

Contenido

I.1 BASES DE DISEÑO.....	2
I.1.1.- Proyecto Civil.....	2
I.1.2.- Proyecto Mecánico.....	11
I.1.3.- Proyecto Sistema Contra Incendio.....	16
I.2.- DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO.....	18
I.2.1.- Hojas de datos de seguridad de materiales.....	18
I.2.2.- Almacenamiento.....	19
I.2.3.- Equipos de proceso y auxiliares.....	23
I.2.4.- Pruebas de verificación.....	29
I.3.- CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	32
I.3.1.- Especificación del cuarto de control.....	32
I.3.2.- Sistemas de aislamiento.....	34
I.4.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	36
I.4.1.- Antecedentes de accidentes e incidentes.....	36
I.4.2.- Metodologías de identificación y jerarquización.....	42
I.4.2.1.- Descripción de las metodologías usadas.....	42
I.4.2.2.- Aplicación de las Metodologías.....	58
II.1.- RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN.....	78
II.2.- INTERACCIONES DE RIESGO.....	91
II.3.- EFECTOS SOBRE EL SISTEMA AMBIENTAL.....	95
III.1.- RECOMENDACIONES TÉCNICO-OPERATIVAS.....	96
III.1.1.- Sistemas de seguridad.....	96
III.1.2.- Medidas preventivas.....	97
IV.1.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL.....	100
IV.2.- RESUMEN DE LA SITUACIÓN GENERAL QUE PRESENTA EL PROYECTO EN MATERIA DE RIESGO AMBIENTAL.....	101
IV.3.- INFORME TÉCNICO.....	102

I.- ESCENARIOS DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

I.1 BASES DE DISEÑO

I.1.1.- Proyecto Civil

Básicamente el proceso de la terminal de almacenamiento consiste en recibir los productos petrolíferos por medio de buque-tanques, mediante el propio sistema de bombeo de los buque tanques los petrolíferos son enviados a tanques de almacenamiento tipo atmosféricos, posteriormente, dependiendo de la demanda, los productos serán entregados mediante un sistema de bombeo hacia auto-tanques y carro tanques, adicionalmente serán mezclados con aditivos, de acuerdo a los requerimientos de los productos. El proyecto contempla expansión de tanques a futuro y dependiendo de la demanda definirá los productos a almacenar.

El proyecto de la terminal de almacenamiento incluye:

- Construir una terminal terrestre para almacenamiento de productos petrolíferos (gasolinas Regular y Premium y Diésel automotriz)
- Construir tanques de almacenamiento con una capacidad nominal de 480 Mb para productos refinados
- Adecuar un muelle existente para recepción de barcos con una capacidad de 300 Mb.

- Construir área de llenaderas para la entrega de productos petrolíferos por auto-tanque
- Construir área de llenaderas para la entrega de productos petrolíferos por carro-tanque
- Construir 6 tanques de almacenamiento con una capacidad nominal de 80 Mb cada uno para productos petrolíferos (regular, premium y diésel)
- A futuro construir dos tanques de almacenamiento con una capacidad nominal de 80Mb cada uno
- Construir obras auxiliares para la operación de la terminal de almacenamiento

El desarrollo de la ingeniería civil, cumplirá con los criterios de diseño establecidos en las normas de referencia, códigos de diseño, manuales y estándares nacionales e internacionales aplicables, así como con las especificaciones técnicas, prácticas de ingeniería, con el propósito de construir una instalación con las condiciones requeridas para su constructibilidad, operación y seguridad que facilite las actividades de mantenimiento, cubriendo las expectativas del cliente en este proyecto

Dentro del predio donde será desarrollado el proyecto, se cuenta con instalaciones administrativas y servicios auxiliares que forman parte de la terminal de carbón, parte de estas instalaciones serán acondicionadas y compartidas para la terminal de almacenamiento de petrolíferos.

Las principales obras que contempla la terminal son:

- Cimentación de tanques y equipos principales
- Malla ciclónica y torres de vigilancia perimetral

- Accesos vehicular y peatonales internos
- Circulación vehicular (pavimentos y asfaltos)
- Circulación peatonal (guarniciones y banquetas)
- Adecuación de oficinas administrativas existentes
- Torre de control
- Adecuación de caseta de vigilancia
- Adecuación de taller de mantenimiento existente
- Laboratorio
- Cobertizo sistema contra incendio
- Adecuación de subestación eléctrica
- Cuarto de control de motores
- Estacionamientos
- Sanitarios y vestidores
- Soportes de concreto
- Diques de contención
- Anillo para base de tanques de almacenamiento
- Sistema de drenajes (pluvial, sanitario y aceitoso)
- Tratamiento de efluentes (fosa API)
- Cobertizo para bombas del sistema de agua contra incendio
- Cobertizo del área de llenaderas (carga de auto-tanques)
- Cobertizo de bombas de llenaderas
- Cobertizo de bombas de cabotaje (a futuro).
- Cisterna de agua de servicios generales
- Adecuación de cobertizo de residuos peligrosos

La terminal de almacenamiento al ser ubicada en un lugar estratégico contará con la infraestructura necesaria para su operación de manera segura y confiable cumpliendo con lo siguiente:

- Ser una instalación de bajo mantenimiento.
- Son indicados los espacios necesarios, así como la infraestructura y distancias necesarias entre equipos
- Realizar una distribución de equipos e instalaciones de acuerdo a los espaciamientos requeridos por seguridad.
- Considerar espacios necesarios para la construcción del segundo muelle

Cimentación

El análisis y diseño geotécnico de las cimentaciones es realizado y respaldado de acuerdo a las conclusiones y recomendaciones contenidas en el estudio de mecánica de suelos.

Las cimentaciones de estructuras serán diseñadas y analizadas integralmente con la superestructura, para lo cual modelos completos son elaborados.

El diseño de las cimentaciones es basado en los espacios disponibles, los requerimientos de seguridad, la integración de las instalaciones al entorno, las solicitaciones de carga de las estructuras y equipos entre otros aspectos.

Los análisis definen la estabilidad de las cimentaciones propuestas bajo la acción de las cargas estáticas y dinámicas más desfavorables para cada caso particular, garantizando que no sobrepasen los estados límite de falla o de servicio.

Cimentación de tanques almacenamiento, edificios y barda perimetral

Con base en los resultados del estudio de mecánica de suelos la cimentación conveniente (superficial o profunda) es diseñada y proyectada para asegurar el buen funcionamiento e integridad de la instalación.

Barda perimetral

La barda perimetral está compuesta de mampostería y elementos de concreto reforzado con alambre de púas y concertina de acero inoxidable en su parte superior a todo el perímetro de la Terminal.

Camino de acceso

Para el acceso a la instalación se cuenta con vialidades totalmente pavimentadas, al encontrarse dentro de un recinto portuario las vialidades cumplen con normas de SCT para el tipo de vehículos a utilizar (T3-S2-R4).

Circulación vehicular (vehículos de autotransporte clase tracto camión articulado T3-S2-R4)

La calidad de concreto es de acuerdo a las especificaciones y normativa de la SCT vigente aplicable y a los cálculos correspondientes de acuerdo a las bases de diseño, es utilizado en los rodamientos del área de llenadoras de auto-tanques, taller de mantenimiento, áreas de circulación de la entrada y salida de los equipos de abastecimiento y estacionamiento para auto-tanques, para áreas no operacionales serán de asfalto.

Circulación peatonal

La calidad de concreto es de acuerdo a las especificaciones y normativa de la SCT vigente aplicable y cálculos correspondientes de acuerdo a las bases de diseño.

Subestación eléctrica

Instalación existente de la cual se harán las interconexiones para los nuevos requerimientos del proyecto

Sanitarios y vestidores

Estructura de un nivel, principal de concreto reforzado y secundaria de mampostería.

Soportes de concreto (mochetas)

De concreto reforzado dentro y fuera del área de diques (área de proceso), con abrazaderas metálicas y asientos de neopreno, para conducción de tuberías de gasolina, agua contra incendio y servicios auxiliares.

Torre de control e inspección final

Estructura de dos niveles, principal de concreto reforzado y secundaria de mampostería.

Estructura de la plataforma a base de perfiles metálicos de acero y escalones de rejilla tipo Irving.

Taller de mantenimiento

Estructura principal de concreto reforzado, estructura secundaria de mampostería.

Pasos de tuberías

Son requeridos para el cruce de vialidades y áreas de proceso. Éstos son diseñados con estructura metálica, estructura de concreto reforzado, rejillas electro forjadas y tapas modulares en la superficie de rodamiento. Para cada caso la conveniencia de pasos superiores (puentes) o pasos subterráneos (trincheras) es determinada.

Oficina y cobertizo contra incendio

En el área de oficina, la estructura principal es de concreto reforzado y la secundaria de mampostería.

Los cobertizos son de estructura metálica de acero con protección para ambientes altamente corrosivos, con techo de lámina galvanizada recubierta de pintura a base de resinas de poliéster (tipo pintor o similar).

Tanques y Diques

Los tanques de almacenamiento de productos refinados son provistos de escaleras de estructura metálica con rejilla electro forjada y pasamanos, tubos guía para medición física y electrónica, alumbrado en las escaleras y área de medición.

Los tanques son ubicados dentro de diques según indique el diseño. Cuentan con acceso peatonal hacia su interior, drenaje aceitoso y pluvial y en caso de requerirse, escaleras para operación y mantenimiento de válvulas y cruce de tuberías a base de estructura metálica con rejilla electro forjada con pasamanos.

