas, políticas y burocráticas. (Gupta, 1997.).

El índice Mond fue desarrollado por *Imperial Chemical Industries* (ICI) y la primera versión apareció en el año 1979. La exposición que se hace a continuación se basa en la segunda edición del método, publicada por ICI en 1985. (ICI, 1985).

Es un índice de riesgo de incendio y explosión aplicable a industrias de proceso de gran capacidad productiva. Sin embargo, la toxicidad de los materiales involucrados o de los que posiblemente se generen en un accidente, es contemplada únicamente como un factor agravante en las tareas de control y limitación de la incidencia y no como un posible riesgo en sí mismo. (Carol, 2001).

La aplicación del método, a diferencia de los anteriores, es iterativa, por cuanto en primer lugar se divide la instalación objeto de estudio en unidades de proceso, se describen los materiales determinantes en el riesgo y se evalúa el peor caso. Una vez obtenido un primer resultado, se corrige con la modificación de los índices más determinantes (si ello es razonable) y por último se modifican los valores obtenidos

mediante la aplicación de unos factores correctores que tienen en consideración aquellos aspectos que minimizan el riesgo, igual que se hacía en el método DOW.(Carol, 2001).

El método no se complementa con cálculos sobre la pérdida de beneficios, el área afectada o los días de paralización. Sin embargo se subdivide en varios factores indicadores de riesgos parciales (explosión e incendio por separado). (Carol, 2001).

Resulta interesante destacar que hay unas semejanzas evidentes con el método DOW, en especial en lo que a los factores considerados se refiere. Sin embargo, la evaluación del índice de riesgo no se limita al producto de unos factores por otros sino que introduce en la fórmula de cálculo exponentes fraccionarios y correcciones por temperatura o presión. No obstante, se desconocen las bases de cálculo utilizadas para el ajuste de los coeficientes así como los casos estudiados para la obtención de los valores calculados. (Carol, 2001).

El índice de la *Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole*. (Método UCSIP) es un método desarrollado por la *Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole* en Francia. Sus objetivos son el análisis semicuantitativo de riesgos en términos de probabilidad y gravedad, que se integran en el cálculo del factor de seguridad. Se desarrolló para industrias petroleras, refinerías y plantas petroquímicas, aunque es de fácil adaptación a otras industrias del sector químico. Su compleja aplicación hace casi imposible su cálculo sin apoyo informático. Incluso en ocasiones es preferible abordar un análisis cuantitativo de riesgos completo. (Carol, 2001).

El Índice de riesgo de procesos químicos (INSHT) es elaborados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, pretenden la evaluación sistemática de todos los riesgos (tecnológicos y laborales) presentes en las plantas de tipo químico (por separado), con un enfoque muy similar al de los métodos específicos descritos anteriormente y sin embargo con aportaciones muy significativas en

cuanto a las hojas de trabajo y la parametrización de los factores de riesgo. (INSHT, 1995).

Se trata por tanto de un método desarrollado específicamente para plantas de tipo químico. Sin embargo, no se limita a la evaluación de un índice de riesgo de incendio y/o explosión, sino que contempla una larga relación de peligros, incluidos los relacionados con el área de higiene y condiciones de salud laboral. En este sentido resulta muy útil para valorar riesgos toxicológicos o de accidentes graves no necesariamente de incendio. (INSHT, 1995).

El Índice *Chemical Exposure Index* de DOW (CEI) tuvo la primera versión de este método en 1986 por DOW y contempla el riesgo de exposición a contaminantes químicos derivado de un accidente tecnológico agudo. Por lo tanto no es un índice de riesgo de incendio como los anteriores y, en principio, si exclusivo para aplicar en industrias químicas o que manipulen sustancias tóxicas o peligrosas. No evalúa las probabilidades de ocurrencia del suceso y no valora la mayor o menor peligrosidad intrínseca del proceso, sino que únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada. (Carol, 2001).

Para valorar el impacto de una fuga accidental, se consideran en el CEI cinco parámetros fundamentales: toxicidad, cantidad de materia emitida a la atmósfera, distancia al área sensible a la fuga, peso molecular de la sustancia y otras variables que influyen en la magnitud del daño. Cada uno de estos cinco parámetros es ponderado en una escala de intervalo que varía de 0 a 4 y el producto de todos ellos da como resultado el índice CEI. (Carol, 2001).

Para la estimación de las cantidades de sustancia que constituyen las nubes tóxicas o para determinar las velocidades de salida de los fluidos a través de los orificios que se asumen en los diferentes escenarios, se utilizan modelos muy simplificados de reconocida solvencia. (Carol, 2001).

Este índice es utilizado para establecer un ranking de prioridades a la hora de valorar y corregir situaciones peligrosas. En los procesos de gerencia de riesgos de la empresa DOW, niveles del CEI inferiores a 100 determinan analizar de forma

periódica el riesgo, sin más detalle. Niveles entre 100 y 300 determinan profundizar en el análisis de riesgo de forma más generalizada. Valores por encima de 300 determinan la intervención de técnicos especializados de la corporación en análisis de riesgos. (Carol, 2001).

Según Carol, (2001) y Gupta, (1997) pese a que los resultados obtenidos de la aplicación del índice se consideran buenos, se apuntan unas limitaciones importantes que han motivado la revisión del mismo. Por una parte, la selección de los escenarios era inconsistente de una planta a otra, provocando resultados totalmente dispares en instalaciones muy similares. Por otra, la poca sensibilidad del método a la descripción de la propia planta implica que la incorporación de medidas correctoras queda incorrectamente reflejada en la disminución del índice CEI.

A criterio del autor el Índice de Incendio y Explosión de Dow, es la herramienta más aceptada para evaluar el impacto económico de accidentes provocados por incendios y explosiones porque los demás índices tienen algunas limitaciones como:

- El método IFAL es ideal pero las condiciones de diseño de una planta, que no es el caso de este trabajo.
- El método de Mond no se complementa con cálculos sobre la pérdida de beneficios, el área afectada o los días de paralización.
- El índice de la *Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Pétrole*. (Método UCSIP) necesita para su aplicación el apoyo de soportes informáticos avanzados debido a la complejidad matemática que presenta.
- El índice *Chemical Exposure Index* de Dow únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada.

1.4 Conclusiones parciales:

- En los procesos de almacenamiento de combustibles los escenarios relacionados a incendios y/o explosiones que se manifiestan en la industria petrolera son: charco de fuego, nube de vapor inflamable, nube de vapor explosiva y el borbollón.

- El análisis histórico de los accidentes provocados por incendios y explosiones da una idea previa de los posteriores daños que se puedan producir en plantas de igual construcción y funcionamiento.
- El índice de riesgo tecnológico más utilizado para cuantificar los daños económicos de accidentes de incendio y explosión es el Índice DOW.

Capítulo 2: Materiales y métodos.

En el presente capítulo se muestra en un inicio una breve explicación que describe el desarrollo del proceso en la Terminal 320 y la Base en tierra de la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas. Además, se realiza un análisis detallado de la metodología para la evaluación del impacto económico a través del índice de incendio y explosión de DOW y las técnicas que este método permite calcular después de haberlo analizado bibliográficamente en el capítulo anterior, siendo este el más aceptado para determinar los riesgos que se puedan presentar en la empresa.

El Índice de Fuego y Explosión (F&EI) es un índice exhaustivo y global que brinda un valor relativo de riesgo de unidades de procesos individuales dañadas debido a incendios y explosiones potenciales. En este epígrafe se hace un análisis de los principales aspectos que desarrolla el método, importante para el estudio de la planta.

Las mediciones cuantitativas empleadas en el análisis se basan en datos históricos, en la energía potencial de los materiales en el estudio y en las extensiones en las que ocurren estos fenómenos.

Los objetivos del sistema de F&EI son:

1. Cuantificar los daños esperados de fuego, explosión e incidentes de reactividad potenciales en términos realísticos.
2. Identificar el equipamiento que estaría vinculado a la creación o escalado de un incidente.
3. Comunicar el riesgo potencial F&EI para la gestión.

El más importante propósito es hacer consciente al ingeniero de las pérdidas potenciales de cada área del proceso y ayudarlo a identificar las formas de disminuir la severidad y las pérdidas de dinero resultantes de incidentes potenciales en una forma eficiente y efectiva de costo.

En la figura 2.1 se muestra la metodología a seguir para utilizar este método.

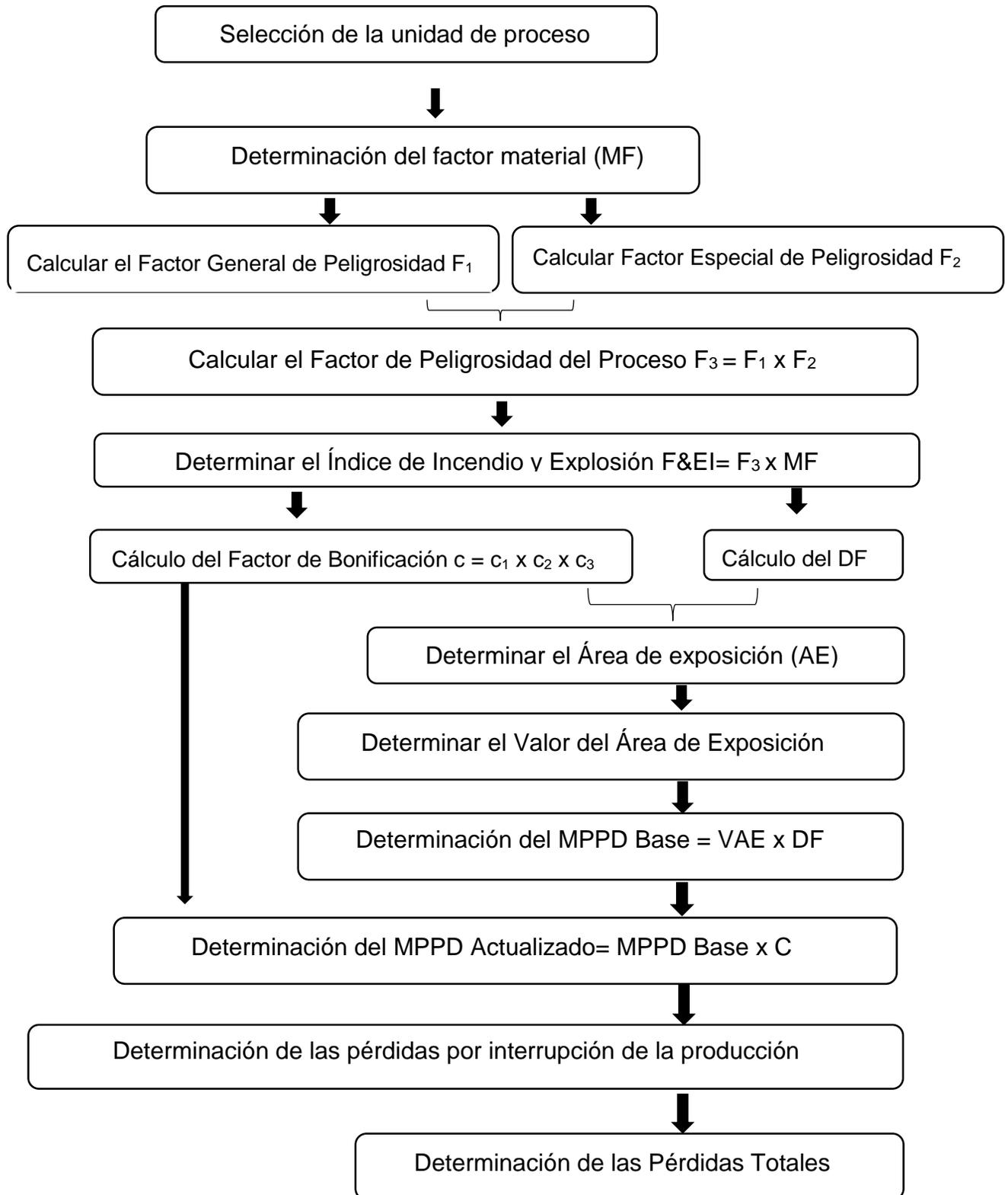


Figura 2.1: Metodología para la evaluación del impacto económico a través del Índice de Incendio y Explosión de Dow.

2.1 Descripción del proceso tecnológico en la Terminal 320 y en Base en Tierra.

En la División Territorial Comercialización de Combustibles de Matanzas se destaca el sistema de Base en Tierra que es parte integrante del complejo de recepción, almacenamiento y entrega de productos que opera en esta instalación. Está constituido por un área de 4 tanques, los mismos están enumerados de la siguiente manera: 49, 50, 51 y 52 (Anexo #1) con una capacidad de 50000 m³, un nivel máximo operacional de 10792 mm y un nivel mínimo operacional de 600 mm en los cuales se recibe, almacena y se entrega Petróleo Combustible y Crudo de Importación. Además lo conforman otras áreas de tanques: 53, 54, 55 y 56 (Anexo #2) que también almacenan petróleo crudo y la otra compuesta por los tanques 60-1, 60-2, 70-1 y 70-2 que contienen Diesel (Anexo #3). En el techo del tanque se encuentran otros accesorios como son dos registros de inspección con un diámetro de 500 mm cada uno, una escotilla de montaje con diámetro de 1000 mm, una escotilla de medición con diámetro de 150 mm cada una. Están provistos de tres líneas de entrada y salida de diámetro igual a 630 mm, las cuales tienen como objetivo la recepción y entrega de productos. Estas líneas se encuentran conectadas a través de un sistema colector a dos líneas magistrales de 820 mm y 1220 mm de diámetro respectivamente que son las encargadas de conectar la base con los muelles y la Base de Crudos.

La Terminal 320 es un área dispuesta a la recepción, almacenamiento y entrega de productos que opera en esta instalación. La misma consta con un área de tanques enumerados de la siguiente manera: 1, 24, 25, 4 y 26 en los cuales se almacena Diesel; otros son: 18, 74 y 19 de gasolina de aviación; además se encuentran 13, 22 y 23 de turbo combustible; el 17 de nafta solvente y por último los tanques 30 y 38 de fuel oil. También se ubican diferentes líneas tecnológicas que garantizan el trasiego correcto de combustibles. (Anexo #3 y #4).

La tabla 2.1 y 2.2 muestran las características, las sustancias que contienen, las tuberías y la capacidad de los tanques ubicados en la Base en Tierra y de la Terminal 320.

Tabla 2.1: Características de los tanques de la Base en Tierra.

Tanques	Sustancia que almacena	Capacidad (m ³)	Diámetro del tanque (m)	Diámetro de las tuberías(mm)	
				Entrada	Salida
49	Fuel oil	41178.522	70	630	630
				820	820
				1220	1220
50	Fuel oil	41532.5803	70	630	630
				820	820
				1220	1220
51	Fuel oil	40120.1955	70	630	630
				820	820
				1220	1220
52	Fuel oil	41532.5803	70	630	630
				820	820
				1220	1220
53	Fuel oil	41532.5803	70	630	630
				820	820
				1220	1220
54	Fuel oil	38484.6	70	630	630
				820	820
				1220	1220
55	Fuel oil	41532.5803	70	630	630
				820	820
				1220	1220
56	Fuel oil	41532.5803	70	630	630

				820	820
				1220	1220
60-1	Diesel	7690.6368	24	254	254
60-2	Diesel	7338.2464	24	254	254
70-1	Diesel	7690.6368	24	254	254
70-2	Diesel	7600.1587	24	254	254

Tabla 2.2: Características de los tanques de la Terminal 320.

Tanques	Sustancia que almacena	Capacidad (m ³)	Diámetro del tanque (m)	Diámetro de las tuberías(mm)	
				Entrada	Salida
1	Diesel	8542	35	304,8	203,2
24	Diesel	11341	34,2	304,8	304,8
25	Diesel	11411	34,2	304,8	203,2
4	Diesel	10996	34,2	304,8	203,2
26	Diesel	11608	34,2	304,8	304,8
18	Gas aviación	2316	15,2	203,2	152,4
74	Gas aviación	1412	11	152,4	152,4
19	Gas aviación	745	10,2	152,4	152,4
13	Turbo comb	11147	36,5	304,8	304,8
22	Turbo comb	10885	34,2	304,8	304,8
23	Turbo comb	11524	34,2	304,8	304,8

17	Nafta solvente	4647	22	304,8	203,2
30	Fuel oil	10914	34,2	609,6	406,4
38	Fuel oil	10919	34,2	355,6	304,8

2.2 Metodología para la evaluación del impacto económico a través del Índice de Incendio y Explosión de Dow.

La aplicación del método permite cuantificar numéricamente:

- Un nivel de riesgo, que se establece a través de un valor numérico denominado índice de incendio y explosión y que normalmente se sitúa en el rango de 1-200 (rango que comprende diferentes calificativos de peligro, que van de ligero a severo).
- Un área de exposición, identificada con un círculo de radio proporcional al índice de incendio y explosión y que normalmente se sitúa en el rango 0-50m. El máximo daño probable, evaluado como costo económico del accidente, debido a la pérdida de instalaciones.
- Se evalúa como una fracción del costo de las instalaciones afectadas por el área de exposición. Los máximos días probables de indisponibilidad, desde el momento del accidente hasta el momento en que puede reanudarse la producción.
- El daño derivado de la pérdida de la producción, como producto de los días de indisponibilidad de la planta por el valor perdido de la producción. Se sugiere utilizar un factor multiplicador de 0,7 para tener en cuenta ciertos rendimientos de los costos fijos.

Para aplicar el índice, la documentación básica necesaria y datos de planta a recopilar serían:

Documentación básica:

- Planos de implementación. (útiles para dibujar los círculos e identificar unidades).

- Diagramas de flujo.
- Dependiendo del nivel de información incorporado en los diagramas de flujo, pueden ser también necesarios los planos de tuberías e instrumentación (PID) y las hojas de especificación de ciertos equipos críticos.

Datos de cada unidad:

- ❖ Identificación de las sustancias procesadas y sus principales parámetros:
 - Factor de material.
 - Propiedades físicas: entalpía de combustión, temperatura de destello (flash-point) y temperatura de ebullición.
- ❖ Datos de proceso:
 - Presión de tarado de los sistemas de alivio.
 - Temperatura y presión de operación.
 - Estado del producto: gas, gas licuado, líquido, líquido viscoso, sólido pulverulento, sólido compacto o granulado.
 - Cantidades retenidas de producto en las diferentes secciones del proceso.

Para desarrollar un F&EI, se necesita lo siguiente:

- a. Un plano exacto de la planta.
- b. Un diagrama de flujo del proceso.
- c. Esta guía de F&EI, séptima edición.
- d. Una forma de F&EI
- e. Una forma de los factores de crédito de pérdida de control.
- f. Una forma de resumen de análisis de unidades de proceso.
- g. Una forma de resumen de análisis de riesgo de una unidad manufacturada
- h. Datos de costo de reposición para el equipamiento de estudio instalado en el proceso.