Sistema de drenajes

El proyecto contempla 3 tipos de drenajes: pluvial, sanitario y aceitoso.

Drenaje pluvial

El drenaje pluvial dentro de diques puede recolectar el agua de lluvia o producto derramado de los tanques de almacenamiento, canalizándolo a un colector con válvulas de seccionamiento, para dirigir el producto a las

líneas de drenaje pluvial o aceitoso, según sea el caso. Todos los registros del drenaje aceitoso cuentan con sello hidráulico. En cada uno de los diques de contención, el registro de drenaje pluvial anterior a la descarga de aguas en los ramales o tuberías troncales, tiene su sello hidráulico. Una vez tratado el producto del drenaje aceitoso y sanitario el agua es enviada al drenaje municipal o exterior.

El agua pluvial libre de hidrocarburos, bajo previo análisis y control con válvulas de bloqueo, es descargada hacia unos registros de captación, para que de ahí sea enviada al tanque de agua contra incendio y/o al drenaje municipal o exterior.

Drenaje sanitario (servicios)

Colecta el efluente de aguas negras y jabonosas (servidas) producto de los sanitarios, lavabos y regaderas de forma independiente a la salida de los edificios.

Las aguas servidas son conducidas hasta una unidad de tratamiento, con capacidad suficiente para cada área de edificios.

Este sistema de recolección capta las aportaciones de todos los servicios y canaliza su corriente hacia "trampas de grasas" y posteriormente es enviada al drenaje sanitario para su tratamiento en la fosa API.

El agua ya tratada es conectada a una sola salida de descarga y enviada al tanque de agua contra incendio y/o drenaje para su posterior disposición.

Drenaje aceitoso

El sistema de drenaje aceitoso considera la capacidad para desalojar las descargas de las áreas de proceso y aguas aceitosas provenientes de los

diques y purgas de equipos y maquinarias existentes en la terminal, las cuales son enviadas a la fosa API, que cuenta con un almacenaje para el aceite recuperado. Así mismo es evitado que los hidrocarburos de los drenajes aceitosos fluyan a los drenajes pluviales.

Los registros de los drenajes aceitosos han de tener sellos hidráulicos en las tuberías de llegada a los mismos.

Las copas de purga son descargadas a registros aceitosos, los cuales tienen sellos hidráulicos para evitar la propagación de un posible incendio.

En áreas dentro de los diques la aportación pluvial es controlada mediante un sistema de válvulas de bloqueo que permite el control selectivo de la salida de efluentes al drenaje pluvial o aceitoso.

Tratamiento de efluentes

La operación normal de la terminal de almacenamiento genera, de manera enunciativa más no limitativa, los siguientes efluentes y desechos:

Lodos y óxidos aceitosos provenientes de la limpieza de tuberías y tanques realizada cada 5 años.

Focos fluorescentes por cambio en el sistema de alumbrado.

Pilas de litio provenientes de las unidades de respaldo para equipo de cómputo y medición.

Latas, brochas y enseres contaminados con pintura como parte del mantenimiento. La disposición de todos estos efluentes cumple conforme a la normatividad ambiental. Tratamiento de efluentes:

El agua proveniente del drenaje aceitoso es tratada mediante un sistema integral (separador fosa API y lodos activados), donde el agua recuperada pueda utilizarse para el sistema contra incendio, riego o para ser enviada al drenaje

externo de la terminal. Cuenta con infraestructura para la recuperación de agua contaminada y lodos aceitosos necesaria para cargar en camión cisterna o tambores para su disposición final.

La capacidad del paquete integral de tratamiento de agua recuperada es determinada en función de los requerimientos considerados en la fase de ingeniería.

Los desechos sólidos son depositados temporalmente en el almacén de desechos y residuos peligrosos, mientras los trámites ante las autoridades ambientales para su disposición final son realizados.

I.1.2.- Proyecto Mecánico

Ingeniería de Tuberías

Los sistemas de tubería requeridos en la Terminal de Almacenamiento Altamira son considerados para una planta industrial.

Planta Industrial (TAR)

Su diseño considera la norma ASME B31.3, los sistemas de tubería son los siguientes:

- Tubería para recepción de productos petrolíferos (Muelle)
- Tubería para el sistema de entrega de producto a tanques de almacenamiento
- Tubería para la succión de bombas de llenaderas de auto-tanques y carro-tanques

- Tubería para la descarga de bombas de llenaderas de auto-tanques y carro-tanques
- Tubería para patines de medición en área de llenaderas de auto-tanques y carro- tanques
- Tubería para el sistema contra incendio, incluye: red de agua contra incendio, sistema de aspersores, espuma mecánica
- Tubería para drenajes: aceitoso, aceitoso contaminado y pluvial
- Tubería para desfogue de vapores
- Tubería de aire de planta
- Tubería de agua de servicios

Sistema de control de corrosión para tuberías y tanques

a) Sistema de recubrimientos anticorrosivos a base de pinturas

Para este sistema la selección de los tipos de recubrimiento primario, intermedio y de acabado, cumplirán con los requerimientos para un ambiente húmedo y salino, considerando el tipo y estado de la superficie a proteger, preparación de la superficie, método de limpieza, grado de limpieza y perfil de anclaje requerido.

Es proyectado un sistema de recubrimientos anticorrosivos a base de pinturas para todas las instalaciones superficiales, tanques (interior y exterior), equipos, tuberías, accesorios, plataformas de operación, entre otros.

b) Sistema de protección catódica (SPC) en tanques atmosféricos

Se establece un sistema de protección catódica para la protección externa del fondo de los tanques atmosféricos. Incluye geomembrana en todos los tanques y un sistema de control y monitoreo local por corriente impresa.

Ingeniería mecánica

Equipo mecánico estático

Como requerimiento del equipo estático, en los tanques de almacenamiento considerar su diseño con base en la norma API 650:

- Los tanques de almacenamiento son integrados por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo y en el techo, con la finalidad de realizar limpieza, revisiones y reparaciones en su interior.
- El tanque de almacenamiento cuenta con escaleras, plataformas y barandales en las zonas de acceso a boquillas de instrumentos y entradas hombre, con escalones antiderrapantes, las escaleras son circunferenciales al tanque y soportadas al mismo, los largueros son al piso.
- Considerar tomas de muestras e instrumentos.
- Los tanques de almacenamiento de producto, son del tipo cilíndricos verticales atmosféricos contruidos bajo el sistema de cúpula flotante y techo geodésico para gasolina y de techo tipo cónico fijo para diésel.
- Los tanques de almacenamiento cuentan con calibración volumétrica (método óptico y método de flotación).
- El tanque de almacenamiento de agua contra incendio es del tipo cilíndrico vertical con techo tipo cónico fijo.

- Las bridas de las boquillas son de acuerdo a ASME B16.5 clase 150# cara realzada.
- Los tanques de almacenamiento para petrolíferos incluyen protección anticorrosiva por el interior y exterior.
- Los recipientes sujetos a presión son suministrados con estampado ASME.

Considerar en los tanques de almacenamiento los sistemas indicados como "medidas adicionales de seguridad" como el sistema de monitoreo de fugas por el fondo (geomembrana).

Equipo mecánico dinámico

Requerimientos para el equipo mecánico dinámico:

El diseño del equipo mecánico dinámico (bombas, compresores y auxiliares) es de acuerdo a las necesidades y requerimientos del proyecto.

Bombas para el uso en los productos petrolíferos son del tipo centrífugas con succión lateral de un solo paso tipo OH2 con una capacidad nominal de 500 gpm por llenadera-producto.

Para carcasas, bridas, cajas para baleros, tapas, entre otros, del equipo mecánico dinámico; el material de hierro fundido no es aceptado.

La clase de las bridas de las bombas centrífugas para productos petrolíferos en la succión y descarga son con base a la especificación API, con una clase mínima de 300#. Los sellos mecánicos de las bombas que manejen hidrocarburos serán dobles, de cartuchos balanceados y con capacidad de

manejar gasolinas con MTBE de 12.73 masa y etanol anhidro del 10 3 volumen.

El compresor para el servicio de aire de planta será tipo tornillo libre de aceite, su uso es definido en la ingeniería básica.

El sistema de enfriamiento para el compresor de aire de instrumentos será por aire.

El sistema de enfriamiento para el equipo de bombeo (si aplica, de acuerdo a diseño) será con chaquetas de enfriamiento.

El tipo de lubricación para el equipo de bombeo es por grasa o aceite, el sistema de lubricación con niebla no es aceptable.

Motores eléctricos diseñados a prueba de explosión. Motores eléctricos de eficiencia Premium.

I.1.3.- Proyecto Sistema Contra Incendio

La protección contra incendios estará diseñada de acuerdo con la norma NFPA 30, Código de Líquidos Inflamables y Combustibles, edición 2012, Código Internacional de Incendios, edición 2012 y estándares NOM (referidos en NOM-EM-003-ASEA-2016, Sección 9.3.9)

La terminal de almacenamiento estará formada por un sistema de protección contra incendio integrado por los siguientes elementos:

- Tanque de almacenamiento
- Cobertizo para el alojamiento del sistema de bombeo de agua
- Sistema de bombeo
- Red de agua contra incendio
- Equipo generador y aplicación de espuma contra incendio
- Sistema de bombeo para la succión de agua del canal de navegación
- En áreas de oficinas y talleres sistema contra incendio a base de extintores

Tanque de almacenamiento

Diseñado en función del requerimiento total de agua demandada para el escenario crítico de la instalación para la atención del siniestro durante 2 horas ininterrumpidas. El tanque será de acero al carbono tipo atmosférico vertical.