El procedimiento a seguir se lista a continuación. Se presenta una carta de flujo para el procedimiento para el cálculo de análisis de riesgos.

1. La selección de las Unidades de Proceso Pertinentes que se consideran de importancia clave para el proceso y que tendrían impacto sobre la magnitud de un fuego o explosión potencial.
2. Se determina el Factor Material (MF) para cada unidad de proceso. El MF para un material en particular en la Unidad de Proceso se obtiene de AIChE, (1994).
3. Se calcula el Factor General de Peligrosidad del Proceso (F_1) con la aplicación de las penalidades apropiadas.
4. El cálculo se completa para el Factor Especial de Peligrosidad del Proceso (F_2) con la aplicación de las penalidades apropiadas.
5. Se realiza la determinación del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso (F_3), mediante el cálculo del producto de los Factores General y Especial de Peligrosidad del Proceso.
6. La determinación del F&EI se hace por el cálculo del producto del Factor de Peligrosidad de Unidad de Proceso y el Factor Material.
7. La determinación del Área de Exposición alrededor de la Unidad de Proceso que se está evaluando se hace a partir del radio de exposición.
8. Se hace la determinación del valor de reposición de todos los equipos dentro del Área de Exposición y el inventario. Se multiplica por el factor de actualización del costo al 2018.
9. Se determina el factor de daño (DF), el cual representa el grado de exposición a las pérdidas, se realiza con el uso de la figura del anexo 9, basada en el MF y el Factor de Peligrosidad de Unidad de Proceso.
10. Se realiza la determinación del Máximo Daño Probable a la Propiedad Base (MPPD Base), multiplicando el valor del área de exposición por el Factor de Daño.
11. Se calcula el factor de bonificación en función de diversos parámetros que disminuyen la incidencia de fuegos y explosiones. La multiplicación del Factor de Bonificación por Control de Pérdidas con la MPPD Base permite la determinación del MPPD Actualizado.

12. Se realiza la determinación de los Máximos Días Probables de Indisponibilidad (MPDO) a través de la figura del anexo 10, conociendo el MPPD Actualizado.
13. Se realiza el cálculo del daño económico por la pérdida de producción (proporcional al valor de pérdidas por este concepto durante los días de indisponibilidad), es la Interrupción de Negocios (BI) donde el MPDO se multiplica por el Valor de la Producción de un Año (VPA) y por 0,70 entre 30.

2.2.1 Selección de las Unidades de Proceso Pertinentes y determinación del factor material.

La primera etapa en el cálculo del F&EI requiere el empleo de un procedimiento eficiente y lógico para determinar cuáles unidades de proceso deberían estudiarse. Una unidad de proceso se define como una parte mayor de un equipamiento del proceso.

Existen factores importantes para la selección de las Unidades de Proceso, que incluyen:

- a. Energía química potencial. (Factor Material).
- b. Cantidad de materiales peligrosos en la Unidad de Proceso.
- c. Densidad del capital. (dólares por pie cuadrado).
- d. Presión y temperatura de proceso.
- e. Análisis histórico de problemas que resultaron en un incidente de fuego y explosión.
- f. Unidades críticas de la operación en la planta.

El factor material (MF) es una medida de la relación intrínseca de energía potencial liberada producto de un incendio o explosión por una combustión o reacción química. Se obtiene a partir de los índices N_F y N_R de la NFPA, que expresan inflamabilidad y reactividad respectivamente. El MF se puede encontrar en el Apéndice A del AIChE, (1994).

El factor material representa el peligro del material seleccionado a temperatura y presión ambientales. Si el material tiene una temperatura de destello menor que 60 °C, no se requiere un ajuste, ya que los peligros de inflamabilidad y reactividad ya están incluidos en el factor material. De lo contrario, se requiere el ajuste de temperatura usando AIChE, (1994).

2.2.2 Factores de Peligrosidad en Unidades de Procesos.

Luego de determinar el factor material adecuado, la siguiente etapa es calcular el Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso (F_3). Este es el término que se multiplica por el factor material para obtener el F&EI.

El valor numérico de este factor se determina primero, calculando el Factor General y luego el Factor Especial de peligrosidad de proceso. Cada uno de ellos, contribuye al desarrollo o escalado de un incidente que puede causar un incendio o explosión.

Cuando se calculan las penalidades del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso, F_3 , se selecciona un instante específico en el tiempo, durante el cual el material bajo esta consideración está en el estado más peligroso de operación normal. Se deben considerar las operaciones de arrancada, continua y cierre como estados operacionales.

En el sistema del F&EI, solo un peligro puede evaluarse en un tiempo. Si el MF se basa en líquidos inflamables en la Unidad del Proceso, no se toman penalidades relacionadas a polvos combustibles. Se reporta solo el cálculo del mayor F&EI.

2.2.3 Factor general de peligrosidad del proceso.

Los peligros generales del proceso son factores que juegan un rol primario en la determinación de la magnitud de un incidente de pérdida. Para evaluar la exposición al riesgo de cada Unidad de Proceso realísticamente, cada penalidad general de peligro para el proceso se debe aplicar bajo las condiciones de operación normal más peligrosas que deberían ocurrir durante la asociación de un factor material específico con las unidades de proceso que se analizan.

A. Manejo del material y transferencia el cual se evalúa cuando hay posibilidad de incendio en la Unidad de Proceso durante el manejo, transferencia y almacenamiento de materiales. La tabla 2.3 muestra las penalidades para diferentes situaciones.

Tabla 2.3: Penalidades para el manejo de material y transferencia.

Comportamiento de la sustancia	Penalidad
Líquidos o gases inflamables de $N_F=3$ o 4.	0,85
Combustibles líquidos.	0,25

B. Drenaje y control de derrames.

Estas penalidades se deben aplicar, solo si el material en la Unidad de Proceso tiene una temperatura de destello inferior a 140°F o 60°C o si el material se procesa por encima de su temperatura de destello.

Para evaluar el drenaje adecuado para el control de derrames, es necesario estimar el volumen combinado de material combustible inflamable y también la cantidad de agua necesaria en caso de incendio, para un drenaje seguro.

1. El cálculo del F&EI de capacidad de drenaje se basa en lo siguiente:
 - a. Para facilidades de proceso y almacenamiento, usar 100% de la capacidad del tanque a lo largo de la unidad a favor del 10% del tanque.
 - b. Asumir 30 minutos de flujo necesario de agua. (Para químicos muy peligrosos usar 60 min).
2. Selección de la penalidad. Esta se tiene en cuenta de acuerdo con la situación que se plantee. En la tabla 2.4 se muestran las distintas penalidades.

Tabla 2.4: Penalidades para el drenaje y el control de derrames.

Situación	Uso	Exposición	Penalidad
Terraplenes	Prevenir que los derrames vayan a otras áreas	Todo el equipamiento dentro del terraplén	0.50
Área llana alrededor de la unidad del proceso	Permitirá que los derrames se extiendan fuera	Grandes áreas a ocurrir un incendio si ocurre la ignición	0.50
Zanja	No se conocen los requerimientos de distancia	Líneas de utilidad	0.50

Un diseño de terraplén que rodee tres lados de un área y los derrames directos van a una zanja de drenaje no explosivo no recibe penalidad si se conocen los siguientes criterios:

1. La pendiente a la base o zanja es un mínimo de un 2% para superficies de tierra o un 1% para superficies duras.
2. La distancia al equipamiento desde el borde más cercano de la zanja a la base es al menos 50 ft (15 m).
3. La base tiene la capacidad de como mínimo, la suma de 1.a. y 1.b.

Un drenaje excelente se requiere para evitar este tipo de penalidades.

Una vez que ha sido evaluado todos los peligros generales del proceso, se realiza la suma del factor base y todos los factores de penalidad aplicados en esta sección. El total es el denominado Factor General de peligrosidad del proceso (F_1).

2.2.4 Factor especial de peligrosidad del proceso.

Los peligros especiales del proceso son los factores que contribuyen primeramente a la probabilidad de un incidente de pérdida. Estos están compuestos de condiciones de proceso específicas que han provocado incidentes de incendio y

explosión. En la tabla 2.5 se muestran las penalidades de los diferentes casos de peligro.

Tabla 2.5: Penalidades de los factores de peligro.

Factores	Condiciones	Penalidad
Materiales tóxicos.	Complican la responsabilidad del personal de emergencia.	0,20 x N _H
Operación dentro o cerca del rango de inflamabilidad.	Tanques que almacenan líquidos inflamables.	0.50
	Equipos de procesos o tanques de almacenamiento de procesos que puedan estar dentro o cerca del rango de inflamabilidad	0.30
	Procesos u operaciones que están por naturaleza, siempre dentro o cerca del rango de inflamabilidad	0.80
Corrosión y erosión.	Inferiores a 0,127 mm/año	0.10

	Por encima de 0,127 mm/año y menores que 0,254 mm/año	0.20
	Por encima de 0,254 mm/año	0.50
	Ritmo de estrés de corrosión	0.75
	Revestimiento para prevenir la corrosión	0.20
Escape por juntas y embalaje	Cuando la bomba y empates pueden provocar algún escape de una menor naturaleza.	0.10
	Escapes regulares por problemas en bombas.	0.30
	Procesos en los cuales ocurren ciclos térmicos y de presión.	0.30
	El material en la Unidad de Proceso es penetrante en naturaleza y provoca escapes.	0.40

El N_H que es el factor de salud de un material como define la NFPA 704 o dada en NFPA 325M o NFPA 49. El N_H para muchos materiales puede encontrarse en el AICHE (1994).

Otros factores que traen consigo la probabilidad de que ocurra un incidente de pérdida son los siguientes:

- A. Presión de alivio.

Cuando la presión de operación es por encima de la atmosférica, se aplica una penalidad para los mayores flujos de escapes por una presión más elevada en un evento de este tipo. Lo concerniente es la posibilidad de falla de algún componente en la Unidad de Proceso, causando el escape de materiales inflamables.

Para determinar la penalidad apropiada, consultar el anexo #6 y usar la presión de operación para determinar un valor de penalidad inicial.

Para determinar la penalidad final, primero se busca la penalidad asociada con la presión de operación de la figura antes mencionada. Entonces, se busca la penalidad asociada a la presión del set del dispositivo de alivio. Se divide la penalidad de presión de operación entre la penalidad de presión del set, para obtener un factor final de penalidad de ajuste de presión. Se multiplica la penalidad de la presión de operación por este factor de ajuste para obtener la penalidad de presión final.

B. Cantidad de material inflamable e inestable.

Esta sección considera la exposición adicional a un área se incrementa tanto como cantidad de materiales inflamables e inestables hallan en la unidad de proceso. Hay tres categorías en esta sección, cada una evaluada por una curva de penalidad separada. Se aplica solo una penalidad para una sección entera, basada en el material que fue seleccionado en el factor material.

1. Líquidos o gases en proceso.

Esta sección aplica una penalidad a la cantidad de material que puede ser derramado y crear un peligro de incendio. Se aplica a cualquier proceso de producción, incluyendo bombas hacia tanques de almacenamiento, y es válido para líquidos inflamables.

Para esta penalización, lo primero es determinar las libras de material en el proceso.

La cantidad de material que se derrama se determina por el analista. En el caso de reactividad, se considera que es la misma cantidad que se encuentra en la Unidad de Proceso.

En el anexo #7 se muestra la penalidad para esta categoría. Se determina entrando con la energía contenida en la Unidad de Proceso. El punto de intersección con la curva indica la penalidad.

2. Líquidos o gases en almacenamiento fuera del área del proceso. (anexo #8).

C. Uso del equipamiento incendiado.

La presencia de este equipamiento añade probabilidad adicional de ignición, cuando los líquidos inflamables, vapores o combustibles se escapan.

La penalidad puede aplicarse de una de las siguientes dos formas: primero, para equipos inflamables, ellos mismos están en la Unidad de Proceso y segundo, a varias Unidades de Proceso en la vecindad de este equipamiento. La distancia en pies de un punto de escape probable en la Unidad de Proceso es la que se referencia en el anexo #9.

D. Sistema de intercambio de calor con aceite o crudo caliente.

Los fluidos de aceite caliente, se pueden quemar y por esta razón, se emplean por encima de su punto de destello o punto de ebullición, estos representan un peligro adicional en cualquier Unidad de Proceso que los emplee. Las penalidades en esta sección se basan en la cantidad y temperatura del fluido de intercambio de calor empleado en la unidad evaluada.

No se aplica penalidad si el aceite caliente es un no-combustible. La tabla 2.6 muestra el sistema de intercambio de aceite caliente.

Tabla 2.6: Penalidad para el intercambio de aceite caliente.

Penalidad para un sistema de intercambio de aceite caliente		
Cantidad de galones (m ³)	Por encima del punto de inflamación	Por encima o sobre el punto de ebullición
< 5,000 (< 18,9)	0,15	0,25
5,000 a 10,000 (18,9 a 37,9)	0,30	0,45
10,000 a 25,000 (37,9 a 94,6)	0,50	0,75
> 25,000 (94,6)	0,75	1,15

Si el sistema de intercambio de aceite caliente es en sí mismo la Unidad de Proceso, no se aplica penalidad en esta sección. Mientras que, si el sistema se encuentra en el área de la Unidad de Proceso, la penalidad se aplicará.

Una vez que se evalúan los factores especiales de peligrosidad, estos se suman y el total es el denominado Factor Especial de Peligrosidad del Proceso (F_2).

2.2.5 Determinación del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso.

El factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F_3) es el producto del factor general de peligrosidad (F_1) y el factor especial de peligrosidad (F_2). Se prefiere el producto a la suma, ya que se conoce que los peligros incluidos en un factor tienen un efecto correspondiente en el otro.

El factor F_3 , el cual presenta un rango normal de 1 a 8, se emplea para determinar el Índice de Incendio y Explosión, junto con el factor de daño del anexo #10.

Cuando las penalidades se aplican correctamente a varios peligros de proceso, F_3 normalmente no excede de 8,0. Si se obtiene un valor mayor, se usa un máximo de 8,0.

2.2.6 Determinación del Índice de Incendio y Explosión.

Los efectos de un incendio y/o de una explosión, seguidos del escape de un material inflamable y su ignición se categorizan atendiendo a las causas inmediatas siguientes:

- a. La onda de choque o deflagración.
- b. La exposición al incendio desde el escape original.
- c. El impacto de misiles sobre tuberías y equipamientos desde una explosión de un tanque.
- d. Otros escapes de combustibles como eventos secundarios.

El Índice de Incendio y Explosión es el producto del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso (F₃) y el factor material (MF). El F&EI se relaciona al radio de exposición.

En la tabla 2.7 se listan los valores del F&EI junto a la descripción del grado de peligrosidad que brinda una idea relativa de la severidad del F&EI.

Tabla 2.7: Grados de peligrosidad.

Grado de peligrosidad para el F&EI	
F&EI Rango	Grado de peligrosidad
1 – 60	Ligero
61 – 96	Moderado
97 – 127	Intermedio
128 – 158	Intenso
159 – superior	Severo

2.2.7 Factores de bonificación en la pérdida del control

Existen ciertas situaciones de pérdida de control que se conocen por registros. Estas experiencias permiten prevenir incidentes serios y reducir la probabilidad y magnitud de un incidente en particular. Existen tres categorías de características de pérdidas de control:

C₁ Control del Proceso

C₂ Aislamiento del material

C₃ Protección contra incendio

Los factores de bonificación se introducen en la tabla de la siguiente manera:

1. Se introduce el factor de bonificación apropiado a la derecha de cada criterio.
2. Si no existe factor de bonificación, se introduce 1,00 para el criterio.
3. Notar que cada categoría dentro del Factor de Bonificación, es el producto de todos los factores empleados en esa categoría.

4. Realizar el cálculo ($C_1 \times C_2 \times C_3$) para determinar el Factor Global de Bonificación.
5. Introducir en la tabla este valor.

Factor de Bonificación por Control del Proceso (C_1).

- a. Poder de emergencia – 0,98
- b. Enfriamiento – 0,97 a 0,99
- c. Control de explosión – 0,84 a 0,98
- d. Parada de emergencia – 0,96 a 0,99
- e. Control computarizado – 0,93 a 0,99
- f. Gas inerte – 0,94 a 0,96
- g. Instrucciones o procedimientos de operación – 0,91 a 0,99

Instrucciones adecuadas escritas para el operador y/o documentos de operación de disciplina, son una parte importante para el control satisfactorio. Las condiciones siguientes que se listan son las que se consideran más importantes:

1. Puesta en marcha – 0,50
2. Parada rutinaria – 0,50
3. Condiciones normales – 0,50
4. Operación a baja capacidad – 0,50
5. Operación a reciclo total – 0,50
6. Operación por encima de la capacidad de diseño – 1,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada – 1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento – 1,00
9. Procedimientos de mantenimiento – 1,50
10. Parada de emergencia – 1,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías – 2,00
12. Condiciones anormales previsibles – 3,00

Para obtener un factor de crédito, se añaden todos los puntos para condiciones que tengan instrucciones de operación. La ecuación 2.1 muestra los puntos totales se representan por X:

$$Credito_g = 1,0 - \frac{X}{150} \quad (2.1)$$

Si se cumplen todas las condiciones, entonces el factor de crédito será 0,91.

- h. Revisión sobre químicos reactivos – 0,91 a 0,98
- i. Otros análisis de peligrosidad del proceso – 0,91 a 0,98

Herramientas para el análisis de peligrosidad del proceso pueden ser, además, utilizadas para la evaluación del F&EI. Estas incluyen la evaluación cuantitativa de riesgos (QRA), los análisis de consecuencias detalladas, los análisis de árbol de falla, los estudios de peligro y operabilidad (HAZOP), los modos de fallas y los análisis de efectos (FMEA), y otros.

Los factores de bonificación son los siguientes:

- a. Análisis de cuantificación de riesgos: 0,91
 - b. Análisis de consecuencias detalladas: 0,93.
 - c. Análisis de árbol de fallas: 0,93.
 - d. Estudios HAZOP: 0,94.
 - e. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA): 0,94.
 - f. Revisiones de seguridad ambiental, humana y prevención de pérdidas: 0,96.
 - g. Estudios ¿Qué pasa si? : 0,96.
 - h. Evaluaciones de Lista de Chequeo: 0,98.
 - i. Gestión de la revisión del cambio: 0,98.
- 1. Factor de bonificación por aislamiento del material.
 - a. Válvulas de control remotas – 0,96 a 0,98
 - b. Depósito trasvase para emergencia o venteos conducidos – 0,96 a 0,98.
 - c. Drenajes – 0,91 a 0,97.
 - d. Sistema de bloqueo que impide el flujo incorrecto que podría dar reacciones indeseables – 0,98.
- 2. Factor de bonificación por protección contra incendios. (C₃).
 - a. Detección de la fuga – 0,94 a 0,98
 - b. Acero estructural – 0,95 a 0,98

- c. Agua contra incendios – 0,94 a 0,97
- d. Sistemas especiales – 0,91
- e. Sistemas de rociadores – 0,74 a 0,97

La tabla 2.8 muestra el cálculo de los factores de crédito, para sistemas de tubería seca o húmeda dentro de las áreas.