Cobertizo para el alojamiento del sistema de bombeo

Diseñado de acero estructural y materiales no combustibles en el cuál se alojará el sistema de bombeo para agua y espuma.

Sistema de bombeo

Se encuentra constituido por bombas tipo centrifugas de alimentación principal y de relevo, la bomba principal es considerada con motor eléctrico y la de relevo con motor de combustión interna. Adicionalmente el sistema requiere mantenerse presurizado por lo que es considerada una bomba con motor eléctrico (Bomba jockey).

Red de agua contra incendio

El diseño de la red contempla la formación de un anillo periférico mediante tubería y estratégicamente ubicados hidrantes, monitores, tomas siamesas entre otros.

El sistema se encuentra diseñado para operar con una presión mínima de 7 kg/cm² manteniéndose la red presurizada mediante una bomba sostenedora de presión (jockey).

Equipo generador y aplicación de espuma contra incendio

El sistema de protección mediante este sistema contempla la utilización de líquido espumante resistente al alcohol (AFFF AR) y su aplicación mediante un sistema generador de espuma conectado a la red contra incendio.

El sistema de bombeo de la espuma contra incendio se ubicará en el cobertizo contra incendio, en el cobertizo de llenaderas el sistema contempla la aplicación de rocío-espuma mediante monitores, en tanques de almacenamiento el sistema de aplicación de espuma es a través de cámaras de espuma (aplicación superficial), y/o formadores de alta contrapresión (inyección sub-superficial).

Extintores

Serán considerados extintores tipo portátiles para ser ubicados en áreas de proceso, en áreas de oficina y talleres.

1.2.- DESCRIPCION DETALLADA DEL PROCESO

1.2.1.- Hojas de datos de seguridad de materiales



VER ANEXOS (15)

Hojas de Datos de Seguridad de los materiales manejados.

I.2.2.- Almacenamiento

La terminal para almacenamiento de gasolina Regular, gasolina Premium y diésel automotriz contara con 6 tanques atmosféricos de membrana interna flotante y techo fijo.

Sus principales características son:

- Diseño geométrico: Cilíndrico
- Orientación: Vertical
- Material: Acero al carbón
- Fabricación: Soldado
- Tipo de soporte: Sobre suelo

Partes principales que componen un tanque atmosférico:

- Fondo
- Envolvente (anillos)
- Techo (techo fijo)
- Membrana interna flotante
- Boquillas
- Escalera y pasarela de operación aérea
- Recubrimiento

TANQUE	TIPO DE TANQUE	CAPACIDAD NOMINAL (b)	PRODUCTO
TV-01	Atmosférico, membrana interna flotante y techo fijo	80,000	Gasolina Regular
TV-02	Atmosférico, membrana interna flotante y techo fijo	80,000	Gasolina Regular
TV-03	Atmosférico, membrana interna flotante y techo fijo	80,000	Gasolina Premium
TV-04	Atmosférico, membrana interna flotante y techo fijo	80,000	Gasolina Premium
TV-05	Atmosférico techo fijo	80,000	Diésel
TV-06	Atmosférico techo fijo	80,000	Diésel
TV-07	Atmosférico	80,000	Futuro
TV-08	Atmosférico	80,000	Futuro

Los tanques serán diseñados bajo el código API-650, considerando recipiente atmosférico y temperatura ambiente. Será considerada una corrosión permisible de 1/16".

La disposición geométrica para los tanques es la siguiente: Tanques de 80 Mb:

- Diámetro: 36.57 m
- Altura: 12.19 m

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Fondo

Será formado con placas de acero al carbón ASTM A-283-C, las placas serán tendidas, conformadas y soldadas según diseño, en forma plana sobre la base del tanque para formar el recipiente.

Envolvente

Será el cuerpo del tanque cilíndrico vertical con el desarrollo circular de las placas de acero al carbón ASTM A-283-C, las placas serán roladas y desplantadas sobre la base del fondo.

Techo ó Cúpula

Los tanques para gasolinas y diésel automotriz serán construidos con techo fijo cónico mediante placas de acero al carbón ASTM A-283-C.

Placa de solapas

Las placas de solapas serán de acero al carbón ASTM A-283-C.

Ángulo de coronamiento y Vigas de refuerzo

El ángulo de coronamiento será construido de acero al carbón ASTM A-36.

Escalera y plataforma de operación aérea

Los tanques contarán con escalera helicoidal, plataforma de operación y barandal superior para la inspección de instrumentos y labores de inspección y mantenimiento. El material debe ser como mínimo ASTM-A-36, en los siguientes elementos:

- Pasamanos en escalera: Tubo de 1 1/2" ced. 30

- Postes en escalera: ángulo de 3" x 3/8" x 1 "
- Guarda longitud intermedia en escalera: solera de 3" x ¼"
- Guarda longitud inferior en escalera: solera de 3" x 1 "
- Pasamanos de barandal superior: tubo de 1 1/2" ced. 30
- Postes de barandal superior: ángulo de 3" x 3/8" x 1"
- Guarda longitud intermedia en barandal superior: solera de 2" x ¼"
- Guarda longitud inferior en barandal superior: solera de 3" x ¼"

Cuellos de boquillas

Los cuellos de boquillas serán utilizados para la union entre las paredes del tanque de almacenamiento y las bridas de las boquillas, estos serán de acero al carbón ASTM A-106 B/ASTM A-36

Bridas

Serán de acero al carbón ASTM A-105 bajo la especificación ASME B16.5

Soldadura

De acuerdo a la especificación ASW 5.1, electrodos E60 y E70.

Membrana interna flotante

Está formada por un panel, tuberías y/o pontones de aluminio y sellos perimetrales, que permiten la flotabilidad del techo sobre el líquido contenido en el tanque y el libre ascenso y descenso durante el llenado o vaciado.

La estructura metálica que forman los tanques, así como la soportería y sus accesorios serán sandblasteados mediante chorro de arena a metal blanco (SSPC-SP-5) y recubiertos con pintura anticorrosiva color blanco.

Serán rotulados conforme a lo establecido en las normas mexicanas vigentes de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social "STPS", aplicables y sistemas reconocidos internacionalmente, así como a los requerimientos particulares

I.2.3.- Equipos de proceso y auxiliares

La Terminal de Almacenamiento contempla la construcción y adecuación de las siguientes instalaciones, las cuales ayudaran a que la operación sea de forma segura y eficiente.

- Sistema de aire acondicionado HVAC
- Sistema de circuito cerrado de televisión
- Sistema de intercomunicación y voceo
- Red de voz, datos y video
- Sistema de control de acceso vehicular
- Alumbrado
- Sistema de aire de servicio
- Sistema de agua de servicio
- Torre de comunicación UHF ó VHF
- Adecuación de taller de mantenimiento
- Drenaje pluvial
- Drenaje sanitario
- Drenaje aceitoso y fosa API
- Laboratorio
- Almacén temporal de residuos peligrosos
- Sistema contra incendio

- SISTEMAS VS INCENDIO – Se especifica en el apartado I.1.3
- **Sistema de circuito cerrado de televisión CCTV**

El sistema de CCTV facilitará la supervisión por personal autorizado, el monitoreo y la video- vigilancia en áreas de alto riesgo, en accesos, en áreas de oficinas y en general en zonas de operación.

El sistema de CCTV trabajará como sistema independiente (servidor, software y equipamiento de grabación), pero será integrado a la red local de la Terminal de Almacenamiento, a través de la red troncal de fibra óptica.

Los equipos que conforman este sistema son:

- Cámaras fijas
- Cámaras PTZ
- Cámaras tipo domo
- Cámaras PTZ con carcasa para área clasificada
- Videograbadora digital DVR
- Estación de monitoreo en cuarto de control y vigilancia
- **Sistema de intercomunicación y voice**

El sistema será diseñado para la seguridad e integridad física del personal dentro de las instalaciones de la terminal durante una situación de emergencia, de tal manera que puedan generarse avisos mediante señales de voz multicanal a través de la infraestructura del sistema de sonorización a instalar.

- 1 Estación de intercomunicación y voiceo Subsistema de amplificación de audio
- 2 Subsistema de procesamiento de señales analógicas y digitales
Subsistema de altavoces
- 3 Consola mezcladora multicanal
- 4 Interfaz SIV – Ethernet para integrarse a la red local de la terminal

- **Red de voz, datos y video**

La red de voz, datos y video será diseñada para proporcionar servicios de comunicaciones digitales (voz, datos y video) para el funcionamiento e intercambio de información digital entre dispositivos de comunicación (computadoras, impresoras, terminales telefónicas, dispositivos móviles y sistema de videoconferencia).

- **Sistema de control de acceso vehicular**

El sistema de control de acceso será diseñado para controlar y registrar los accesos/salidas vehiculares del personal interno, auto-tanques de servicio, proveedores y/o vehículos de una sola visita a las instalaciones de la terminal.

El sistema de control de acceso estará formado por los siguientes dispositivos:

- 1 Barreras viales
- 2 Antena detectora de metal
- 3 Antena detectora de etiquetas RFID
- 4 Detector fotoeléctrico
- 5 Teciado alfanumérico

6 Etiquetas RFID

- **Alumbrado**

Las luminarias para alumbrado interior de edificios y los locales industriales serán tipo LED.

Las luminarias para el alumbrado de calles, estacionamientos, accesos y barda perimetral serán tipo LED instaladas en postes metálicos con sistema de celdas fotovoltaicas, alimentadas desde el sistema eléctrico general de la terminal.

- **Sistema de aire de servicio**

Este sistema da servicio a los trabajos de mantenimiento a equipos e instalaciones de la terminal, está formado por compresor, tanque acumulador y líneas de tuberías que distribuyen el aire en áreas estratégicas.

- **Cisterna de agua de servicios y sistema hidroneumático**

La terminal cuenta con una cisterna de agua para servicios generales, se hará una ampliación de la red distribución de agua dentro de la terminal para llevar el servicio a estaciones de servicio de mantenimiento y donde sea requerido. El agua actualmente es suministrada mediante red municipal.

- **Torre de comunicación UHF ó VHF**

Se instalará una torre de acero que cumpla con la normativa aplicable, que dará soporte para la colocación de una antena en banda UHF ó VHF que proveerá los servicios de comunicación radio trunking

- **Adecuación a taller de mantenimiento**

La terminal cuenta con un taller de mantenimiento, sin embargo serán realizadas adecuaciones para dar mantenimiento preventivo o correctivo a equipos, instrumentos, válvulas, luminarias, etc. de la propia instalación; el taller de mantenimiento contará con una bodega, un área de trabajo, una oficina y un sanitario.

- **Drenaje pluvial**

El drenaje pluvial dentro de diques puede recolectar el agua de lluvia o producto derramado de los tanques de almacenamiento, canalizándolo a un colector con válvulas de seccionamiento, para dirigir el producto a las líneas de drenaje pluvial o aceitoso, según sea el caso. Todos los registros del drenaje aceitoso cuentan con sello hidráulico. En cada uno de los diques de contención, el registro de drenaje pluvial anterior a la descarga de aguas en los ramales o tuberías troncales, tendrá sello hidráulico. Una vez tratado el producto del drenaje aceitoso el agua es enviada al drenaje municipal o exterior.

El agua pluvial libre de hidrocarburos, bajo previo análisis y control con válvulas de bloqueo, es descargada hacia unos registros de captación, para que de ahí sea enviada al tanque de agua contra incendio y/o al drenaje municipal o exterior.

- **Drenaje sanitario**

Colecta el efluente de aguas negras y jabonosas (servidas) producto de los sanitarios, lavabos y regaderas de forma independiente a la salida de los edificios.

Las aguas servidas serán conducidas a la red de drenaje sanitario para su tratamiento en la planta de tratamiento de aguas negras existente.

El agua ya tratada es conectada a una sola salida de descarga y enviada al tanque de agua contra incendio y/o disposición para riego.

- **Drenaje aceitoso y fosa API**

El agua proveniente del drenaje aceitoso es tratada mediante un sistema integral (separador fosa API y lodos activados), donde el agua recuperada pueda utilizarse para el sistema contra incendio, riego o para ser enviada al drenaje externo de la terminal.

CONSULTORÍA INGENIERÍA Y SERVICIOS A.R. S.A. DE C.V.

- **Adecuación de almacén temporal de residuos peligrosos**

La operación normal de la terminal de almacenamiento genera, de manera enunciativa más no limitativa, los siguientes efluentes y desechos:

- 1 Lodos y óxidos aceitosos provenientes de la limpieza de tuberías y tanques realizada cada 5 años
- 2 Focos por cambio en el sistema de alumbrado

- 3 Baterías provenientes de las unidades de respaldo para equipo de cómputo y medición
- 4 Latas, brochas, estopas y enseres contaminados con pintura e hidrocarburos como parte del mantenimiento.

La disposición de todos estos desechos serán depositados en un área de residuos peligrosos para su posterior disposición por un ente externo que cumpla con normatividad ambiental para su manejo y tratamiento.

I.2.4.- Pruebas de verificación

Los tanques de almacenamiento y sus materiales cumplirán con los estándares de las normas ASTM y ASME y deberán venir certificados.

Las pruebas de verificación al sistema contra incendio son las siguientes:

Deben realizarse pruebas en el sistema de distribución de agua y espuma para determinar la tasa de flujo y presión disponibles para propósitos de combate de incendios:

- a. A las tuberías de agua y espuma deben realizarse las pruebas hidrostáticas y firmarse los certificados de prueba y materiales del sistema y sus componentes contra incendio;
- b. La tubería, desde el suministro de agua hasta el anillo de agua y/o espuma contra incendio, debe lavarse por completo antes de realizar la conexión al equipo que protegerá;
- c. Toda la tubería y accesorios deben probarse hidrostáticamente a 14 kilogramos por centímetro cuadrado (200 lbs/pulg2) o 3.5 kg/cm2 cuadrado (50 lbs/pulg2) por encima de

la presión de trabajo del sistema, lo que sea mayor, y debe mantenerse esa presión con una tolerancia de ± 0.35 kg/cm² (5 lbs/pulg²) por 2 h;

d. Cada hidrante debe probarse con la presión de agua del sistema en posición totalmente abierto y totalmente cerrado;

e. Todas las válvulas de control deben probarse con la presión de agua del sistema abriendo y cerrando totalmente para asegurar su operación apropiada;

f. Las bombas de agua contra incendio, deben ser verificadas en sus características de operación con pruebas de presión y flujo;

g. Prueba de operación del sistema proporcionador de espuma contra incendio, verificando su flujo, y

h. Prueba de operación del sistema de rociadores contra incendio, verificando su flujo y aplicación de enfriamiento.

En el almacenamiento de gasolinas y Diesel se deberán seguir los lineamiento y verificaciones que obliga la NOM-EM-003-ASEA-2016 *“Especificaciones y criterios técnicos de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para el Diseño, Construcción, Pre-Arranque, Operación y Mantenimiento de las instalaciones terrestres de Almacenamiento de Petrolíferos, excepto para Gas Licuado de Petróleo”*

Todas las tuberías de acero soldadas durante la etapa de Construcción, previo a la aplicación de protección anticorrosiva y de su puesta en Operación, deben contar con sus reportes de verificación radiográfica y su certificado de prueba hidrostática ambos con resultados satisfactorios.

Se deben aplicar las pruebas destructivas y/o no destructivas por inspector certificado, como lo son de radiografiado de soldaduras, identificación positiva de materiales, corrientes Eddy, medición ultrasónica de espesores, pruebas de dureza, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, pruebas hidrostáticas o neumáticas de

aplicación a equipo estático, dinámico, circuitos de tubería, civil y recipientes de Almacenamiento.

Una vez concluidas las pruebas Pre-operativas o empacados los sistemas de Almacenamiento con Petrolíferos, deben realizarse pruebas de tipo dinámico a todos los equipos de bombeo del sistema de Almacenamiento, con objeto de verificar las especificaciones de potencia, capacidad de flujo, presiones y demás parámetros nominales que los caracterizan. Para estas pruebas también deben especificarse por escrito los incisos anteriores y debe llevarse un control de las pruebas y de los resultados obtenidos de las mismas en la bitácora de operaciones del sistema de Almacenamiento.

Todos los tanques verticales durante su vida útil en Operación deben retirarse de operación periódicamente para realizarles el Mantenimiento, verificación y pruebas de hermeticidad que requieren los estándares API 650.

Para los tanques verticales que sean construidos en taller o en campo, deben realizarse todas las pruebas No Destructivas necesarias en las uniones de soldadura de sus placas, antes de su puesta en servicio.

Se debe someter a revisión y pruebas los brazos de carga y las mangueras, y dependiendo del resultado de éstas, sustituirlas conforme a la vida útil recomendada por el fabricante;

En caso de que el sistema de Almacenamiento cuente con monoboyas para el trasiego del Petrolífero desde Buquetanque, se debe considerar las medidas de Mantenimiento correspondientes a las que se hace referencia en Normas, Códigos y Estándares aceptadas a nivel nacional y/o internacional, referidos en el contenido de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia.

Se debe realizar la medición, pruebas, verificación y mantenimiento anual de la red de tierras, sus conexiones, pozos de tierra.

En los diques de contención, se deben realizar inspecciones visuales periódicas y pruebas de hermeticidad de lozas de piso y juntas verticales de muros, así como el sellado de juntas en el paso de tuberías.

Las verificaciones en el Diseño, Construcción y Operación serán llevadas a cabo por Unidades de Verificación específicas en la materia y avaladas por la Entidad Mexicana de Acreditación.