Tabla 2.8: Factores de crédito.

Riesgo	Diseño		Factor de crédito	
	gpm/ft ²	lpm/m ²	Tubería Húmeda	Tubería Seca
Ligero	0,15 – 0,20	6,11 – 8,15	0,87	0,87
Ordinario	0,21 – 0,34	8,56 – 13,8	0,81	0,84
Extra peligroso	≥ 0,35	≥ 14,3	0,74	0,81

Se multiplican los siguientes factores de penalización según las condiciones de tamaño del área:

Área > 10 000 ft² (929 m²) factor = 1,06

Área > 20 000 ft² (1 858 m²) factor = 1,09

Área > 30 000 ft² (2 787 m²) factor = 1,12

- f. Cortinas de agua – 0,97 a 0,98
- g. Espuma – 0,92 a 0,97
- h. Extintores portátiles y monitores – 0,93 a 0,98
- i. Protección de cables – 0,94 a 0,98

El producto de C₁ x C₂ x C₃ constituye el Factor de Bonificación por control de pérdida para la Unidad de Proceso.

2.2.8 Resumen del análisis de riesgo en la Unidad de Proceso

Se presenta la determinación de los factores de riesgo adicionales, los cuales deben considerarse en la Unidad de Proceso.

1. El Índice de Incendio y Explosión. (F&EI)

Se emplea para calcular el daño que probablemente resultaría de un incidente en una planta de proceso.

2. El radio de exposición.

El F&EI, se multiplica por un factor de 0,84 y se obtiene el radio de exposición. Cuando la unidad de proceso evaluada es una pequeña parte del equipamiento, el radio de exposición se considera desde el centro de la parte considerada.

3. El Área de Exposición.

El radio de exposición define un área de exposición. Esta se calcula a través de la ecuación 2.2.

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (2.2)$$

Para la evaluación del equipamiento que puede ser dañado por un fuego o explosión generada en el proceso, se debe considerar el volumen. El volumen es equivalente al volumen de un cilindro de los alrededores de la planta de la Unidad de Proceso. En algunos casos, es apropiado un volumen esférico.

4. Valor del área de exposición.

El valor del área de exposición se obtiene partir del valor de reposición de la propiedad contenida en esta, incluyendo el inventario del material. El valor de reposición es igual al producto del Costo original por 0,82 por el Factor de escala.

El factor de 0,82 es definido por una parte del costo original que no está sujeta a la reposición, como el sitio de preparación, caminos, cimientos.

5. Determinación del factor de daño.

El factor de daño se determina a partir del Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso (F_3) y el factor material (MF) como se muestra en el anexo #10.

El factor de daño representa el efecto global del daño por incendio o explosión por el escape de un combustible de una unidad de proceso. Este

se incrementa con el factor material y el factor de peligrosidad de 0,01 hasta 1,00.

6. La determinación del Máximo Daño Probable a la Propiedad Base (Base MPPD).

La MPPD base se obtiene multiplicando los valores del factor de daño y el valor del área de exposición.

7. Factor de bonificación por control de la pérdida.

Este factor es el producto de todos los factores de bonificación que se calcularon anteriormente.

8. La determinación del Máximo Daño Probable a la Propiedad Actualizado (Actual MPPD).

El MPPD actualizado se obtiene multiplicando el MPPD Base y el factor de bonificación.

9. Máximos días probables perdidos (MPDO).

La determinación de los máximos días perdidos probables (MPDO) es una etapa necesaria en la evaluación de la potencial Interrupción del Negocio (BI) a partir de un incidente de pérdida. Para obtener el valor del MPDO, es necesario haber determinado el Actual MPPD del área y entonces se refiere al anexo #11.

El valor del Actual MPPD se da en dólares de 1986. Se necesita actualizar este valor. (Anexo #11).

10. Interrupción del Negocio (BI).

El cálculo del valor de la interrupción del negocio (BI) se determina como sigue en la ecuación 2.3

$$BI = \frac{MPDO}{30} \times VPM \times 0,70 \quad (2.3)$$

VPM es el valor de la producción para un mes y 0,70 representa los costos fijos y ganancia.

Discusión del MPPD, BI y distribución en la planta.

El índice de fuego y explosión es una herramienta muy útil en la evaluación del riesgo y en la distribución de las nuevas plantas. Asegura la separación adecuada entre las Unidades de Proceso. Evalúa, además, el impacto potencial de un incendio o explosión en construcciones adyacentes y equipamientos.

Capítulo 3: Análisis de los resultados.

En este capítulo se muestran los resultados referidos a la aplicación al índice DOW de incendio y explosión en la División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas. Primero, se explica cómo se seleccionaron las unidades de proceso y los factores de peligrosidad en función de una lista de chequeo en la planta. Luego se valoran los factores de bonificación para cada unidad de proceso establecida. Se calcula el Índice de Incendio y Explosión, se determina el radio y área de exposición. Finalmente, se determinan las pérdidas totales, teniendo en cuenta la paralización de la producción y los días máximos probables perdidos por concepto de incendio y explosión.

3.1. Resultados y análisis de la selección de las unidades de proceso y factor material.

La delimitación de las unidades de procesos se realiza mediante el empleo de los razonamientos presentados en el capítulo anterior. Deben ser incluidos dentro de la misma unidad de proceso todos aquellos equipos próximos entre sí que manipulen los mismos materiales en condiciones de trabajo similares.

Las unidades de proceso se definen en función de la energía química potencial, de la cantidad de materiales peligrosos que contienen, de la densidad capital y del análisis histórico de problemas que resultaron en un incidente de incendio y explosión.

Se definen 26 unidades de proceso las cuales encierran todos los tanques de la Base en Tierra y la Terminal 320.

El factor material es una medida de la capacidad potencial que posee el producto de generar incendios y explosiones. Cada unidad de proceso con su factor material se muestra en la tabla 3.1.

Las unidades de proceso con mayor factor material son las unidades 6, 7, 8, 12 correspondientes a los tanques 18, 74, 19, que almacenan gasolina de aviación y al tanque 17, que almacena nafta, respectivamente. Esto se debe a que DOW otorga

mayor valor de factor material a aquellas sustancias más inflamables y volátiles, ya que son estas precisamente, las que pueden desarrollar con mayor intensidad accidentes de incendio y explosión.

Por lo que las unidades de proceso con mayor potencialidad y riesgo, en función del material o sustancia almacenada son los tanques 18, 74, 19 y 17. Además, hay que tener en cuenta que para las otras sustancias el factor material es considerable, al tratarse de combustibles, en todos los casos, específicamente, diesel, fuel oil y turbocombustible.

Tabla 3.1: Unidades de proceso seleccionadas y su factor material.

Unidad de Proceso	Factor Material
1: Tanque 1	10
2: Tanque 24	10
3: Tanque 25	10
4: Tanque 4	10
5: Tanque 26	10
6: Tanque 18	16
7: Tanque 74	16
8: Tanque 19	16
9: Tanque 13	10
10: Tanque 22	10
11: Tanque 23	10
12: Tanque 17	16
13: Tanque 30	10
14: Tanque 38	10
15: Tanque 49	10
16: Tanque 50	10
17: Tanque 51	10
18: Tanque 52	10
19: Tanque 53	10
20: Tanque 54	10
21: Tanque 55	10
22: Tanque 56	10
23: Tanque 69-1	10
24: Tanque 69-2	10
25: Tanque 70-1	10
26: Tanque 70-2	10

El paso de determinación del factor material, es fundamental dentro del análisis de riesgo, ya que este factor se multiplica por el factor general de peligrosidad de cada unidad de proceso, para determinar su Índice de Incendio y Explosión (F&EI)

3.2. Resultados y análisis de los factores de peligrosidad de las unidades de proceso.

Luego de determinar el factor material adecuado, la etapa siguiente es calcular el Factor de Peligrosidad de la Unidad de Proceso (F_3). Este es el término que se multiplica por el factor material para obtener el (F&EI).

Los factores de peligrosidad de las unidades de proceso se muestran en la figura 3.1.

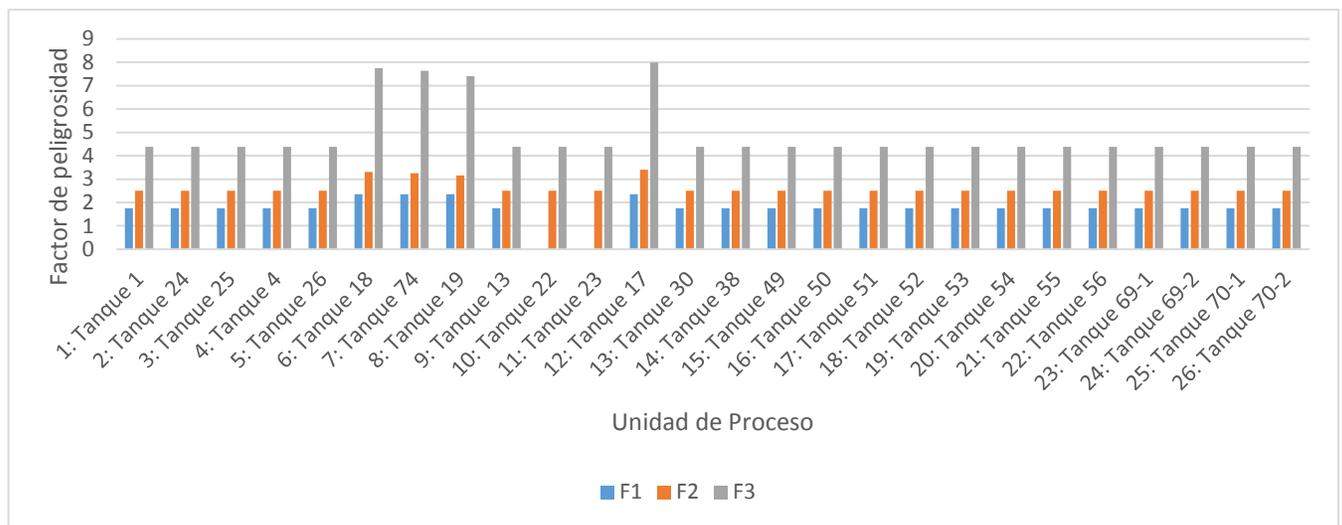


Figura 3.1: Factores de peligrosidad para cada unidad de proceso

Para las unidades de proceso correspondientes a los tanques 1, 24, 25, 26, 13, 22, 23, 30, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 69-1, 69-2, 70-1 y 70-2 se toma una penalidad de 0,25 por manejar un material con una inflamabilidad y volatilidad media y por ser, en todos los casos, combustibles líquidos; mientras que, para los tanques 18, 74, 19 y 17 se decide una penalidad de 0,85 por contener líquidos inflamables (gasolina de aviación y nafta) con $N_F=3$ según AIChE, (1994) y CAMEO, (2019).

Se aplica una penalidad por drenaje y control de derrames de 0,50 para todas las unidades de proceso, ya que, de ocurrir un derrame de alguno de estos tipos de combustibles, está expuesta a la ocurrencia de accidentes un área grande que contiene otras unidades de proceso.

No se aplican penalidades por reacciones químicas, por unidades interiores ni por acceso, puesto que tienen lugar en el área estudiada.

Por lo que, los mayores factores de peligrosidad de proceso corresponden a las unidades de mayor penalidad en cuanto al manejo del material inflamable, que son los tanques 18, 74, 19 y 17.

3.3. Resultados y análisis del índice de incendio y explosión para cada unidad de proceso.

El índice de incendio y explosión está vinculado con el al radio de exposición. El mismo no es más que el producto entre el Factor de Peligrosidad de la unidad de Proceso (F3) y el factor material.

En la figura 3.2 se muestran los grados de peligrosidad que tienen las unidades de proceso.

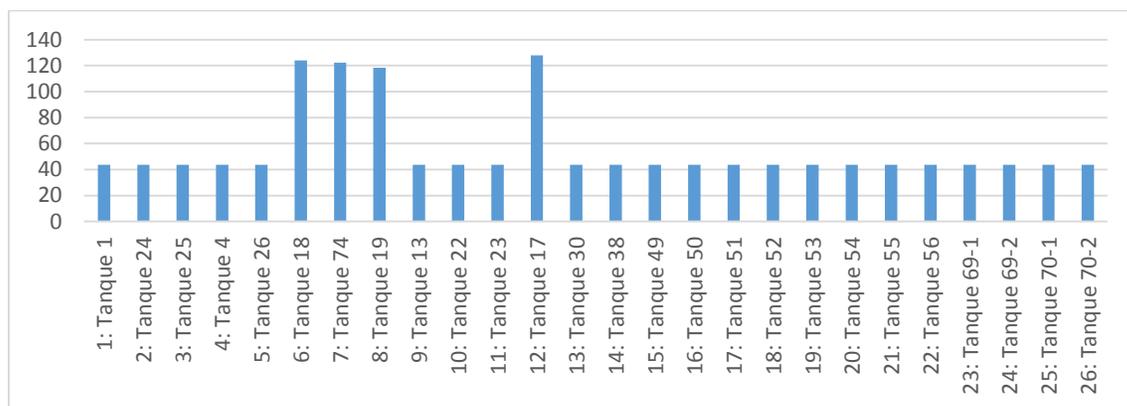


Figura 3.2: Grados de peligrosidad para cada unidad de proceso.

Para las unidades de proceso correspondientes a los tanques 1, 24, 25, 26, 13, 22, 23, 30, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 69-1, 69-2, 70-1 y 70-2 se muestra un valor de peligrosidad de 43,75 encontrándose este dato dentro del rango de peligrosidad ligero. De otra forma, se destacan los tanques 18, 74 y 19 que presentan un valor de 124,08, 122,2 y 118,44 respectivamente siendo intermedio su grado de peligrosidad con un contenido en los mismos de gasolina de aviación. El valor más alto de la tabla lo alcanza la unidad de proceso perteneciente al tanque 17 el cual es de 127,84 encontrándose este en un rango severo causado por su contenido de

nafta. Estos grados de peligrosidad de intermedios e intensos se deben a que las sustancias presentan características altas de volatilidad e inflamabilidad.

3.4. Determinación de los factores de bonificación.

Para prevenir incidentes serios y reducir la probabilidad de un incidente en particular es necesario conocer los registros que muestran situaciones de pérdida de control en las cuales se destacan tres categorías: control del proceso (C1), aislamiento del material (C2) y protección contra incendio (C3) las cuales una vez de analizadas se multiplican para así obtener como dato final un factor de bonificación por control de pérdidas (C).

3.4.1. Determinación de los factores de bonificación por control por proceso (C1).

Teniendo en cuenta el enfriamiento en esta etapa se la asigna una penalidad de 0,97 a todas las unidades de proceso porque el sistema se diseña para proveer el 150% del requerimiento de enfriamiento por lo menos 10 minutos.

Las instrucciones o procedimientos de operación suman gran importancia para el logro satisfactorio del control. Aquí se tienen en cuenta instrucciones descritas por los operadores y documentos de disciplina, tal es el caso de la puesta en marcha, condiciones normales y operación a baja capacidad donde a cada unidad se le asigna una penalidad de 0,50.

Para la puesta en marcha después de una breve parada y tras una parada por mantenimiento se tiene como penalidad 1 para todas las unidades de proceso.

A los procedimientos de mantenimiento y a la parada de emergencia se les asigna una penalidad de 1,50; así como 2 a la modificación o adiciones al equipo, y a las condiciones normales previsible 3.

Seguido a la asignación de las penalidades adecuadas para cada condición se procede al cálculo de un factor de crédito dando un valor final de 0,92 el cual le va a corresponder a las instrucciones o procesos de operación. Este es necesario calcularlo porque hay condiciones de operación que no se realizan en la industria,

tal es el caso de la parada rutinaria, operación a reciclo total y operación por encima de la capacidad de diseño.

Con respecto a la revisión sobre los reactivos químicos se emplea 0,91 para todas las unidades porque son continuas las revisiones de nuevos y existentes reactivos, así como los cambios y almacenamiento de los mismos.

Al analizar si existen otros análisis de cuantificación de riesgos los cuales son herramientas para el análisis de peligrosidad del proceso se compraba que se realiza en la industria los estudios HAZOP que tiene asignada un factor de crédito de 0,94 y los estudios ¿Que pasa sí? Con penalidad de 0,96. Con estos datos se pueden dar como penalidad final para los análisis de peligrosidad un valor de 0,97 porque a criterio del autor se considera un factor más alto dependiendo que el análisis es solo en bases ocasionales.

Como no existe factor de bonificación correspondiente a al poder de emergencia para servicios esenciales con cambios automáticos del estado normal al estado de emergencia, control de explosión el cual no se aplica a sistemas de alivio de sobrepresión, parada de emergencia, control computarizado y gas inerte se introduce 1 como criterio.

Finalmente se obtiene un Factor de Bonificación por Control del Proceso (C1) con un valor de 0,78 por ser este el producto de todos los factores empleados en esa categoría.

3.4.2. Determinación de los factores de bonificación por aislamiento del material (C2).

Al analizar las características de la industria para determinar los factores por aislamiento del material se le asigna una penalidad de 1 porque la misma no presenta las categorías que comprende este como son: las válvulas de control remotas las cuales no presenta ni siquiera aisladas para los tanques de almacenamiento, los depósitos para emergencia o venteos conducidos que se usan para para recibir el contenido de la unidad de proceso de forma segura, drenajes que tienen gran importancia para quitar e l derrame en gran proporción de cualquier

unidad de procesos, ni sistemas de bloqueo que impidan el flujo incorrecto que puedan dar reacciones indeseables.

3.4.3. Determinación de los factores de bonificación por protección contra incendios. (C3).

Para los sistemas de rociadores se le asignan penalidad de 0,81 para todas las unidades de proceso, en este caso se tiene en cuenta que dentro de las características de las tuberías estas son secas con un riesgo ordinario por lo cual le favorece esa penalidad ya que en este caso es necesario que reciba el mínimo de crédito porque al tener muchos de estos varios componentes en donde solo uno puede correr el riesgo de fallo parcial o total puede producir un efecto negativo a la eficiencia del sistema.

Seguidamente se analiza la presencia de espuma donde se usa un factor de 0,94 cuando se emplean la inyección de la misma en un sistema de desagüe desde una estación de control de manual remoto.

Para los extintores portátiles y monitores se le hace corresponder un crédito de 0,98 ya que en la industria se cuenta con su uso de forma portátil, no hay monitores manuales.

La vulnerabilidad a la exposición al incendio lo demuestran los cables instrumentales y eléctricos, en este caso son bandejas enteradas por lo que asume una penalidad de 0,94 para todas las unidades de proceso.

Atendiendo a las demás categorías, tales como, la detección de fugas que relacionan las alarmas de escape de gases y sus límites de inflamabilidad, el acero estructural el cual tiene en cuenta el tiempo de duración de un aplicación de un recubrimiento ignífugo, así como la cantidad de combustible en el área y el diseño del drenaje, el agua contra incendios, los sistemas especiales que prestan gran importancia al cuidado del medio ambiente ya que son los encargados de detectar humo y llamas y paredes contra ondas explosivas o cubículos y las cortinas de aguas que son sumamente efectivas en un área de escape de vapor porque reducen

la ignición potencial de la nube de vapor responden a una penalidad 1 porque no se tienen en cuenta dentro de la industria.

Después de haber asignado una penalidad a cada categoría se realiza el producto de todos los factores de crédito para así obtener que para el factor de bonificación por protección contra incendio se tiene una penalidad de 0,70.

Una vez halladas todas las penalidades correspondientes al factor de bonificación por control del proceso (C1), al aislamiento del material (C2) y protección contra incendio (C3) se obtiene como producto final de 0,55 para un factor de bonificación por control de pérdidas para cada unidad de proceso.

En la tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos para los distintos factores de bonificación por control del proceso (C1), aislamiento del material (C2), protección contra incendio (C3) y factor de bonificación por control de pérdidas para cada unidad de proceso (C).

Tabla 3.2: Factores de bonificación.

Unidad de proceso	C1	C2	C3	C
1	0,78	1	0,7	0,55
24	0,78	1	0,7	0,55
25	0,78	1	0,7	0,55
4	0,78	1	0,7	0,55
26	0,78	1	0,7	0,55
18	0,78	1	0,7	0,55
74	0,78	1	0,7	0,55
19	0,78	1	0,7	0,55
13	0,78	1	0,7	0,55
22	0,78	1	0,7	0,55
23	0,78	1	0,7	0,55
17	0,78	1	0,7	0,55

30	0,78	1	0,7	0,55
38	0,78	1	0,7	0,55
49	0,78	1	0,7	0,55
50	0,78	1	0,7	0,55
51	0,78	1	0,7	0,55
52	0,78	1	0,7	0,55
53	0,78	1	0,7	0,55
54	0,78	1	0,7	0,55
55	0,78	1	0,7	0,55
56	0,78	1	0,7	0,55
69-1	0,78	1	0,7	0,55
69-2	0,78	1	0,7	0,55
70-1	0,78	1	0,7	0,55
70-2	0,78	1	0,7	0,55

3.5. Resultados y análisis de las pérdidas totales

Las pérdidas totales se cuantifican teniendo en cuenta el costo del equipo, el costo del material que contiene, el costo de otro equipo dentro del radio de afectación y las pérdidas debido a la paralización de la producción.

Primero, se calcula el radio de afectación en función del valor del índice de incendio y explosión. Con este radio, se determina el área de exposición y el valor de la misma, teniendo en cuenta las pérdidas posibles en esa área. Luego, se analizan las pérdidas por paralización de la producción por interrupción del negocio, en función del valor de la producción anual del 2018. Finalmente, se explican las pérdidas totales, a partir de la sumatoria de todas las posibles afectaciones económicas por concepto de incendio y explosión.

3.5.1. Determinación del radio y área de exposición

El radio de exposición se determina a partir del F&EI. La figura 3.3 muestra los valores de radio y área de exposición para cada unidad de proceso.

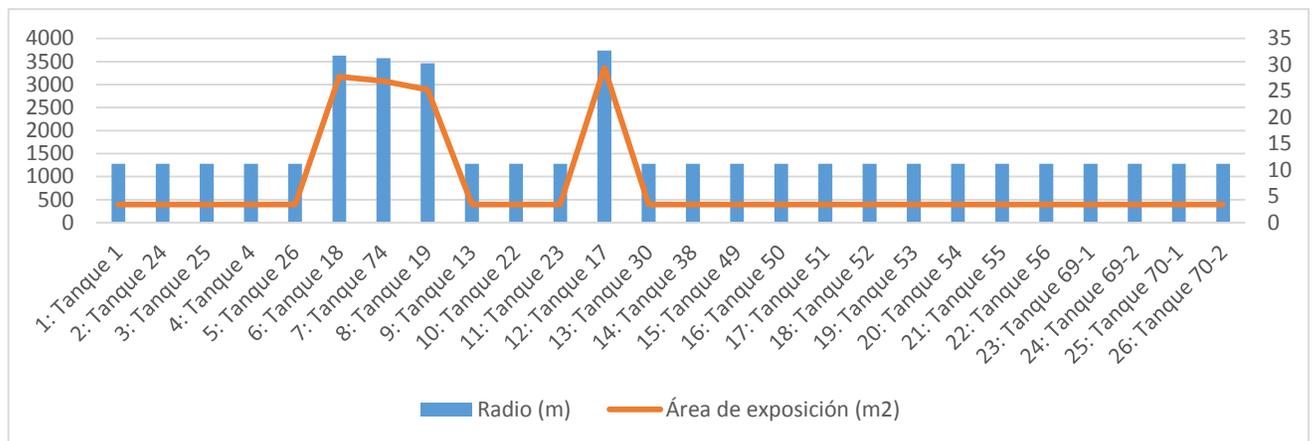


Figura 3.3: Radio y área de exposición para cada unidad de proceso.

De las unidades de procesos presentan un mayor radio y, por ende, mayor área de exposición, aquellas con mayor F&EI. Estas unidades son las correspondientes a los tanques 18, 74, 19 y 17 que almacenan las sustancias con mayor factor material.

De todas las unidades de proceso, solo incluyen otros tanques dentro de su área de exposición, las referidas a los tanques 18 y 19; que se incluyen una a la otra, según AIChE, (1994). El resto de las unidades de proceso no incluyen otras en su radio de exposición.

Se conoce de la literatura especializada, que por efecto dominó, gran parte del área sería afectada. Esta es precisamente, una de las limitaciones del Índice DOW de Incendio y Explosión.

3.5.2. Cálculo del valor del área de exposición

El valor del área de exposición, se determina como el producto de un factor 0,82 y la sumatoria del costo del equipo original del accidente en 2018, con el costo de la sustancia que contiene y el costo de otro equipo dentro del área de exposición.

El factor de 0,82 se define porque existe una parte del costo original, que no está sujeta a la reposición, como el sitio de preparación, caminos y cimientos.

Los valores de costo se muestran en la figura 3.4

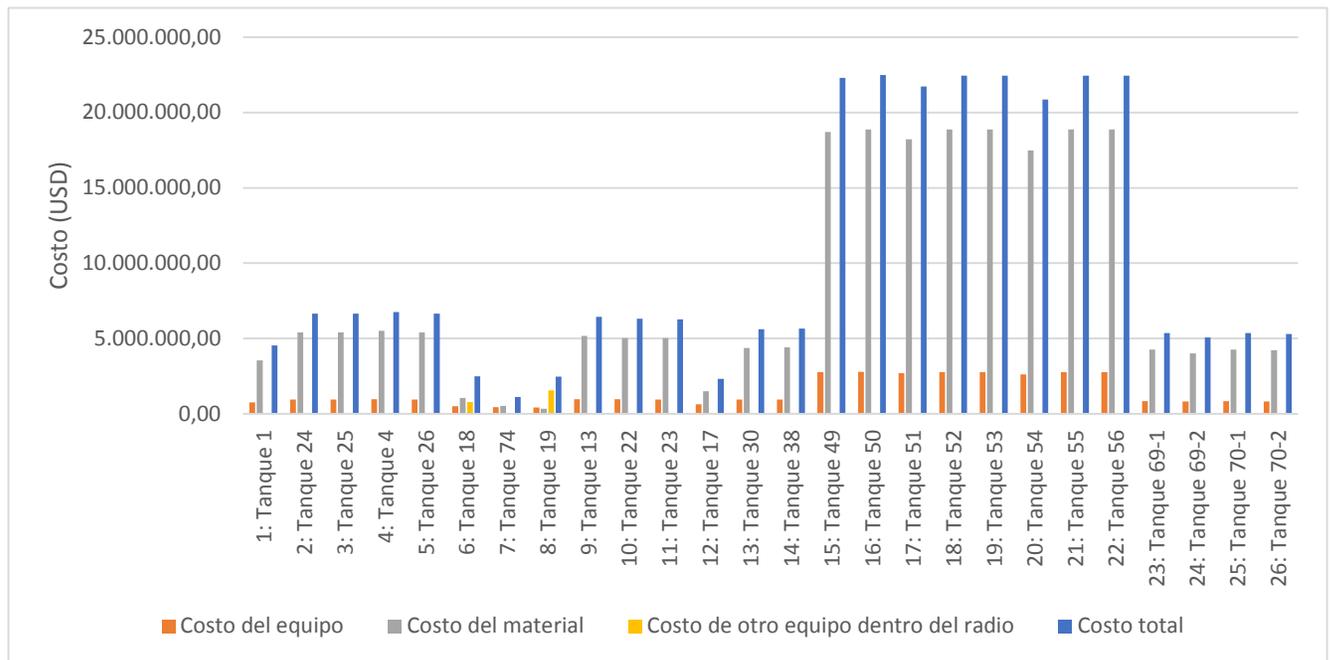


Figura 3.4: Costos de reposición producto de incendios y explosiones en cada unidad de proceso.

Los mayores costos están asociados a las unidades de proceso de mayor capacidad de almacenamiento, que corresponden a los tanques de la Base en Tierra.

Las pérdidas totales ascienden a más de 268 millones de dólares, y las posibles pérdidas en Base en Tierra representan casi un 74% de las posibles pérdidas totales. Una comparación de estos valores se muestra en la figura 3.5.

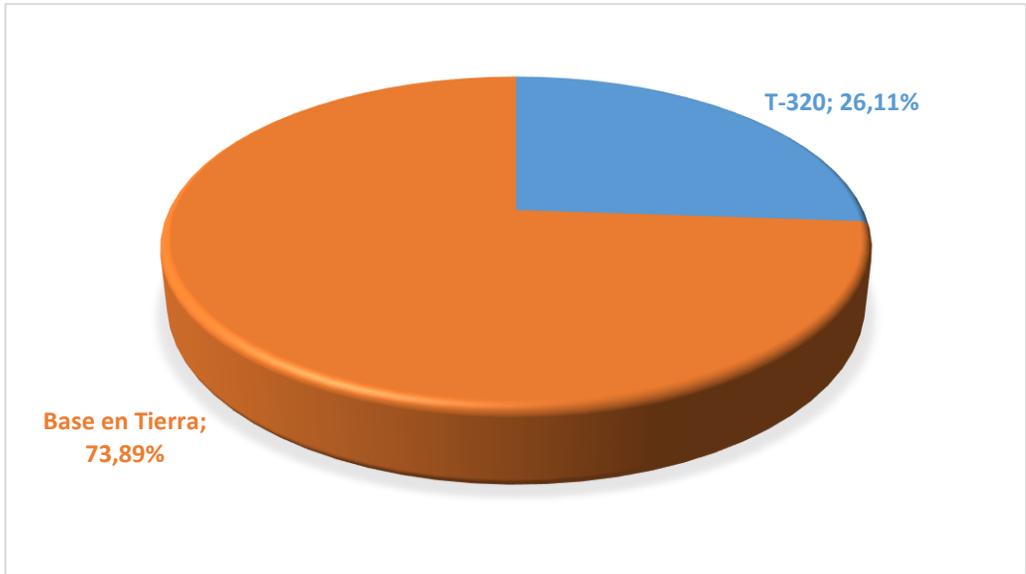


Figura 3.5: Comparación de las posibles pérdidas entre las unidades de proceso de Terminal-320 y Base en Tierra.

Estas son las pérdidas máximas que pudieran ocurrir por reposición de equipos y sustancias de almacenamiento, pero no son las reales. Para determinar el verdadero valor del área de exposición, hay que considerar el factor propuesto por AIChE, (1994).

Los valores de área de exposición para cada unidad de proceso se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Valor del área de exposición para cada unidad de proceso.

Unidad de Proceso	Valor Área de Exposición
1: Tanque 1	3730835,70
2: Tanque 24	5450468,85
3: Tanque 25	5450468,85
4: Tanque 4	5545686,83
5: Tanque 26	5450468,85
6: Tanque 18	2052570,76
7: Tanque 74	918637,37
8: Tanque 19	2034378,56
9: Tanque 13	5290996,12

10: Tanque 22	5185795,65
11: Tanque 23	5142256,43
12: Tanque 17	1910699,48
13: Tanque 30	4605975,50
14: Tanque 38	4647168,26
15: Tanque 49	18272119,11
16: Tanque 50	18427251,14
17: Tanque 51	17808155,14
18: Tanque 52	18404013,87
19: Tanque 53	18404013,87
20: Tanque 54	17105907,57
21: Tanque 55	18404013,87
22: Tanque 56	18404013,87
23: Tanque 69-1	4393609,82
24: Tanque 69-2	4159878,72
25: Tanque 70-1	4393609,82
26: Tanque 70-2	4345469,34

Los más altos niveles de pérdidas teniendo en cuenta el valor del área de exposición, corresponde a los tanques de la Base en Tierra, teniendo el tanque 50 de almacenamiento de fuel oil, el mayor valor con más de 18 millones de dólares.

3.5.3- Determinación del actual máximo daño a la propiedad

Una vez determinado el valor de área de exposición para cada unidad de proceso, corresponde el cálculo del máximo daño a la propiedad. Con este fin, se determina el factor de daño por la figura mostrada en el anexo #10, a partir del factor de peligrosidad de la unidad de proceso (F_3) y el factor material.

El factor de daño representa el efecto global del daño por incendio o explosión. Los valores referidos al factor de daño para cada unidad de proceso se muestran en la figura 3.6.

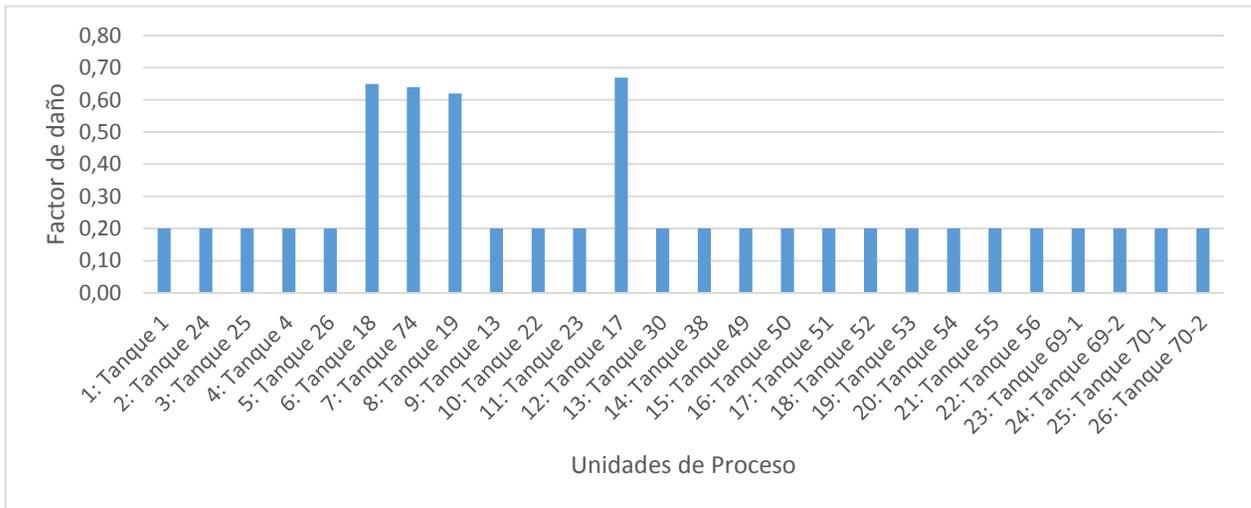


Figura 3.6: Factor de daño para cada unidad de proceso.

El factor de daño es qué fracción del valor del área de exposición será realmente afectada, determinando un máximo daño probable a la propiedad (base). Los mayores valores de factor de daño corresponden a los tanques de mayor factor de peligrosidad y factor material: los tanques 18, 74, 19 y 17. Es indicativo de la propensión de que ocurran afectaciones producto de incendio y explosión en estas unidades de proceso.

El factor de daño se multiplica por el valor del área de exposición. Los resultados del máximo daño probable a la propiedad (base) se muestran en la figura 3.7.

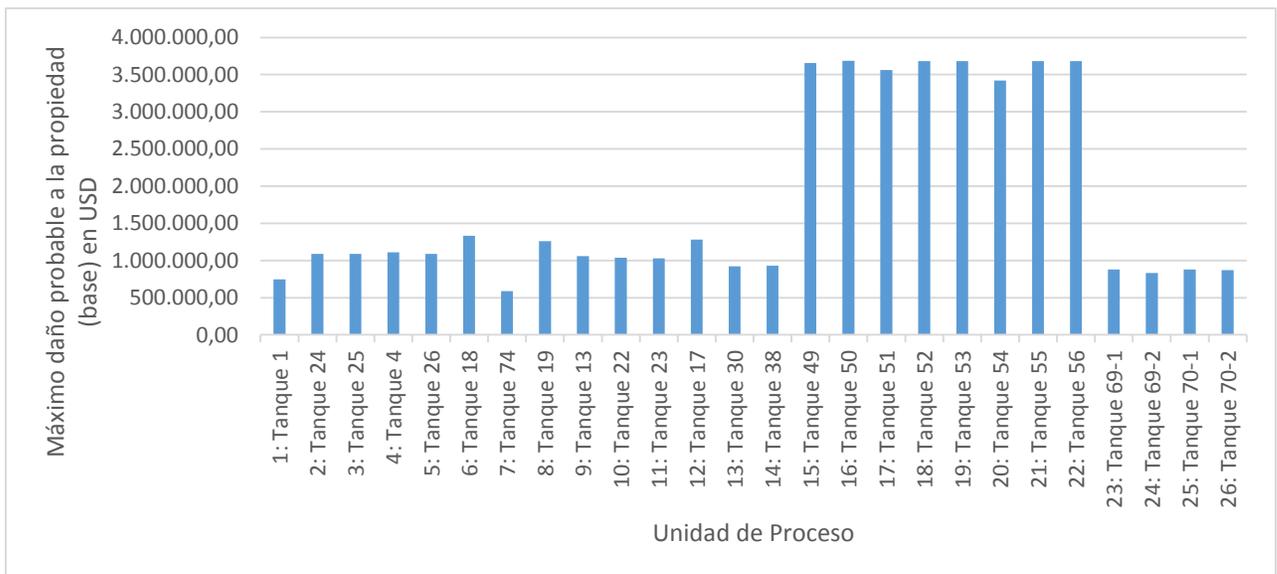


Figura 3.7: Máximo daño probable a la propiedad (base) en USD.