I.3.- CONDICIONES DE OPERACIÓN

I.3.1.- Especificación del cuarto de control

El Sistema de Control Supervisor es el encargado de centralizar toda la información proveniente de la instrumentación de campo, bases de datos, servicios de facturación, entre otras aplicaciones y tiene la función de visualizar, controlar, y administrar los lazos de control provenientes de equipos como computadores de flujo, PLC's y unidades de control local. La comunicación entre el Sistema de Control Supervisor y los equipos que centralizan las señales de la instrumentación en campo es jerárquica y soporta protocolos de comunicación para poder integrarse a la red local de la Terminal de Almacenamiento Altamira (MODBUS TCP, TCP/IP, OPC). Este sistema puede realizar operaciones tales como:

- Control y monitoreo en el nivel de producto en tanques
- Control y monitoreo de los sistemas de carga y descarga
- Control de apertura y cierre de válvulas operadas eléctricamente

- Comunicación con el Sistema de Control Contra Incendio (SCCI)
- Facturación
- Visualización gráfica de los datos operativos de la terminal
- Agregar o dar de baja lazos de control
- Configuración remota de unidades de control local, PLC's y computadores de flujo
- Programación y registro de actividades

Los sistemas que integran al Sistema de Control Supervisor son los siguientes:

- Telemedición de tanques
- Sistema de carga de producto por auto-tanques
- Sistema de carga de producto por carro-tanques
- Sistema de descarga de producto por buque-tanque
- Sistema de control de válvulas operadas eléctricamente
- Control de acceso
- Sistema de facturación
- Red de control
- Servidores, software de aplicación e interfaces

Telemedición de tanques

Sistema encargado del monitoreo y control en el nivel de los tanques de almacenamiento, además de realizar los cálculos del volumen natural y el volumen corregido a 20°C de acuerdo a los estándares ISO 91-2. La comunicación entre la instrumentación y los sistemas de control, monitoreo y supervisión será jerárquica.

Las variables de nivel de producto, nivel de agua y temperatura son monitoreadas de forma directa, por lo que el tanque contará con sensores que miden las variables descritas con buena precisión y exactitud. Los instrumentos de los tanques de almacenamiento cuentan con indicación local, así como su lazo de control conectado a la unidad de control local.

La unidad de control local soporta protocolos de comunicación industrial (profibus, MODBUS/TCP, OPC, etc.). Estas unidades reciben las señales directamente de la instrumentación en el tanque, procesan y muestran en pantalla el resultado de la medición de nivel de producto, nivel de agua y temperatura en tiempo real, además de realizar los cálculos necesarios para visualizar los valores del volumen natural y el volumen corregido a 20°C. El software de la HMI de la unidad de control local, cuenta con la flexibilidad de funcionar en modo lectura y escritura, es decir, que además de visualizar la información de la instrumentación y los cálculos realizados, el operador puede ingresar de forma manual datos de control o datos complementarios para realizar los diferentes cálculos. El software de la unidad de control local tiene la opción de implementar códigos de acceso, con la finalidad de que sólo el personal autorizado y capacitado tenga acceso al sistema.

I.3.2.- Sistemas de aislamiento

Los diques de contención para los tanques de almacenamiento cumplirán con 40 CFR 112.8 (c) (2).

El diseño del área de diques para los tanques de almacenamiento capturará el 110% de la capacidad de almacenamiento del tanque o se basará en un volumen combinado del 100% del tanque y un volumen con un periodo de retorno de precipitación pluvial de 25

años y 24 horas. Ambos diseños se considerarán para establecer el diseño más seguro para la contención.

El tratamiento del efluente será a través de un separador de agua de aceite específico para la granja de tanques. Una descarga controlada del efluente tratado a través de un separador de agua/aceite. El sistema se dimensionará para descargar menos de 15 ppm de aceite en el agua.

Se instalarán cámaras de espuma semi-fijas en cada tanque. Las tuberías asociadas con cada tanque se llevarán fuera de la pared del dique. Se proporcionará un sistema de conexión a hidrantes adyacente al punto de conexión semi-fijo.

I.4.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

I.4.1.- Antecedentes de accidentes e incidentes

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS:

CASO 1

En una planta se llenaba todos los días un tanque con materia prima suficiente para el proceso del día siguiente, siendo un operador el encargado de vigilar el nivel de llenado. Cuando el tanque estaba lleno, el operador apagaba la bomba de carga y cerraba la válvula de entrada al recipiente. Inevitablemente, pasados unos años, un día el operador se despistó y hubo un sobrellenado. Se instaló, para evitar un incidente similar, un dispositivo de corte de la alimentación que pararía la bomba automáticamente cuando se alcanzara el nivel máximo de llenado.

A todo el mundo sorprendió que el tanque se sobrellenara otra vez al año siguiente.

Antes de suceder este nuevo incidente, se tomó la decisión de que el operador siguiera vigilando el llenado y en caso de error u omisión por su parte, el dispositivo de corte actuaría adecuadamente, pensando que era muy improbable que se produjera una avería consecutiva de los dos sistemas (operador y dispositivo). Sin embargo, el operador, debido al nuevo dispositivo que se había implantado, no prestaba mucha atención al llenado del tanque. El director tenía conocimiento de este detalle, pero pensaba que con el dispositivo de corte podía utilizar al operario en otras tareas de la planta. El dispositivo de corte tenía una probabilidad de fallo normal para este tipo de sistemas, un fallo cada dos años, por lo que era inevitable que se produjera el derrame si se dejaba solo al sistema para que controlara el llenado. Se cambió un operador que era fiable por un sistema que lo era menos.

Si un derrame cada cinco años, debido a un despiste del operador, se considera que es inaceptable y se recurre a otro sistema redundante para que actúe en caso de fallo del operador, no es realista pensar que el operador vigile igual el nivel de llenado sabiendo que hay un dispositivo de ayuda detrás.

CASO 2

Las explosiones del vapor confinado en tanques de techo fijo son muy numerosas. Se estima que la probabilidad de que se produzca una explosión en un tanque es de una cada 1.000 años según las bases de datos. De acuerdo con el informe realizado en Canadá en 1997 se produjeron entre 25 y 30 explosiones sólo en este país. La razón de tantas explosiones hay que buscarla en las mezclas de vapores explosivos que se producen en la fase vapor-gas del tanque. Es casi imposible asegurar con certeza que sucedió, ya que la fuente de ignición nunca se descubre, particularmente, si el líquido en el tanque es de baja conductividad con lo que puede acumular cargas estáticas. Por este motivo, muchas empresas no permiten que se formen estas mezclas y para ello almacenan hidrocarburos que están por encima de su punto de inflamación en tanques de techo fijo inertizados con nitrógeno. Otras compañías sólo almacenan este tipo de hidrocarburos en tanques de techo flotante.

CASO 3

Un gran tanque explotó 40 minutos después de comenzar la operación de mezclado en la que una clase de nafta se estaba añadiendo a otra. El fuego fue dominado y la nafta se trasvasó a otro tanque. Al día siguiente se reanudó la operación de mezclado y 40 minutos después tuvo lugar otra explosión.

El tanque no estaba inertizado y había una mezcla explosiva de nafta con aire por encima del nivel del líquido en el tanque. La fuente de ignición fue la electricidad estática. La capacidad de bombeo era lo suficientemente alta para que el flujo de nafta a través de la bomba y de las líneas generara una carga estática. Se produjo una chispa entre el líquido

y el techo o las paredes del tanque, iniciando el proceso de ignición de la mezcla vapor aire.

CASO 4

El drenaje de un techo flotante se obstruyó, por lo que se decidió drenar el agua de lluvia del techo con una manguera. Para cebar la manguera y así establecer un sifón se conectó al suministro de agua. Se pretendía abrir la válvula de suministro de agua lo suficiente para llenar la manguera, luego se cerraría y se abriría la válvula de drenaje. Por error se abrió la válvula de agua y se dejó abierta con la válvula de drenaje cerrada. El agua fluyó hacia el techo flotante y lo hundió en 30 minutos.

CASO 5

La mayoría de los incendios en tanques de techo flotante son pequeños incendios en el borde causados por pérdidas de vapor a través de los sellos. La fuente de ignición suele ser a menudo la electricidad atmosférica. Ésta puede ser eliminada colocando cintas de metal cada metro o alrededor del borde, uniendo el techo y las paredes del tanque a tierra.

Muchos fuegos de este tipo son apagados por un trabajador con un extintor, sin embargo en 1979, justo se acababa de apagar un incendio alrededor del contorno cuando un compartimento del pontón explotó matando a un bombero. Se cree que había un agujero en el pontón por el que entró algo de líquido del tanque.

Los trabajadores no deben acercarse a apagar este tipo de fuegos. Si no existe un sistema fijo de protección contra incendios, la espuma se debe suministrar desde un monitor.

Había que cambiar el techo flotante de un tanque, el tanque estaba vacío, se había purgado con nitrógeno y vaporizado durante seis días. Cada una de las cámaras flotantes se habían vaporizado durante cuatro horas y se había quitado el lodo y la cascarilla. La demolición del techo estaba entonces lista para comenzar.

Catorce días después tuvo lugar un pequeño incendio. Un galón de gasolina salió de una de las columnas huecas que soportaba el techo cuando no flotaba y ardió a causa de una chispa. El incendio se apagó con polvo seco.

Se cree que el fondo de la columna hueca estaba obstruido con lodo y al cortar por esa zona se removieron los lodos.

CASO 6

Como resultado de un cambio posterior en el diseño, se incrementó el nivel al que un techo flotante no flotaba, sin indicar este cambio en los planos dados a los operadores. Al no indicarlo, los operadores dejaron el techo sin flotar. La válvula de presión/vacío (del sistema de venteo) estaba abierta, permitiendo que el aire entrara dentro del espacio debajo del techo flotante.