Los mayores valores de este tipo de pérdidas corresponden a los tanques de la Base en Tierra, aunque estas unidades de proceso poseen una diferencia menor respecto a las otras si se consideran los valores del área de exposición de la figura 3.7. A pesar de que las unidades de proceso de la Base en Tierra tienen menor factor de daño, tienen un valor de área de exposición mucho mayor y producto a esto, siguen teniendo mayor máximo daño probable a la propiedad (base).

El actual máximo daño probable a la propiedad se muestra en la figura 3.8 y se cuantifica teniendo en cuenta el factor de bonificación.

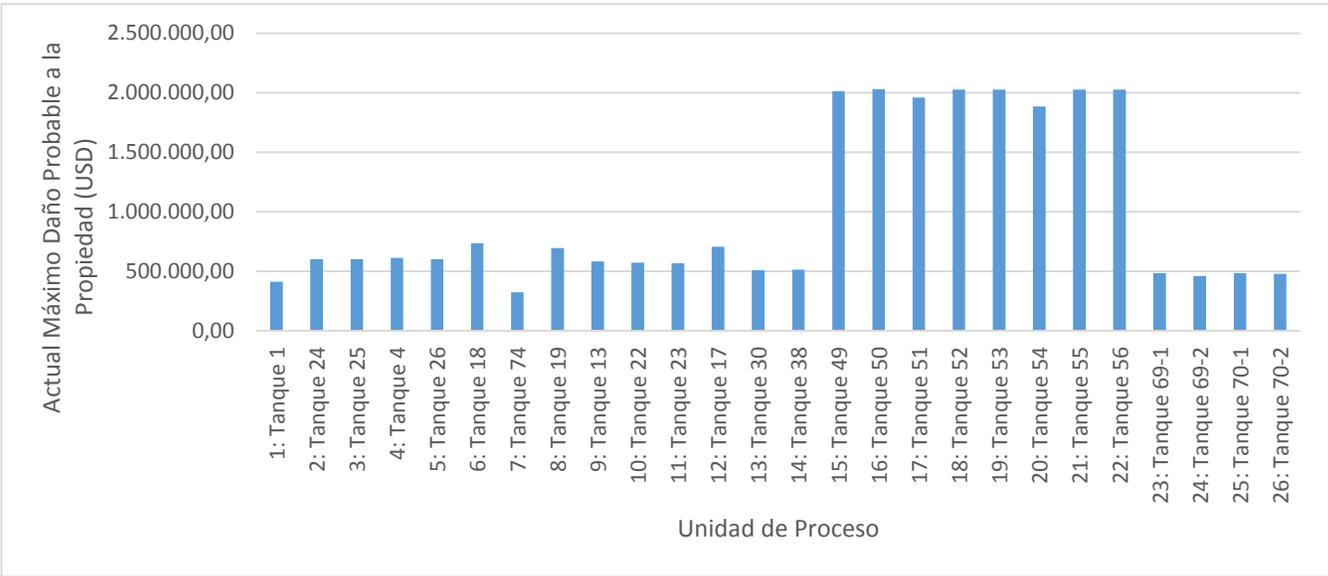


Figura 3.8: Actual máximo daño probable a la propiedad en USD para cada unidad de proceso.

Producto del factor de bonificación determinado en función del control de pérdidas y por protección contra incendios, se reducen las pérdidas probables a un 55%.

3.5.4. Cálculo de las pérdidas por interrupción del negocio.

Para determinar las pérdidas por interrupción del negocio se necesita calcular las pérdidas por paralización de la producción a partir del valor de la producción anual del 2018 y los máximos días probables perdidos.

Los máximos días probables perdidos fueron determinados por la figura mostrada en el anexo #11 y se muestran en la figura 3.9.

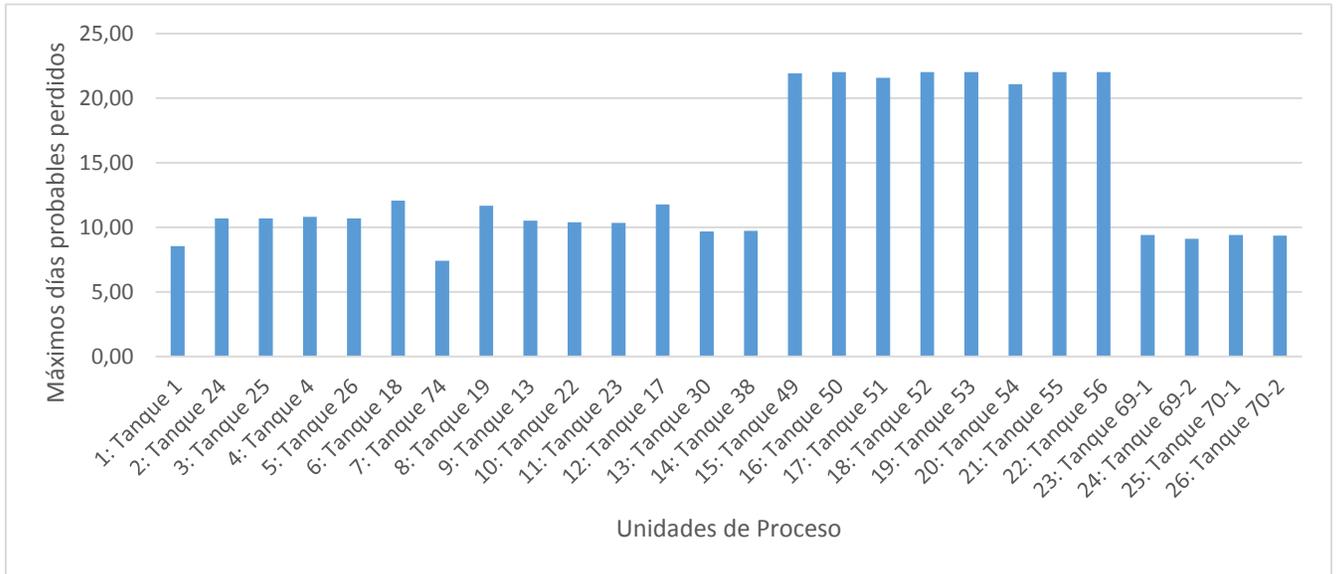


Figura 3.9: Máximos días probables perdidos para cada unidad de proceso.

Los máximos días probables de paralización de la producción corresponden a las unidades de procesos de los tanques de la Base en Tierra. Son 22 días los que estarían sin producir la empresa si ocurre un accidente de incendio o explosión en el tanque 50. En Terminal-320 los máximos días son 12 días correspondientes a un accidente en el tanque 18, ya que este cubriría el tanque 19 según AIChE, (1994).

Las pérdidas por interrupción de negocio se muestran en la figura 3.10 para cada unidad de proceso.

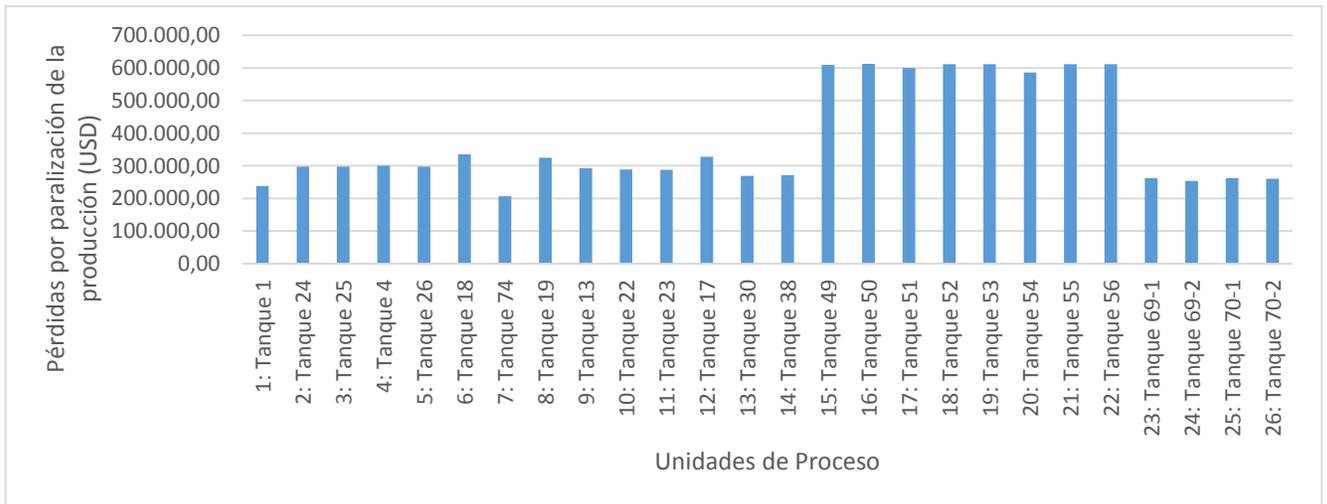


Figura 3.10: Pérdidas por paralización de la producción para cada unidad de proceso en USD.

Las mayores pérdidas por paralización de la producción corresponden a las unidades de procesos que detienen la producción por más tiempo y que provocan mayores pérdidas teniendo en cuenta los niveles de seguridad industrial. Por esta razón, los tanques de la Base en Tierra tienen las mayores pérdidas.

3.5.5. Análisis de las pérdidas totales

Las pérdidas totales se determinan por la suma de las pérdidas por paralización de la producción y el actual máximo daño probable a la propiedad. La figura 3.11 muestra estos valores.

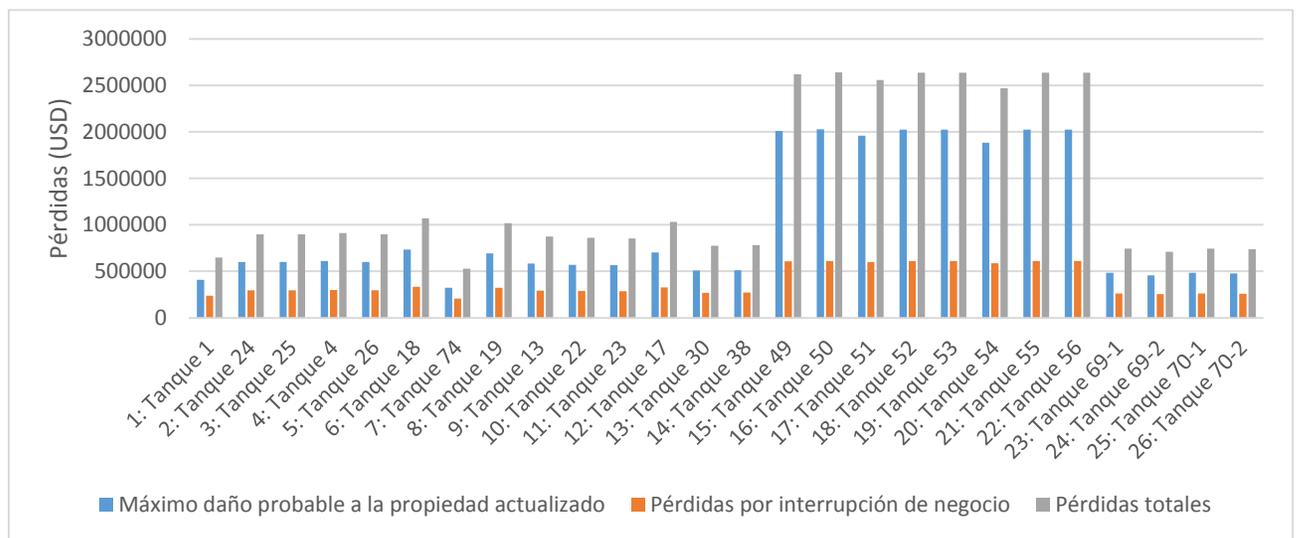


Figura 3.11: Pérdidas totales para cada unidad de proceso en USD.

Las pérdidas totales superan los 2,5 millones para los tanques que almacenan fuel oil de la Base en Tierra; mientras que, en la Terminal-320 las pérdidas ascienden hasta un millón aproximadamente. Estos resultados son acordes a los obtenidos por Zarranejad y Ahmadi, (2016) en su estudio.

En el anexo #12 se muestran todos los resultados obtenidos por la aplicación del método de DOW de incendio y explosión aplicada a la Base en Tierra y la Terminal 320.

3.6. Conclusiones parciales

1. Las unidades de proceso con mayor factor material son las unidades 6, 7, 8, 12 correspondientes a los tanques 18, 74, 19, que almacenan gasolina de aviación y al tanque 17, que almacena nafta, respectivamente.
2. Los mayores factores de peligrosidad de proceso corresponden a las unidades de mayor penalidad en cuanto al manejo del material inflamable, que son los tanques 18, 74, 19 y 17.
3. Las unidades con mayor Índice de Incendio y Explosión son los tanques 18, 74 y 19, que alcanzan la categoría de intermedio y el tanque 17 con un riesgo intenso.
4. De todas las unidades de proceso, solo incluyen otros tanques dentro de su área de exposición, las referidas a los tanques 18 y 19; que se incluyen una a la otra.
5. Los más altos niveles de pérdidas teniendo en cuenta el valor del área de exposición, corresponde a los tanques de la Base en Tierra, teniendo el tanque 50 de almacenamiento de fuel oil, el mayor valor con más de 18 millones de dólares.
6. Los mayores valores de factor de daño corresponden a los tanques de mayor factor de peligrosidad y factor material: los tanques 18,74, 19 y 17.
7. Producto del factor de bonificación determinado en función del control de pérdidas y por protección contra incendios, se reducen las pérdidas probables a un 55%.
8. Los máximos días probables de paralización son 22 para el caso de Base en Tierra y 12, para el caso de Terminal-320.
9. Las pérdidas totales superan los 2,5 millones para los tanques que almacenan fuel oil de la Base en Tierra; mientras que, en la Terminal-320 las pérdidas ascienden hasta un millón aproximadamente.

Conclusiones

1. La cuantificación del impacto económico de posibles accidentes de incendio y explosión permitió determinar los daños provocados por los mismos a la economía de la entidad.
2. Los más altos niveles de pérdidas teniendo en cuenta el valor del área de exposición, corresponde a los tanques de la Base en Tierra, teniendo el tanque 50 de almacenamiento de fuel oil, el mayor valor con más de 18 millones de dólares.
3. Producto del factor de bonificación determinado en función del control de pérdidas y por protección contra incendios, se reducen las pérdidas probables a un 55%.
4. Los máximos días probables de paralización son 22 para el caso de Base en Tierra y 12, para el caso de Terminal-320.
5. Las pérdidas totales superan los 2,5 millones para los tanques que almacenan fuel oil de la Base en Tierra; mientras que, en la Terminal-320 las pérdidas ascienden hasta un millón aproximadamente.

Recomendaciones

1. Incluir el análisis del alcance de los escenarios de incendio y explosión en la determinación del radio de exposición de DOW.
2. Aplicar el Índice de Incendio y Explosión de DOW en el resto de las áreas de la DTCCM.

Bibliografía

1. AIChE. (1994). Dow's fire and explosion index hazard classification guide. 7th Ed. New York. Published by the American Institute of Chemical Engineers. New York, NY 10017. ISBN 0 8169 0623 8.
2. Al-Dahhan WH, Yousif E (2018) Hydrogen Balloons: Bright Colors but Hidden Fire Hazard. *Int J Pub Health Safe* 3: 151.
3. Beheshti MH; Farhang, Somayeh; Hajizadeh, Roohalah; Mohammad, Sayed; Koohpaei, Alireza. (2018) Modelling the Consequences of Explosion, Fire and Gas Leakage in Domestic Cylinders Containing LPG. *Annals of Medical and Health Sciences Research*. Vol 8. 83-88p.
4. Blengini, G.A., Blagoeva, D., Dewulf, J., Torres de Matos, C., Nita, V., Vidal-Legaz, B., Latunussa, C.E.L., Kayam, Y., Talens Peirò, L., Baranzelli, C., Manfredi, S., Mancini, L., Nuss, P., Marmier, A., Alves-Dias, P., Pavel, C., Tzimas, E., Mathieux, F., Pennington, D. and Ciupagea, C. (2017). *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials*. Publications Office of the European Union, Luxemburg. 978-92-79-69612-1, doi:10.2760/73303, JRC106997.
5. Casal, Joaquín; Montiel, Helena; Planas, Eulalia; Vílchez, Juan. (2002). Análisis del riesgo en instalaciones industriales. 2da ed. Barcelona: Ediciones UPC. 362 p.
6. Carol, Sergio. (2001). Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales aplicando el análisis histórico. Barcelona, España. 289 p. Tesis presentada para optar al grado de Doctor Ingeniero Industrial. Universidad de Barcelona.
7. CAMEO (2019). Versión .Developed by: Emergency Response o Division National Oceanic and Atmospheric administration. Office of Emergency Management United States Environmental Protection Agency.
8. Cermelli, Daniele; Curròb, Fabio; Vairoc, Tomaso; Fabiano, Bruno. (2018). Hydrogen Jet-Fire: Accident Investigation and Implementation of Safety

- Measures for the Design of a Downstream Oil Plant. *Chemical Engineering Transactions*. [En línea]. VOL. 67. ISBN 978-88-95608-64-8; ISSN 2283-9216. Disponible en: <http://www.aidic.it/cet>.
9. CL:AIRE, (2017). Petroleum Hydrocarbons in Groundwater: Guidance on assessing petroleum hydrocarbons using existing hydrogeological risk assessment methodologies. CL:AIRE, London. ISBN 978-1-905046-31-7. Disponible en: www.claire.co.uk/phg.
 10. Cozzani V., Antonioni G., Khakzad N., Khan F., Taveau J., Reniers G. (2013). Quantitative Assessment of Risk Caused by Domino Accidents. *Domino Effects in the Process Industries, Modeling, Prevention and Managing*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
 11. Días, Fernando; Gonzáles, Enrique; Sánchez, Juan F; Miñana, Agustín; Ruíz, José; Martínez, Jesús. (2006). Characteristic overpressure-impulse-distance curves for the detonation of explosives, pyrotechnics or unstable substances. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. [En línea]. 19, 724-728. [Citado el 8 junio 2006]. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/jlp>.
 12. Dueñas, Julio A. (2018). Evaluación del impacto económico, ambiental y humano de posibles accidentes provocados por incendios y explosión en la Base de Crudos de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Matanzas. 150 h. Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas.
 13. Economic Indicators. (2018). Chemical Engineering Plant Cost Index, CEPCI. [en línea]. [citado 2 junio 2018]. Disponible en <http://www.chemengonline.com/pci>.
 14. Gill, Joel C; Malamund, Bruce D. (2016). Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies. *Earth Syst. Dynam.* [En línea]. 659–679. [Citado: 23 agosto 2016]. DOI:10.5194/esd-7-659-2016. Disponible en www.earth-syst-dynam.net/7/659/2016/.
 15. Guo, Song; Peng, Minjun; Ruan, Jifeng; Wam, Wei. (2013). Cause analysis of the fire and explosion during crude oil desulfurization in China. *Journal of Loss*

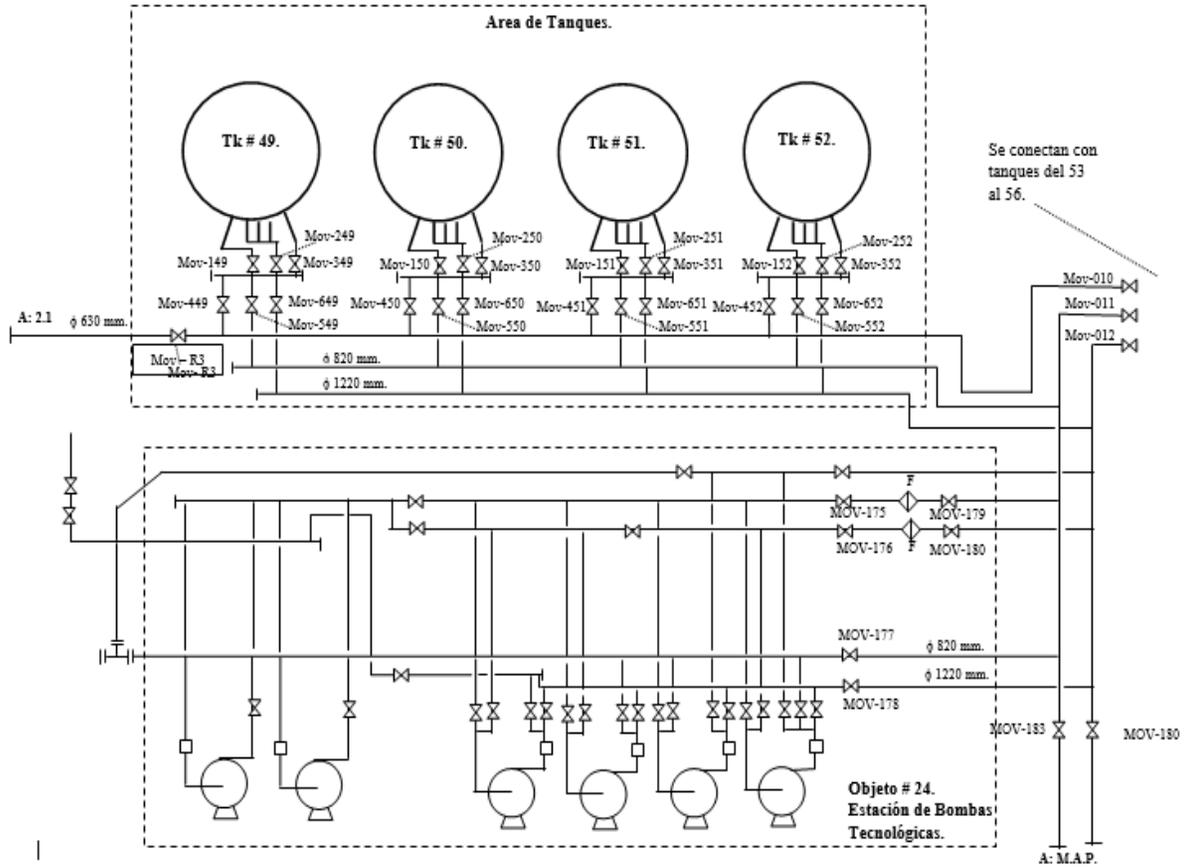
- Prevention in the Process Industries*. [En línea].961-967 p. [citado: 29 septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/ilp>.
16. Gyenes, Zsuzsanna; Wood, Maureen; Struckl, Michael. (2017). Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks. EUR 28518 EN. DOI:10.2760/884152.
 17. ICI. (1985). Imperial Chemical Industries. The Mond Index. Second edition. ICI, Winnington.
 18. Han, S. Q. (2010). Accident process and cause analysis of “7.16” explosion and fire accident of pipeline in Dilan China Petroleum of Internatioa Logistics Company. *Chemical Safety and Environment*. [En línea].34.7-9p. Disponible en: [http://refhub.elsevier.com/S0950-4230\(13\)00190-3/sref](http://refhub.elsevier.com/S0950-4230(13)00190-3/sref).
 19. Ibarra, Eusevio Vladimir (2016). Metodología de análisis cuantitativo de riesgo incluyendo el efecto dominó. Santa Clara.135 h. Tesis para optar por el grado de Máster en Seguridad tecnológica y ambiental en procesos químicos. Universidad Central de Las Villas.
 20. INSHT. (1995). Índices de riesgo de procesos químicos. INSHT, Barcelona.
 21. Jujuly M. M, Rahman A, Ahmed S, Khan F. (2015). LNG pool fire simulation for Domino effect analysis. *Reliability Engineering and System Safety*. [En línea]. 143, pp. 19–29
 22. Kadri, Farid; Chatelet, Eric; Lallement, Patrick. (2013). The assessment of risk caused by fire and explosion in chemical process industry: A domino effect based study. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*. Vol. 3. No 2. P 66-76.
 23. Karderll, Leo; Lööf, Mathias. (2014). QRA with respect to domino effects and property damage. ISSN: 1402-3504. ISRN: LUTVDG/TVBB--5461—SE.92 p.
 24. Kidam, Kamarizan; Hurme, Markku. (2013). Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents. *Process Safety and Environmental Protection*. [En línea]. Volume 91. Issues 1-2. January-March 2013. Pages 61-78. [citado 6 diciembre 2017]. Disponible en www.elsevier.com/locate/psep. DOI: 10.1016/j.psep.2012.02.001

25. Lees, F.P. (2012). Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control, fourth edition. ED. Mannan S., Elsevier Butterworth-Heinemann.
26. Lin, Cheng-Chung; Chang, James I. (2005). A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. [En línea]. 51-59 p. [Citado en 25 mayo 2005]. Disponible en <http://www.elsevier.com/locate/jlp>.
27. Necci, Amos (2015). Cascading events triggering industrial accidents: Quantitative Assessment of NaTech and Domino Scenarios. Bologna. 204 p. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Bologna.
28. Nwabueze, Dili. (2016). Liquid hydrocarbon storage tank fires- How prepared is your facility? *Chemical Engineering Transactions* [en línea]. Vol. 48, p 301- 306. [citado 16 mayo 2018]. DOI: 10.3303/CET1648051. Disponible en: www.aidic.it/cet.
29. PNUMA. (1999). Control de riesgos de accidentes mayores. Manual práctico. 2da ed. Ginebra: Ediciones de Oficina Internacional de Trabajo. 182 p.
30. Poljanšek, K., Marin Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I. (2017). Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less. EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-60678-6, doi:10.2788/688605, JRC102482.
31. Suardin, Jaffee; Mannan, M. Sam; El-Halwagi. (2006). The integration of Dow's fire and explosion index (F&EI) into process design and optimization to achieve inherently safer design. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. [En línea]. 79-90 p. [Citado 16 octubre 2006]. Disponible en <http://www.elsevier.com/locate/jlp>.
32. Sengupta, Anandita. (2007). Industrial Hazard, Vulnerability and Risk Assessment for Landuse Planning A Case Study of Haldia, West Bengal, India. India. 147 h. Tesis presentada para optar el título de Máster en Ciencias. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation and Indian Institute of Remote Sensing (NRSA).

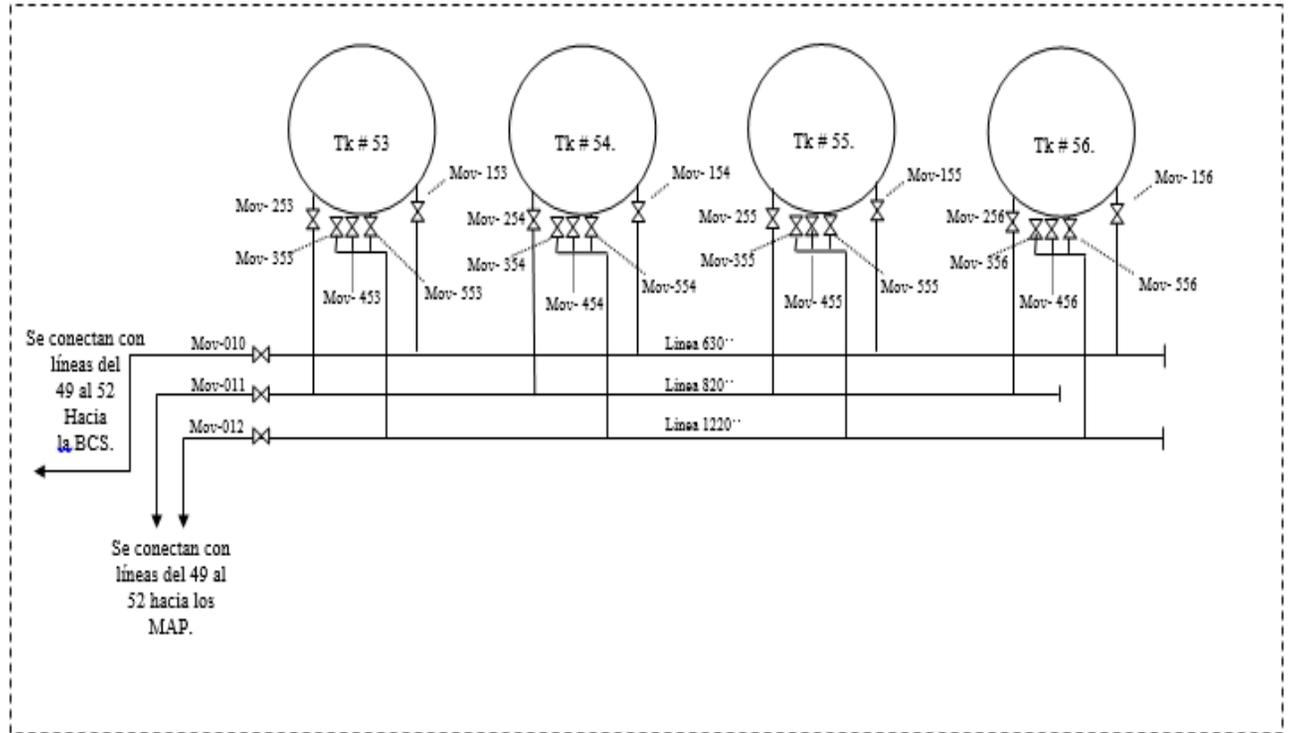
33. Spoelstra M, Mahesh S, Heezen P, Kooi E. Domino effects at LPG and Propane Storage Sites in the Netherlands. (2015). *Reliability Engineering and System Safety*. [En línea].143, 2015, pp. 85–90.
34. Tausef, S. M.; Abassi, Tasneem; Pompapathi, V.; Abassi, S. A. (2018). Case studies of 28 major accidents of fire/explosions in storage tank farms in the backdrop of available codes/standards/models for safely configuring such tank farms. *Process Safety and Environment Protection*. [En línea].331-338 p. [Citado en: 14 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/psep>.
35. Vipin, Kumar; Pandey, S. K.; Tauseef, S. M.; Abbasi, Tasneem; Abbasi, S. A. (2018). Pool Fires in Chemical Process Industries: Occurrence, Mechanism, Management. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. [En línea]. ISSN 1547-7029. . [Citado 18 junio 2018]. DOI 10.1007/s11668-018-0517-2.
36. Wang, Ji; Song, Wen-hua. (2013). Fire and explosi3n index calculation method incorporating classified safety measura credits. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. [En línea].1128-1133 p. [Citado 26 abril 2013].Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/jlp>.
37. Wehmeier, Guido; Mitropetros, Konstantinos. (2016). Fire Protection in the Chemistry Industry. *Chemical Engineering Transactions* [en línea]. Vol. 48, 259-264 p. [citado 6 diciembre 2017]. DOI: 10.3303/CET1648044. Disponible en: www.aidic.it/cet.
38. Wells, Geoff. (2003). Major Hazards and their management. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.315 p.
39. Zarranejad, A. y Ahmadi, O. (2016). Fire and explosion risk assessment in a chemical Company by the application of Dow fire and explosion index. *JOHE, Summer*. Vol 4. No. 3.
40. World Health Organization. (2009). Manual for the public health management of chemical incidents. ISBN 978 92 4 159814 9.
41. Zhou, Yi; Zhao, Xiaogang; Zhao Jianyu; Chen, Du. (2016). Research on fire and explosion accidents of oil depots. *Chemical Engineering Transactions*. [En línea]. Vol. 51. [Citado 7 diciembre 2017]. ISBN: 978-88-95608-43-3. ISSN: 2283-9216. DOI: 10.3303/CET1651028. Disponible en: www.aidic.it/cet.

Anexos

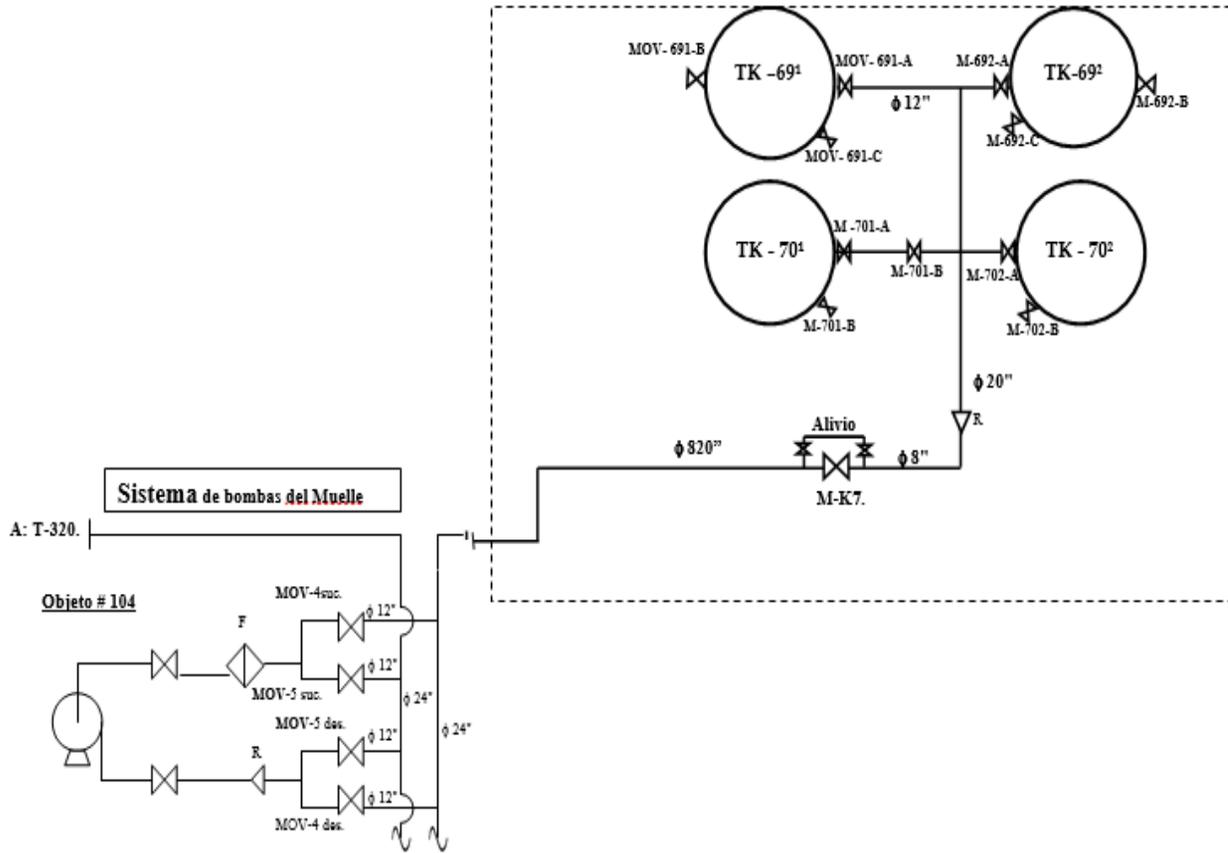
Anexo #1: Área de tanques de la Base en tierra.



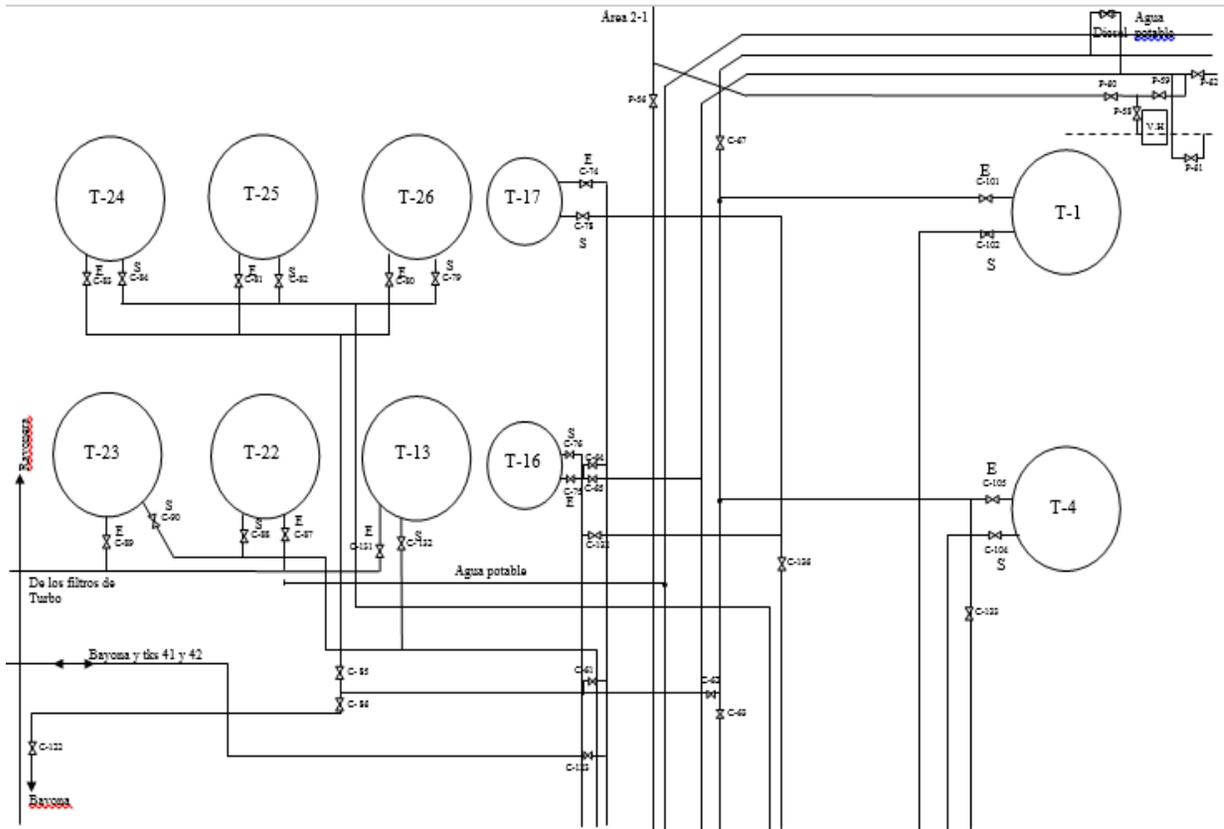
Anexo # 2: Área de tanques de la Base en Tierra.