Cuando se volvió a llenar el tanque con crudo caliente a 37 °C, el vapor fue expulsado hacia el espacio por encima del techo flotante y a la atmósfera a través del venteo del techo fijo. Este vapor se incendió en un cuarto de calderas que había a cierta distancia.

El fuego retrocedió al tanque de almacenamiento, ardiendo el vapor a la vez que salía por el venteo, en ese momento se pararon las bombas, dejando de salir vapor por el venteo y comenzando a entrar aire, lo que hizo que se produjera una pequeña explosión dentro del tanque de lecho fijo. Como resultado de la explosión, el techo flotante bajó como si se tratara de un pistón y algo de crudo salió por los sellos a través del techo flotante, llegando hasta el venteo. Este crudo se incendió haciendo que varias uniones de tubería fallaran y que se perdiera petróleo. Un pequeño tanque se incendió, pero afortunadamente estaba dotado con un techo de soldadura ligera. Más de 50 dispositivos contraincendios y 200 bomberos combatieron el incendio, pasando éste a estar bajo control a las pocas horas.

El agua del cubeto se salió fuera porque la válvula de drenaje estaba abierta y porque las paredes del cubeto se dañaron durante las operaciones de extinción. Los bomberos bombearon agua a otro cubeto, pero se salió porque la válvula de drenaje de este cubeto también estaba abierta.

Durante el incendio resultó afectado un cable eléctrico de alta tensión que cayó causando una descarga eléctrica a varias personas, por ello se aislaron a continuación todos los cables eléctricos de la zona. Desgraciadamente, nadie advirtió a los bomberos de esta circunstancia y varias bombas de accionamiento eléctrico que se estaban usando para achicar agua, se pararon incrementándose el nivel de agua todavía más. A pesar de la capa de espuma, el petróleo que flotaba por encima del agua se incendió por el motor de una bomba que estaba en el agua. El fuego se propagó 150 metros, murieron ocho bomberos y dos fueron heridos de gravedad. Un tanque de nafta reventó haciendo que el fuego se propagara todavía más, se tardaron 15 horas en controlar el incendio

CASO 7

Las grietas del techo de un gran tanque (94.000 m³) de petróleo dieron lugar a un gran incendio. El agrietamiento del techo se debió a la fatiga causada en el techo por los fuertes vientos del lugar y antes de que se produjera el incendio, ya estaba programada su reparación. Unos pocos días antes del incendio, se vio fluir poco a poco petróleo a través de una grieta de 11 pulgadas de longitud del techo flotante constituido por una única plancha pero no se hizo nada por retirar el petróleo del tanque, ya que estaba siendo utilizado en esos momentos. Se cree que el petróleo se incendió por las partículas calientes que desprendía una chimenea situada a 108 metros de distancia y que tenía una altura de 76 metros, la misma que el tanque. El incendio provocó que la fuga fuera en aumento y el tanque resultó gravemente dañado. Seis bomberos resultaron heridos cuando la fuga de petróleo alcanzó el cubeto y se incendió. El incendio se prolongó durante 36 horas, 25.000 toneladas de petróleo ardieron y los tanques cercanos en un radio de 60 metros. resultaron dañados. El aislamiento de uno de esos tanques se incendió y el tanque se colapsó, pero no está claro cómo tuvo lugar esto.

La fuga de petróleo al interior del cubeto se debió a un rebose por ebullición súbita (la combustión en la superficie de un líquido genera calor y éste se transmite hacia las capas inferiores del mismo. La presencia de agua en estas capas inferiores producirá ebullición de la misma con formación de grandes burbujas de su vapor. Éste ascenderá a través del

líquido impulsando parte del mismo, de manera que rebosa o se proyecta fuera del tanque). En este caso, el rebose por ebullición súbita se formó por la presencia de agua, en las capas bajas del líquido, procedente de la espuma usada por los bomberos. Se produjo más rápido de lo que es normal cuando el calor alcanzó las bolsas de agua que estaban atrapadas sobre el techo hundido.

La mayoría de los grandes techos flotantes se hacen de una sola plancha de acero, excepto alrededor de sus bordes donde se sitúan los pontones huecos que le permiten flotar. La plancha de acero es probable que se agriete y cualquier fuga debe ser cubierta inmediatamente con espuma y retirada tan pronto como sea posible. Los techos de doble cubierta son más seguros, pero también requieren mayor inversión.

I.4.2.- Metodologías de identificación y jerarquización

I.4.2.1.- Descripción de las metodologías usadas

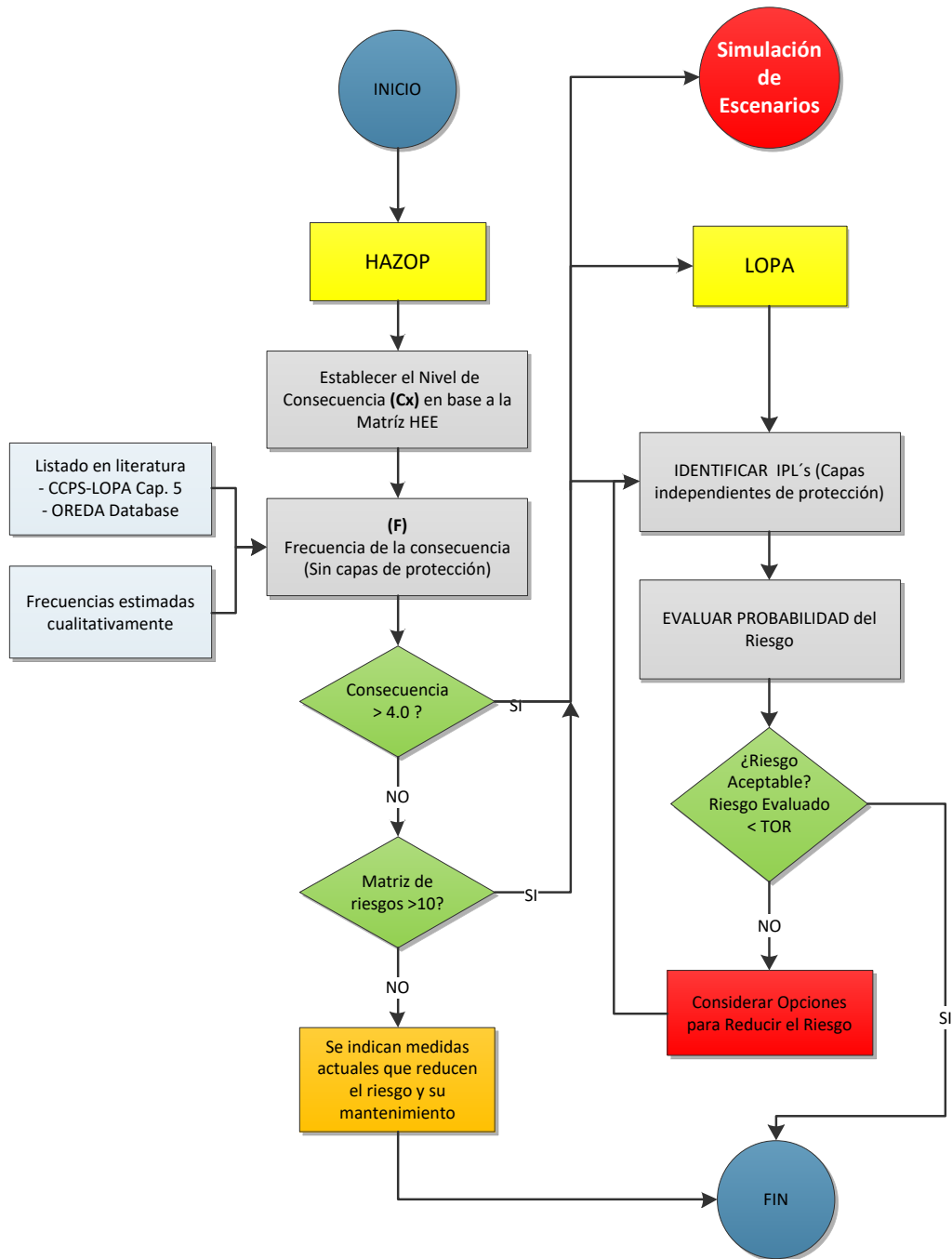
Este método se basa en la normatividad IEC 61511, diseñada para establecer Niveles de Seguridad en los procesos basándose en las frecuencias de fallo, y dar cumplimiento a un **Nivel de Aceptabilidad del Riesgo**, por lo que todo proyecto no debe rebasar dicho nivel y en caso de hacerlo se deberá colocar una capa de protección independiente para alcanzar el nivel deseado.

La metodología HLOPA es una mezcla de uso de **HAZOP** con **LOPA** (Layer of Protection Analysis), mediante el HAZOP se determinan de manera exhaustiva la mayor parte de los modos de fallo y su nivel de consecuencia (C1, C2, C3, C4 o C5) utilizando una matriz de Consecuencias modificada llamada **Matriz HEE®** (*Tabla.1*), la cual a su vez utiliza las variables de Daño Humano, Daño Económico y Daño Ecológico o al Ambiente.

De manera paralela, se utilizará el método “**What if...**” (Que pasa si), con apoyo en la matriz de riesgos propuesta, con el fin de analizar situaciones no determinadas por los diagramas al aplicar el método HAZOP, lo que permite complementar el análisis.

Para determinar las probabildiades de los eventos mas representativos producto del desarrollo de las metodologías cualitativas y semicualitativas, se elaborarán árboles de fallos con la **metodología FTA**.