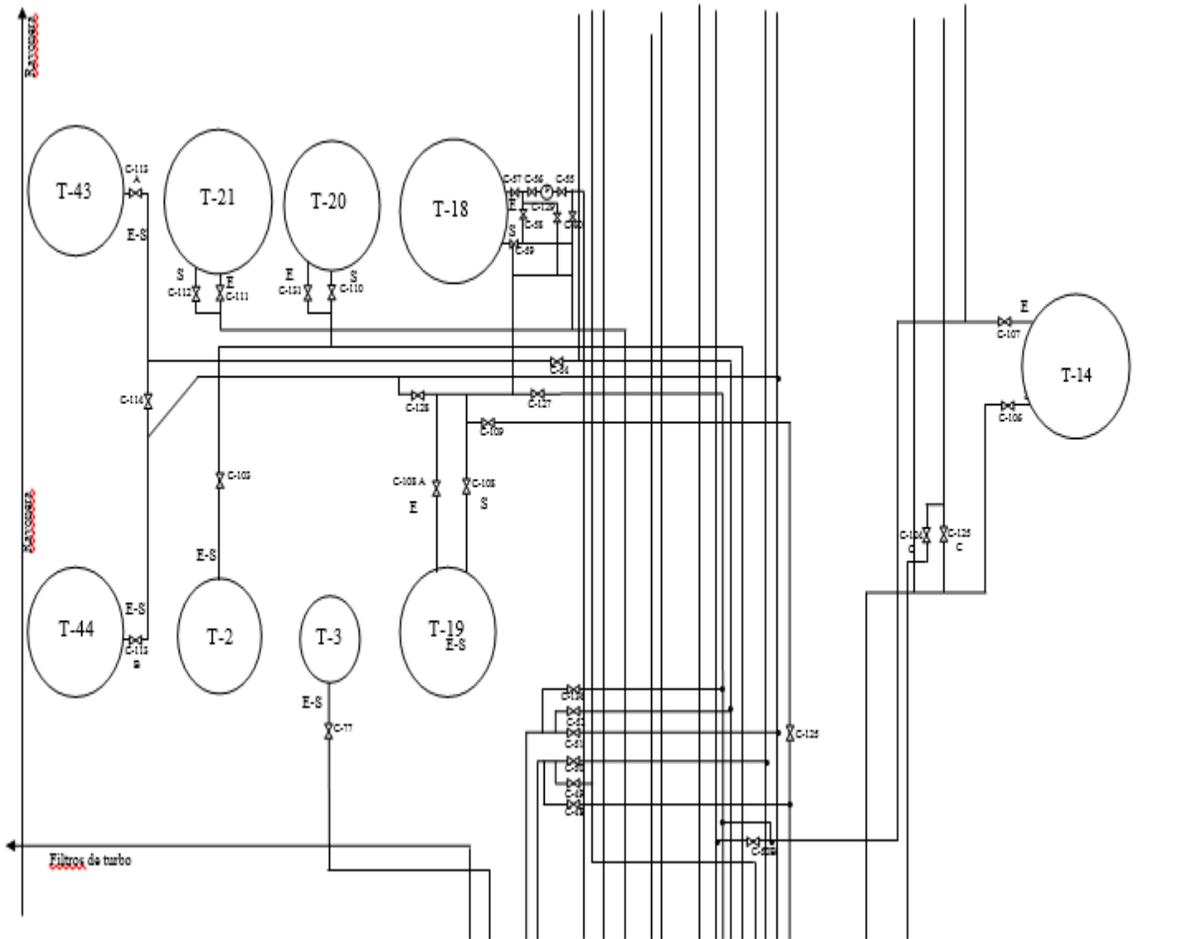
Anexo #3: Área de tanques de Diesel de la Base en Tierra.



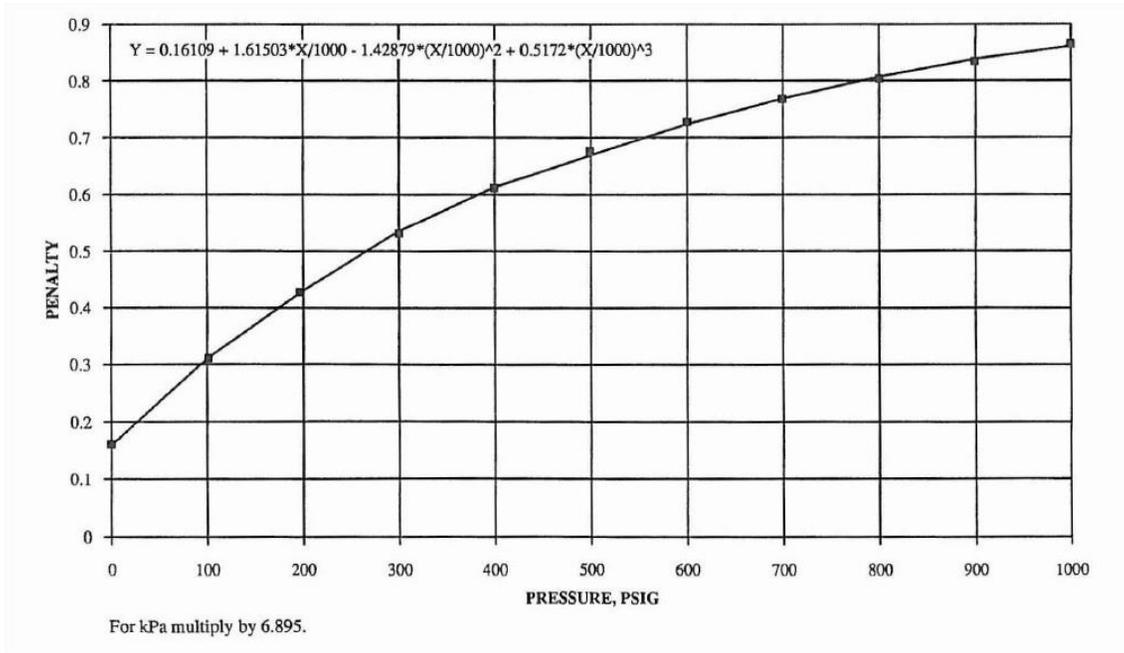
Anexo # 4: Área de tanques de la Terminal 320.



Anexo #5: Área de tanques de la Terminal 320.

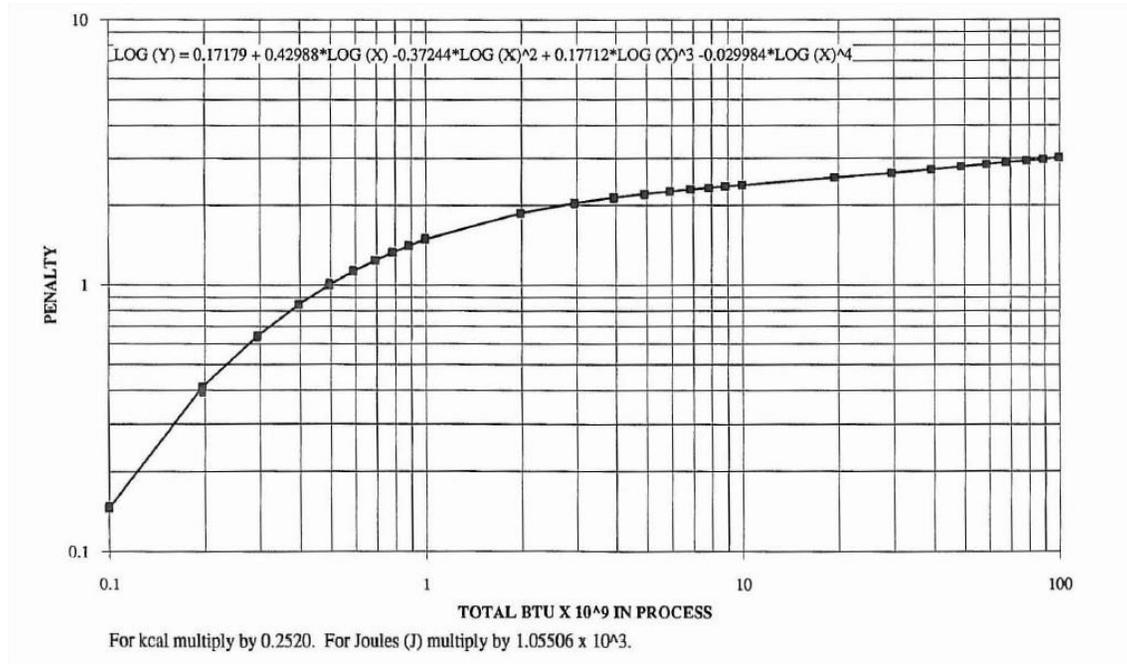


Anexo #6: Tabla para determinar la penalidad para la presión de alivio.



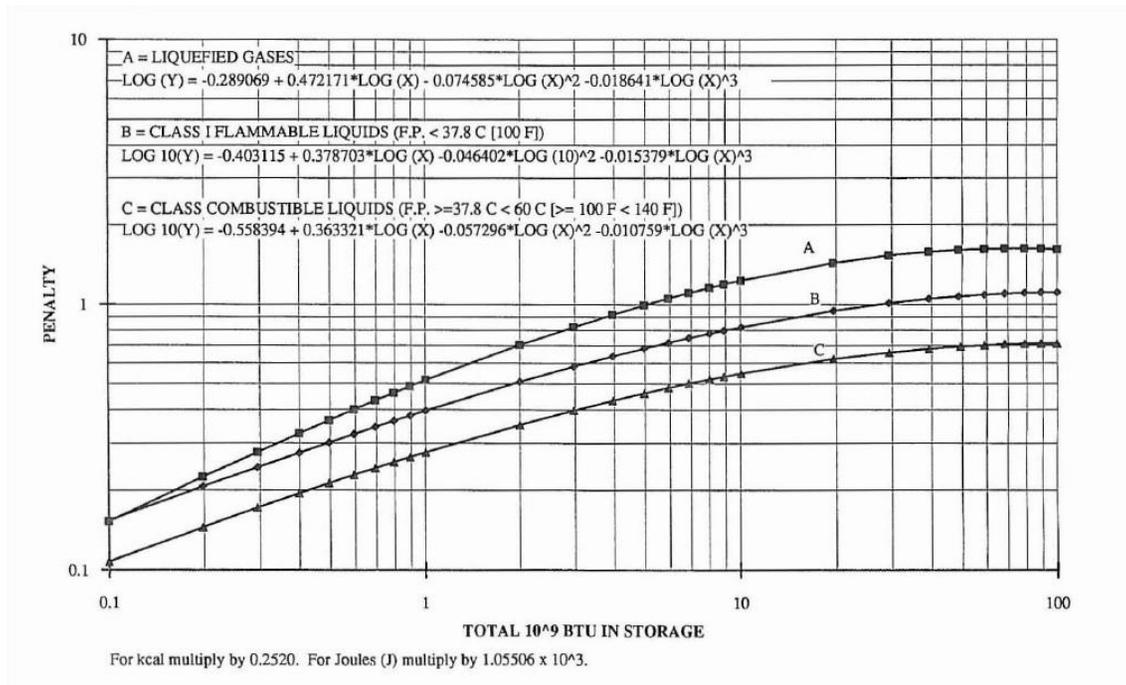
Fuente: AIChE, (1994).

Anexo #7: Tabla para determinar la penalidad de líquidos y gases en el proceso.



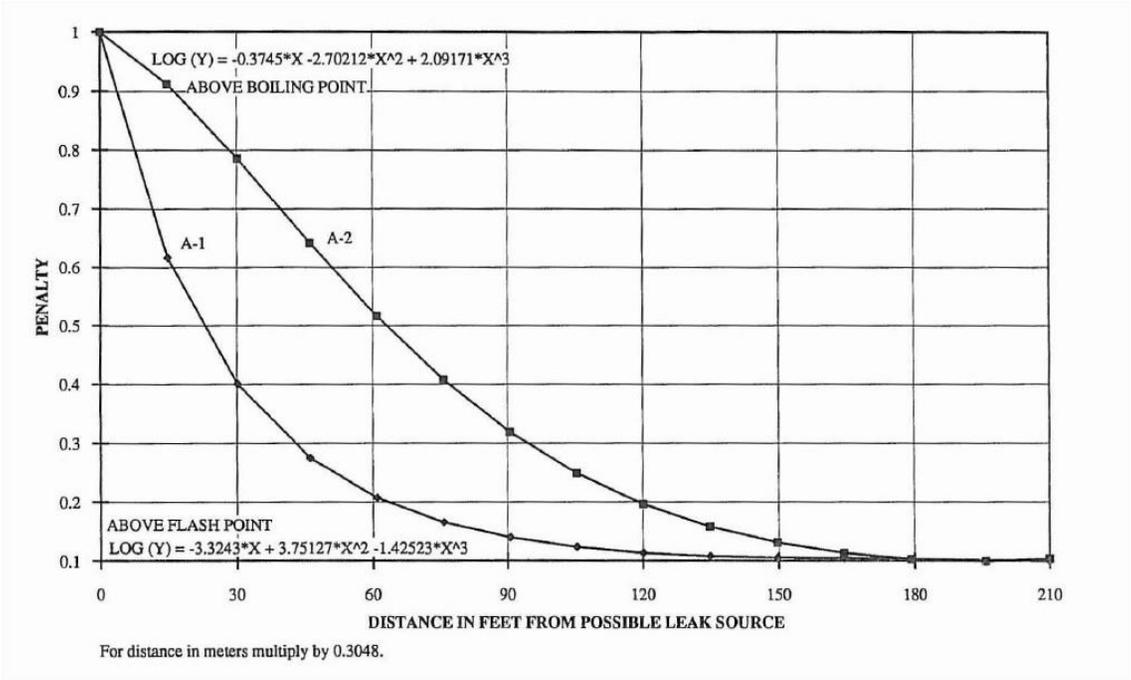
Fuente: AIChE, (1994).

Anexo #8: Tabla para determinar la penalidad de líquidos y gases en almacenamiento fuera del proceso.



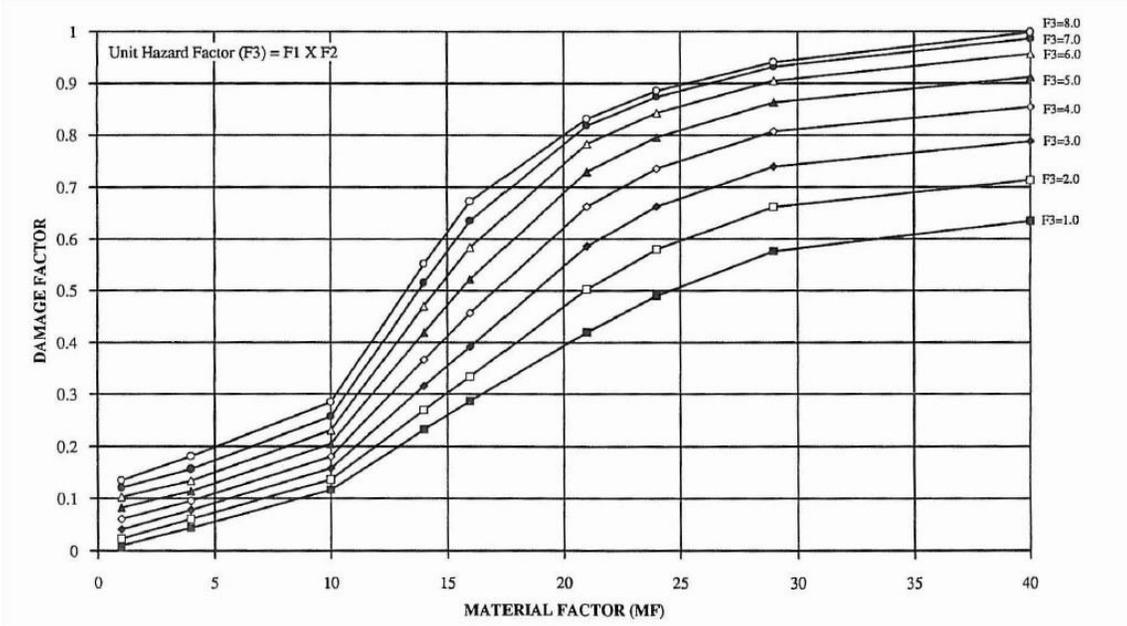
Fuente: AIChE, (1994).

Anexo #9: Tabla para determinar la penalidad del uso del equipamiento incendiado.



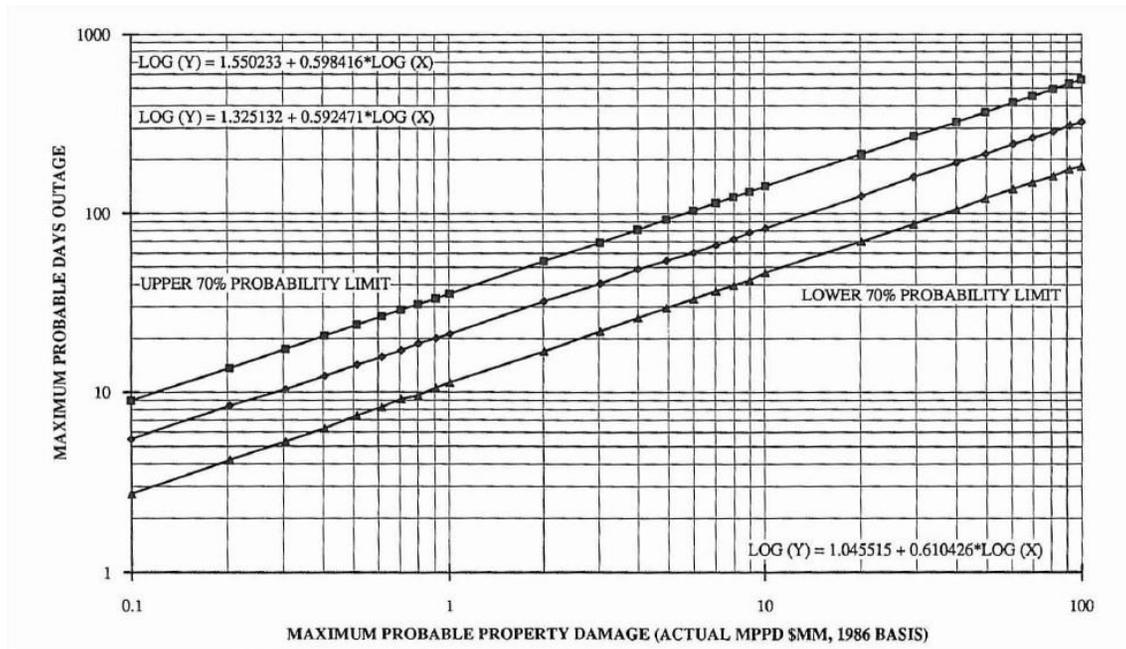
Fuente: AIChE, (1994).