La matriz HEE® se resuelve de manera objetiva de acuerdo a la apreciación del evaluador.



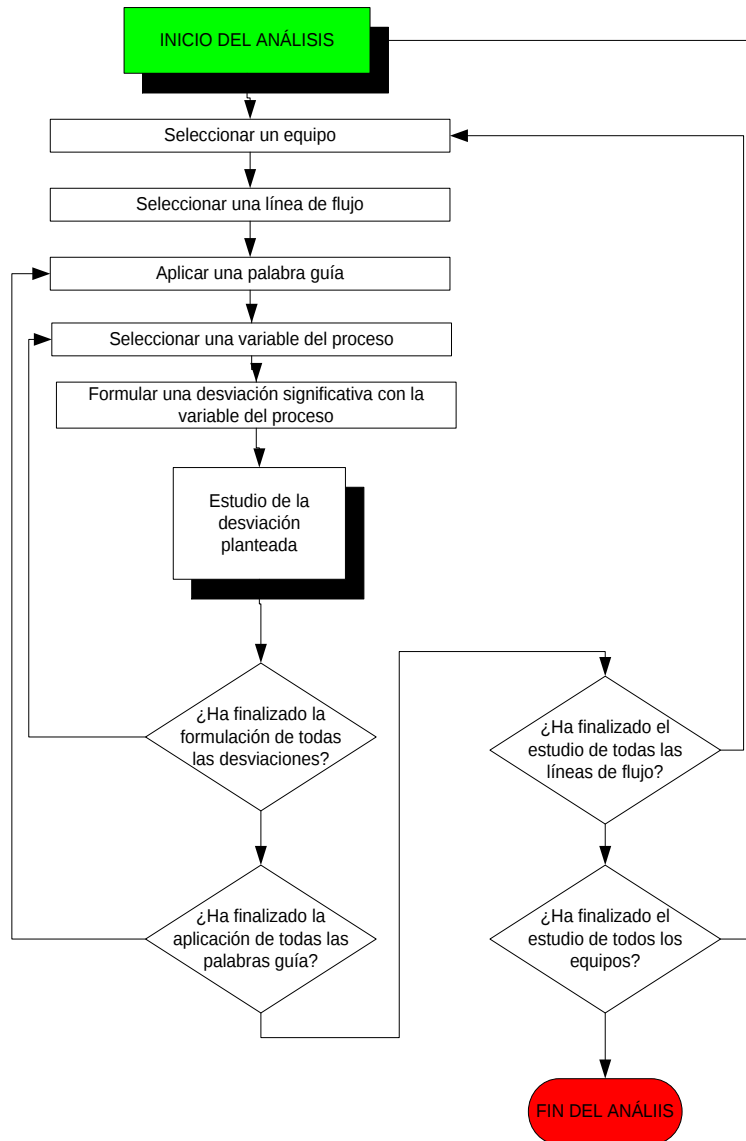
Secuencia de análisis HLOPA

METODOLOGÍA HAZOP:

El método de análisis HAZOP presupone dos hipótesis:

1. La instalación está bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de normas y códigos pertinentes.
2. Los materiales de construcción han sido los adecuados y la construcción y ensamblaje de los elementos se ha hecho correctamente.

La secuencia específica para el análisis HAZOP es la siguiente:



Palabras guía

No/ninguna	Negación del intento de diseño
Más	Incremento cuantitativo
Menos	Decremento cuantitativo
Además de	Incremento cualitativo
Parte de	Decremento cualitativo
Reversa	Opuesto lógico del intento
Otro que	Substitución completa

Guías para procedimientos

No	No realiza el paso u operación. Un paso u operación importante en el proceso se omite
Más	Se hace más que lo especificado o requerido en un sentido cuantitativo (ej. se abre una válvula completamente cuando se requiere solo abrir parcialmente)
Menos	Se hace menos de lo especificado o requerido en un sentido cuantitativo (ej. purgar un depósito por 5 minutos en lugar de 10 minutos)
Además de	Se hace más de lo especificado en un sentido cualitativo. (ej. se abren las válvulas para varios tanques cuando solo se requiere para una)
Parte de	Se realiza un parte de un paso en un sentido cualitativo (Ej. se cierra solo una válvula cuando el procedimiento dice que se cierran todo el grupo y se abra la válvula de sangrado)
Reversa	Se hace lo opuesto a lo especificado. (ej. se abre una válvula cuando el procedimiento dice que se debe de cerrar)
Otro que	Se hace algo diferente a lo requerido (Ej. se abra la válvula equivocada)

Variables de proceso a utilizar:

T	Temperatura
P	Presión
N	Nivel
F	Caudal o flujo
C	Corrosión
O	Otras específicas dependiendo del proceso y sus condiciones

What If... (Que Pasa Si...)

Esta técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de protección de procesos y es un método de análisis de riesgos general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático y puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la empresa.

Con este método se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó.

Se buscan fallas tales como las siguientes:

¿Qué pasaría si hay una...

- pérdida de servicios (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso)?
- pérdida del sistema de enfriamiento?
- pérdida de energía eléctrica?
- pérdida de electricidad de emergencia?
- pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
- descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura? (capacidad suficiente? calibración? donde descargará?).
- reacción de descomposición o polimerización incontrolada?
- pérdida del sistema de agua contra incendio?
- explosión o un incendio interno?
- falla del operador al efectuar alguna operación crítica?

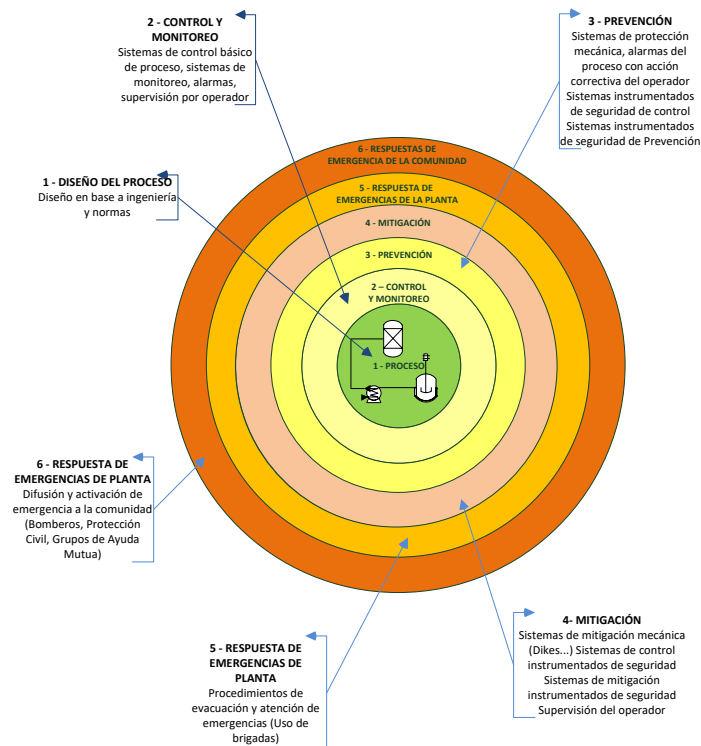
Contestando a estas u otras preguntas clave se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc., los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis.

LOPA (LAYER OF PROTECTION ANALYSIS)

La metodología (LOPA) para “evaluación de riesgos” es un método que provee una evaluación consistente y sistemática para determinar potenciales riesgos asociados en escenarios inaceptables en los procesos evaluados, adicionando protección para llevar al proceso a una frecuencia de ocurrencia aceptable (TOR).

Ésta metodología se basa en la información generada del Análisis Preliminar de Riesgos (PHA) o Árboles de Eventos y HAZOP y es usada en proyectos nuevos o existentes y/o modificaciones mayores.

Este método se basa en la normatividad IEC 61511, diseñada para establecer Niveles de Seguridad (o capas de protección) en los procesos.



Análisis de Capas de protección (LOPA)

La primera y más interna de las capas de protección es la naturaleza inherente del proceso; la última y más externa de las capas es la respuesta que la comunidad esté en condiciones de ofrecer ante una emergencia.

La prevención y la mitigación de los sucesos peligrosos dependen de la disponibilidad y del funcionamiento correcto de las diferentes capas de protección de seguridad (DRC 2003c). En caso de fallo de una de las capas, todavía se dispone de la del nivel siguiente para llevar el proceso hasta un estado seguro. A medida que crece el número de capas de protección y su fiabilidad, también lo hace la seguridad del proceso.

El análisis de las capas de protección se centra en la caracterización del funcionamiento de los diferentes sistemas de seguridad y en su orden de actuación durante las situaciones inseguras. Contribuye, por tanto, a entender la secuencia de sucesos que tienen lugar entre la causa y un determinado resultado peligroso.