Anexo #10: Tabla para determinar el índice de incendio y explosión.



Fuente: AIChE, (1994).

Anexo #11: Tabla para determinar los máximos días probables perdidos.



Fuente: AIChE, (1994).

Anexo 12: Resultados de la aplicación del F&EI.

Unidad de Proceso		1: Tanque 1
		diesel
Factor Material (MF)		10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Rango de penalización	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas	-	-
B. Procesos endotérmicos	-	-
C. Manejo del material y transferencia	0,25 - 1,05	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas	-	-
E. Acceso	-	-
F. Drenaje y control de derrames	0,25 - 0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)		1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Rango de penalización	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,20 - 0,80	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables	0,50	
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango	0,80	
D. Explosión de polvo	-	-

E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura	-	
G. Cantidad de material inflamable o inestable		0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU		206,10
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,10 - 0,75	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,10 - 1,50	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente	-	
L. Equipos de rotación	0,50	
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)		2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)		4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)		43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI		Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Rango de bonificación	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	0,98	1,00

b. Enfriamiento	0,97 - 0,99	0,97
c. Control de explosión	0,84 - 0,98	1,00
d. Parada de emergencia	0,96 - 0,99	1,00
e. Control computarizado	0,93 - 0,99	1,00
f. Gas inerte	0,94 - 0,96	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,91 - 0,99	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,50	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,50	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	1,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	1,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91 - 0,98	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,91 - 0,98	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos	0,91	
2. Análisis de consecuencias detalladas	0,93	
3. Análisis de árbol de fallos	0,93	
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)	0,94	
6. Revisiones de seguridad ambiental	0,96	
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96

8. Evaluaciones de lista de chequeo	0,98	
9. Gestión de la revisión del cambio	0,98	
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Rango de bonificación	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	0,96 - 0,98	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	0,96 - 0,98	1,00
c. Drenajes	0,91 - 0,97	1,00
d. Sistemas de bloqueo	0,98	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material		1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Rango de bonificación	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	0,94 - 0,98	1,00
b. Acero estructural	0,95 - 0,98	1,00
c. Agua contra incendios	0,94 - 0,97	1,00
d. Sistemas especiales	0,91	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,74 - 0,97	0,81
f. Cortinas de agua	0,97 - 0,98	1,00
g. Espuma	0,92 - 0,97	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,93 - 0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94 - 0,98	0,94

3. Factor de bonificación por protección contra incendios		0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas		0,55
		1: Tanque 1
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso		Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)		43,75
2. Radio de exposición (m)		11,20
3. Área de exposición		394,18
4. Valor del área de exposición		3.730.835,70
5. Factor de daño		0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)		746.167,14
7. Factores de bonificación por control de pérdidas		0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)		410.770,48
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)		8,55
10. Interrupción del negocio (BI)		237.695,57
11. Pérdidas totales		648.466,04
Datos además		
Costo del equipo original		771.800,00
Año del costo del equipo original		2005
Índice de costo del año del costo original		468,20
Índice de costo del año 2018		603,10
Costo del material que contiene		3.555.624,96
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018		0,00
Costo total		4.549.799,63

Valor de la producción de 2018	14.492.187,22
---------------------------------------	---------------

Unidad de Proceso	2: Tanque 24	3: Tanque 25
	Diésel	diesel
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-

E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	312,00	283,90
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97

c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		

9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55

Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	5.450.468,85	5.450.468,85
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.090.093,77	1.090.093,77
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	600.104,61	600.104,61
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	10,71	10,71
10. Interrupción del negocio (BI)	297.548,83	297.548,83
11. Pérdidas totales	897.653,43	897.653,43
Datos además		
Costo del equipo original	965.400,00	965.400,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	5.403.357,62	5.403.357,62
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	6.646.913,23	6.646.913,23
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	4: Tanque 4	5: Tanque 26
	Diésel	Diésel

Factor Material (MF)	10	10
1 Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70

Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	273,60	303,50
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92

1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a recicl total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada

a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18

4. Valor del área de exposición	5.545.686,83	5.450.468,85
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.109.137,37	1.090.093,77
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	610.588,24	600.104,61
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	10,82	10,71
10. Interrupción del negocio (BI)	300.617,67	297.548,83
11. Pérdidas totales	911.205,91	897.653,43
Datos además		
Costo del equipo original	976.400,00	965.400,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	5.505.307,73	5.403.357,62
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	6.763.032,72	6.646.913,23
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	6: Tanque 18	7: Tanque 74
	gasolina aviación	gasolina aviación
Factor Material (MF)	16	16
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		

B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,85	0,85
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	2,35	2,35
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,20	0,20
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables	0,50	0,50
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango		
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	1,10	1,05
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	65,00	43,00
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20

I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	3,30	3,25
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	7,75	7,64
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	124,08	122,20
Grado de peligrosidad según el F&EI	Intermedio	Intermedio
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00

6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00

2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	124,08	122,20
2. Radio de exposición (m)	31,77	31,29
3. Área de exposición	3.170,61	3.075,26
4. Valor del área de exposición	2.052.570,76	918.637,37
5. Factor de daño	0,65	0,64
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.334.170,99	587.927,92
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	734.470,90	323.658,63

9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	12,07	7,43
10. Interrupción del negocio (BI)	335.386,96	206.392,16
11. Pérdidas totales	1.069.857,87	530.050,79
Datos además		
Costo del equipo original	514.400,00	457.200,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	1.055.026,28	531.358,85
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	785.497,43	0,00
Costo total	2.503.135,07	1.120.289,48
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	8: Tanque 19	9: Tanque 13
	gasolina aviación	turbocombustible
Factor Material (MF)	16	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,85	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50

Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	2,35	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,20	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables	0,50	
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango		0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,95	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	21,48	298,70
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	3,15	2,50

Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	7,40	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	118,44	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Intermedio	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50

11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00

c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	118,44	43,75
2. Radio de exposición (m)	30,32	11,20
3. Área de exposición	2.888,92	394,18
4. Valor del área de exposición	2.034.378,56	5.290.996,12
5. Factor de daño	0,62	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.261.314,71	1.058.199,22
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	694.362,99	582.546,42
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	11,67	10,52
10. Interrupción del negocio (BI)	324.412,05	292.359,69
11. Pérdidas totales	1.018.775,03	874.906,11
Datos además		

Costo del equipo original	437.400,00	983.000,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	348.097,43	5.186.207,69
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	1.569.426,28	0,00
Costo total	2.480.949,47	6.452.434,30
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	10: Tanque 22	11: Tanque 23
	Turbocombustible	turbocombustible
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada

Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	292,30	289,50
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75

Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97

1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00

g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	5.185.795,65	5.142.256,43
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.037.159,13	1.028.451,29
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	570.963,70	566.169,97
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	10,39	10,34
10. Interrupción del negocio (BI)	288.901,59	287.462,04
11. Pérdidas totales	859.865,29	853.632,00
Datos además		
Costo del equipo original	969.800,00	965.400,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10

Costo del material que contiene	5.074.917,67	5.027.488,80
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	6.324.141,04	6.271.044,42
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	12: Tanque 17	13: Tanque 30
	Nafta	fuel oil
Factor Material (MF)	16	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,85	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	2,35	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,20	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables	0,50	

2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango		0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	1,20	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	109,20	328,90
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	3,40	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	7,99	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	127,84	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Intenso	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada

1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		

6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70

Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	127,84	43,75
2. Radio de exposición (m)	32,73	11,20
3. Área de exposición	3.365,68	394,18
4. Valor del área de exposición	1.910.699,48	4.605.975,50
5. Factor de daño	0,67	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	1.280.168,65	921.195,10
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	704.742,22	507.124,65
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	11,78	9,69
10. Interrupción del negocio (BI)	327.276,40	269.303,11
11. Pérdidas totales	1.032.018,62	776.427,76
Datos además		
Costo del equipo original	639.800,00	958.800,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	1.505.979,11	4.381.989,30
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	2.330.121,32	5.617.043,29
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	14: Tanque 38	15: Tanque 49
	fuel oil	fuel oil
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		

Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	298,40	1416,00
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00

d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		

1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55

Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	4.647.168,26	18.272.119,11
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	929.433,65	3.654.423,82
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	511.660,03	2.011.787,08
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	9,74	21,92
10. Interrupción del negocio (BI)	270.727,46	609.278,54
11. Pérdidas totales	782.387,50	2.621.065,62
Datos además		
Costo del equipo original	965.400,00	2.776.000,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	4.423.722,75	18.707.237,83
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	5.667.278,36	22.283.072,09
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	16: Tanque 50	17: Tanque 51
	fuel oil	fuel oil
Factor Material (MF)	10	10

1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		

Hc en BTU	1284,00	1416,00
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50

2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00

b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	18.427.251,64	17.808.155,14

5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	3.685.450,33	3.561.631,03
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	2.028.867,40	1.960.703,97
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	22,03	21,59
10. Interrupción del negocio (BI)	612.338,02	600.064,57
11. Pérdidas totales	2.641.205,42	2.560.768,54
Datos además		
Costo del equipo original	2.798.000,00	2.710.000,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	18.868.085,10	18.226.444,33
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	22.472.258,10	21.717.262,36
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	18: Tanque 52	19: Tanque 53
	fuel oil	fuel oil
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		

C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	1416,00	1416,00
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30

J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00

7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00

3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	18.404.013,87	18.404.013,87
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	3.680.802,77	3.680.802,77
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	2.026.308,89	2.026.308,89
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	22,02	22,02

10. Interrupción del negocio (BI)	611.880,40	611.880,40
11. Pérdidas totales	2.638.189,29	2.638.189,29
Datos además		
Costo del equipo original	2.776.000,00	2.776.000,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	18.868.085,10	18.868.085,10
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	22.443.919,36	22.443.919,36
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	20: Tanque 54	21: Tanque 55
	fuel oil	fuel oil
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		

Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	1416,00	1403,00
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50

Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00

12. Condiciones anormales previsible	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa sí?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00

d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	17.105.907,57	18.404.013,87
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	3.421.181,51	3.680.802,77
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	1.883.385,48	2.026.308,89
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	21,08	22,02
10. Interrupción del negocio (BI)	585.930,16	611.880,40
11. Pérdidas totales	2.469.315,64	2.638.189,29
Datos además		
Costo del equipo original	2.622.000,00	2.776.000,00

Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	17.483.399,84	18.868.085,10
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	20.860.862,89	22.443.919,36
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	22: Tanque 56	23: Tanque 69-1
	fuel oil	diesel
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00

B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	1416,00	247,10
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero

Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		
a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		

3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		
7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98

i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	18.404.013,87	4.393.609,82
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	3.680.802,77	878.721,96
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	2.026.308,89	483.742,88
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	22,02	9,42
10. Interrupción del negocio (BI)	611.880,40	261.875,96
11. Pérdidas totales	2.638.189,29	745.618,83
Datos además		
Costo del equipo original	2.776.000,00	846.600,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	18.868.085,10	4.267.534,36

Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	22.443.919,36	5.358.060,76
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	24: Tanque 69-2	25: Tanque 70-1
	Diésel	diesel
Factor Material (MF)	10	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas		
B. Procesos endotérmicos		
C. Manejo del material y transferencia	0,25	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas		
E. Acceso		
F. Drenaje y control de derrames	0,50	0,50
Cantidad en metros cúbicos		
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada	Penalización empleada
Factor Base	1,00	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad		
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables		
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30	0,30

3. Procesos siempre están dentro del rango		
D. Explosión de polvo	-	-
E. Presión		
Presión de operación		
Presión de alivio		
F. Baja temperatura		
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70	0,70
Cantidad en kg o lb		
Hc en BTU	225,10	247,10
1. Líquidos o gases en proceso		
2. Líquidos o gases en almacenamiento		
H. Corrosión y erosión	0,20	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado		
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente		
L. Equipos de rotación		
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1		

a. Poder de emergencia	1,00	1,00
b. Enfriamiento	0,97	0,97
c. Control de explosión	1,00	1,00
d. Parada de emergencia	1,00	1,00
e. Control computarizado	1,00	1,00
f. Gas inerte	1,00	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92	0,92
1. Puesta en marcha	0,50	0,50
2. Parada rutinaria	0,00	0,00
3. Condiciones normales	0,50	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50	1,50
10. Parada de emergencia	2,50	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos		
2. Análisis de consecuencias detalladas		
3. Análisis de árbol de fallos		
4. Estudios HAZOP	0,94	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)		
6. Revisiones de seguridad ambiental		

7. Estudios Qué pasa si?	0,96	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo		
9. Gestión de la revisión del cambio		
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78	0,78
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00	1,00
c. Drenajes	1,00	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00	1,00
b. Acero estructural	1,00	1,00
c. Agua contra incendios	1,00	1,00
d. Sistemas especiales	1,00	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81	0,81
f. Cortinas de agua	1,00	1,00
g. Espuma	0,94	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98	0,98
i. Protección de cables	0,94	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70	0,70

Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75	43,75
2. Radio de exposición (m)	11,20	11,20
3. Área de exposición	394,18	394,18
4. Valor del área de exposición	4.159.878,72	4.393.609,82
5. Factor de daño	0,20	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	831.975,74	878.721,96
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	458.008,74	483.742,88
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	9,12	9,42
10. Interrupción del negocio (BI)	253.530,31	261.875,96
11. Pérdidas totales	711.539,05	745.618,83
Datos además		
Costo del equipo original	820.200,00	846.600,00
Año del costo del equipo original	2005	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10	603,10
Costo del material que contiene	4.016.502,93	4.267.534,36
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00	0,00
Costo total	5.073.022,83	5.358.060,76
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22	14.492.187,22

Unidad de Proceso	26: Tanque 70-2
	Diésel
Factor Material (MF)	10
1. Factor general de peligrosidad del proceso	Penalización empleada
Factor Base	1,00
A. Reacciones químicas exotérmicas	
B. Procesos endotérmicos	
C. Manejo del material y transferencia	0,25
D. Unidades de procesos interiores o encerradas	
E. Acceso	
F. Drenaje y control de derrames	0,50
Cantidad en metros cúbicos	
Factor general de peligrosidad del proceso (F1)	1,75
2. Factor especial de peligrosidad del proceso	Penalización empleada
Factor Base	1,00
A. Materiales tóxicos	0,00
B. Presión sub-atmosférica	-
C. Operación dentro o fuera del rango de inflamabilidad	
1. Tanques que almacenan líquidos inflamables	
2. Equipos de procesos dentro o cerca del rango	0,30
3. Procesos siempre están dentro del rango	
D. Explosión de polvo	-
E. Presión	
Presión de operación	
Presión de alivio	

F. Baja temperatura	
G. Cantidad de material inflamable o inestable	0,70
Cantidad en kg o lb	
Hc en BTU	244,10
1. Líquidos o gases en proceso	
2. Líquidos o gases en almacenamiento	
H. Corrosión y erosión	0,20
I. Escape por juntas y embalaje	0,30
J. Uso de equipamiento incendiado	
K. Sistema de intercambio de calor con aceite caliente	
L. Equipos de rotación	
Factor especial de peligrosidad del proceso (F2)	2,50
Factor de peligrosidad de la Unidad de Proceso (F3)	4,38
Índice de Incendio y explosión (F&EI)	43,75
Grado de peligrosidad según el F&EI	Ligero
Factores de bonificación por control de pérdidas	Bonificación empleada
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	
a. Poder de emergencia	1,00
b. Enfriamiento	0,97
c. Control de explosión	1,00
d. Parada de emergencia	1,00
e. Control computarizado	1,00

f. Gas inerte	1,00
g. Instrucciones o procedimientos de operación	0,92
1. Puesta en marcha	0,50
2. Parada rutinaria	0,00
3. Condiciones normales	0,50
4. Operación a baja capacidad	0,50
5. Operación a reciclo total	0,00
6. Operación por encima de la capacidad de diseño	0,00
7. Puesta en marcha después de una breve parada	1,00
8. Puesta en marcha tras parada por mantenimiento	1,00
9. Procedimientos de mantenimiento	1,50
10. Parada de emergencia	2,50
11. Modificación o adiciones al equipo o tuberías	2,00
12. Condiciones anormales previsibles	3,00
h. Revisión sobre químicos reactivos	0,91
i. Otros análisis de peligrosidad del proceso	0,97
1. Análisis de cuantificación de riesgos	
2. Análisis de consecuencias detalladas	
3. Análisis de árbol de fallos	
4. Estudios HAZOP	0,94
5. Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA)	
6. Revisiones de seguridad ambiental	
7. Estudios Qué pasa si?	0,96
8. Evaluaciones de lista de chequeo	
9. Gestión de la revisión del cambio	
1. Factor de bonificación por Control del Proceso C1	0,78

2. Factor de bonificación por aislamiento del material	Bonificación empleada
a. Válvulas de control remotas	1,00
b. Depósito trasvase para emergencias	1,00
c. Drenajes	1,00
d. Sistemas de bloqueo	1,00
2. Factor de bonificación por aislamiento del material	1,00
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	Bonificación empleada
a. Detección de la fuga	1,00
b. Acero estructural	1,00
c. Agua contra incendios	1,00
d. Sistemas especiales	1,00
e. Sistemas de rociadores	0,81
f. Cortinas de agua	1,00
g. Espuma	0,94
h. Extintores portátiles y monitores	0,98
i. Protección de cables	0,94
3. Factor de bonificación por protección contra incendios	0,70
Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55
Resumen del análisis de riesgo para la unidad de proceso	Valor
1. Índice de Incendio y Explosión (F&EI)	43,75

2. Radio de exposición (m)	11,20
3. Área de exposición	394,18
4. Valor del área de exposición	4.345.469,34
5. Factor de daño	0,20
6. Máximo daño probable a la propiedad (base) (MPPD)	869.093,87
7. Factores de bonificación por control de pérdidas	0,55
8. Máximo daño probable a la propiedad (actualizado)	478.442,54
9. Máximos días probables perdidos (MPDO)	9,36
10. Interrupción del negocio (BI)	260.172,13
11. Pérdidas totales	738.614,67
Datos además	
Costo del equipo original	840.000,00
Año del costo del equipo original	2005
Índice de costo del año del costo original	468,20
Índice de costo del año 2018	603,10
Costo del material que contiene	4.217.328,07
Costo de otro equipo dentro del radio de exposición en 2018	0,00
Costo total	5.299.352,85
Valor de la producción de 2018	14.492.187,22