La técnica se lleva a cabo a través de las siguientes etapas:

1. Identificación de todos los sucesos peligrosos, mediante un análisis de los peligros del proceso con alguna de las técnicas convencionales.
2. Para cada uno de los sucesos peligrosos, y en base al orden de magnitud de las pérdidas que provocaría, selección de la máxima probabilidad tolerable para ese suceso. **Se utilizará la matriz HEE para la categorización de consecuencias y la Matriz TOR para determinar los Niveles de Tolerancia del Riesgo.**

Tabla 1. Matriz HEE® - CATEGORIZACIÓN DE CONSECUENCIAS					
DAÑO HUMANO	DAÑO ECONÓMICO	DAÑO ECOLOGICO - AMBIENTAL			
		Nulo	Bajo	Medio	Alto
Daño muy bajo o nulo	Bajo	C1	C1	C2	C4
	Medio	C1	C2	C3	C4
	Alto	C2	C3	C4	C5
	Muy Alto	C4	C4	C4	C5
Heridas menores	Bajo	C2	C2	C3	C4
	Medio	C2	C2	C3	C4
	Alto	C3	C3	C4	C5
	Muy Alto	C4	C4	C5	C5
Heridas graves ó Irreversibles	Bajo	C3	C4	C4	C4
	Medio	C4	C4	C4	C5
	Alto	C4	C4	C5	C5
	Muy Alto	C5	C5	C5	C5
Muertes	Bajo	C5	C5	C5	C5
	Medio	C5	C5	C5	C5
	Alto	C5	C5	C5	C5
	Muy Alto	C5	C5	C5	C5

Probabilidad para HAZOP / WHAT IF...

5	Altamente probable	Se espera que ocurra más de una vez en un año	Una vez por año
4	Probable	Se espera que ocurra varias veces durante la vida del proyecto	Una vez cada 10 años
3	Posible	Se espera que ocurra no más de una vez durante la vida del proyecto	Una vez cada 50 a 100 años
2	Improbable	No se espera que ocurra durante la vida del proyecto	Una vez cada 100 a 1000 años
1	Muy Improbable	No se espera que ocurra durante la vida del proyecto	Una vez cada 1000 a 1000000 años

MATRIZ DE RIESGO PARA HAZOP / WHAT IF...

			CONSECUENCIAS de Matriz HEE®				
			Muy baja (C1)	Baja (C2)	Media (C3)	Alta (C4)	Muy Alta (C5)
PROBABILIDAD	5	Altamente probable	5	10	15	20	25
	4	Probable	4	8	12	16	20
	3	Posible	3	6	9	12	15
	2	Improbable	2	4	6	8	10
	1	Muy Improbable	1	2	3	4	5

Nivel de Tolerancia al Riesgo (TOR)

Muchas autoridades regulatorias en países como Australia, Inglaterra, Holanda, Canadá, Brasil, Estados Unidos, Alemania, incluso Ciudades específicas en estos países, usan criterios de Tolerancia de Riesgo para planear la urbanización y usos de suelo y requieren que los riesgos de proyectos estén dentro de los límites aceptables y Tan Bajo como sea Razonablemente Práctico (As Low As Reasonably Practicable - **ALARP**). En México aún no se han establecido de manera normativa los límites aceptables de riesgo para proyectos en operación o nuevos desarrollos, sin embargo, los criterios internacionales son suficientes para establecerlos en proyectos dentro del territorio Nacional.

La siguiente Matriz establece los Niveles de Tolerancia (TOR) que debe alcanzar un proyecto o proceso para considerarlo dentro de los límites aceptables, la columna de “Consecuencia” es producto de la matriz HEE y las Personas Afectadas se establecen en base a el número de personas alrededor o dentro de las instalaciones, cada letra en la intersección de la filas y columnas representan el riesgo tolerable que deberá ser alcanzado con las medidas de seguridad, en caso de que el TOR sea menor a la frecuencia del accidente se deben sugerir nuevas capas de protección hasta alcanzar el TOR o sobrepasarlo:

Matriz para determinar los niveles de Tolerancia del Riesgo (TOR)

	PERSONAS AFECTADAS				
CONSECUENCIA (C)	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
1	A	A	A	B	B
2	A	A	B	C	C
3	B	C	C	D	D
4	C	D	E	E	E
5	D	E	E	E	E
Donde:	TOR				
A	1X10 ⁻²				
B	1X10 ⁻³				
C	1X10 ⁻⁴				
D	1X10 ⁻⁵				
E	>1X10 ⁻⁶				

3. Identificación y listado de todos los sucesos iniciadores que pueden conducir al impacto no deseado. La técnica se centra en cada uno de los escenarios posibles, considerando como tales a las combinaciones suceso iniciador/ consecuencias.

4. Determinación provisional de todas las capas de protección disponibles para prevenir que un suceso iniciador dado se propague hasta convertirse en el impacto no deseado (algunas capas de protección pueden ser diferentes para cada suceso iniciador).

5. Caracterización de cada una de las capas, desde los siguientes puntos de vista:

– ¿De actuar correctamente, sería efectiva para evitar que el escenario alcance las consecuencias temidas?

– ¿Es independiente del suceso iniciador y del estado de éxito o fallo de las capas precedentes?

Sólo si ambas condiciones se cumplen, puede considerarse que ese sistema es una capa de protección independiente.

6. Cuantificación de la frecuencia de los sucesos iniciadores, en base a datos históricos o a criterios de ingeniería.

7. Evaluación de la eficacia de cada capa de protección, en términos de probabilidad de fallo ante demanda, en base al análisis histórico o a criterios de ingeniería.

8. Cálculo de la frecuencia del suceso peligroso.

9. Comparación de la frecuencia estimada con el objetivo de probabilidad establecido en el punto 2, para identificar la naturaleza de las capas de protección adicionales que serían necesarias para cumplir el objetivo.

ARBOL DE FALLOS (FTA- FAULT TREE ANALYSIS)

La metodología del árbol de fallos también llamada FTA (Fault Tree Analysis) es una técnica deductiva que se aplica a un sistema técnico o proceso para la identificación de los sucesos que pueden conducir a un incidente no deseado, en general un accidente o fallo global de un sistema. Esta técnica permite a sí mismo la cuantificación de la probabilidad o frecuencia con que puede producirse un suceso.

La ventaja principal de esta técnica es su representación gráfica, que facilita la comprensión de la causalidad; de hecho, un árbol de fallos como tal es un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema. La relación lógica entre los sucesos es representada por los operadores lógicos “Y”, “O”, INH (operador condicional) aplicados al álgebra booleana.

Accidente o fallo del sistema (denominado también suceso no deseado o *top event*), son situaciones excepcionales objeto de estudio mediante la elaboración y análisis de árboles de fallos. Estos accidentes se analizan mediante las demás técnicas, para este caso en particular, serán identificados los *top event* por medio del HAZOP y serán analizados a detalle con un árbol de fallos.

Los fallos que se dan en sistemas técnicos pueden básicamente ser de dos tipos:

- Fallos primarios: aquellos atribuibles a defectos de los componentes y no a la interacción con el exterior (por ejemplo, una soldadura mal hecha, etc.)
- Fallos secundarios: aquellos atribuibles a la interacción del exterior con los componentes (por ejemplo, la rotura de un motor eléctrico por giro inverso al conectar las fases al revés, etc.). Estos siempre son el resultado de condiciones anómalas de funcionamiento y tienen una causa bien definida.

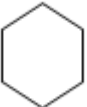
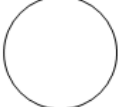
Para la elaboración de un árbol de fallos, es necesario un estudio previo a fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados y evaluados (*top event*) que son **identificados mediante análisis histórico y/o un Árbol de Evento como este caso**. Seguidamente, y de manera secuencial, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. La identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos se hace partiendo de la eventualidad no deseada y deduciendo la combinación lógica de incidentes que la pueden desencadenar de manera recurrente. El primer paso es la determinación de los sucesos mas inmediatos necesarios y suficientes para que se produzca el fallo del sistema. Con esta forma de operar, para cada nuevo elemento planteado, se generan árboles de fallos. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios.

- El análisis cuantitativo permite calcular básicamente la frecuencia de acontecimiento de un accidente y la indisponibilidad del sistema. Para poder efectuar el análisis cuantitativo se precisa conocer el tiempo de funcionamiento de la instalación y las tasas de fallos. Las tasas de fallos para este caso se utilizó el siguiente criterio:

-

Descripción	Criterio	Criterio Cuantitativo de Frecuencia
Frecuente	Ocurre frecuentemente	0.1
Probable	Puede ocurrir varias veces durante la vida del Proyecto	0.01
Ocasional	Puede ocurrir alguna vez durante la vida del Proyecto	0.001
Remoto	Difícil que ocurra pero es probable	0.0001
Improbable	No se espera que ocurra	0.00001

Nota: Estos criterios sirven para establecer las probabilidades de fallos y la jerarquización de riesgos que serán modelados entre los diferentes eventos analizados y no necesariamente indican un periodo de tiempo en que pudieran presentarse.

	Puerta lógica "Y"	El suceso de salida sucede solamente si se cumplen todos los sucesos de entrada.
	Puerta lógica "O"	El suceso de salida ocurre si se cumple cualquiera de los sucesos de entrada.
	Puerta lógica "INH"	El suceso de salida ocurre solamente si se dan los sucesos de entrada y se cumple la condición.
	Fallo primario	Fallo de un componente que no tiene una causa primera identificable. Es el máximo nivel de detalle del árbol.
	Fallo secundario	Fallo de un componente que tiene una causa primera identificable.
	Suceso no desarrollado	Fallo de un componente que tiene una causa primera pero no es desarrollado por falta de información.
	Suceso externo	Condición o suceso dado por las condiciones exteriores al límite de la instalación.
	Transferencia	Las puertas de transferencia indican la división del árbol en algunas partes (entrada y salida)

Simbología utilizada en los árboles de fallos

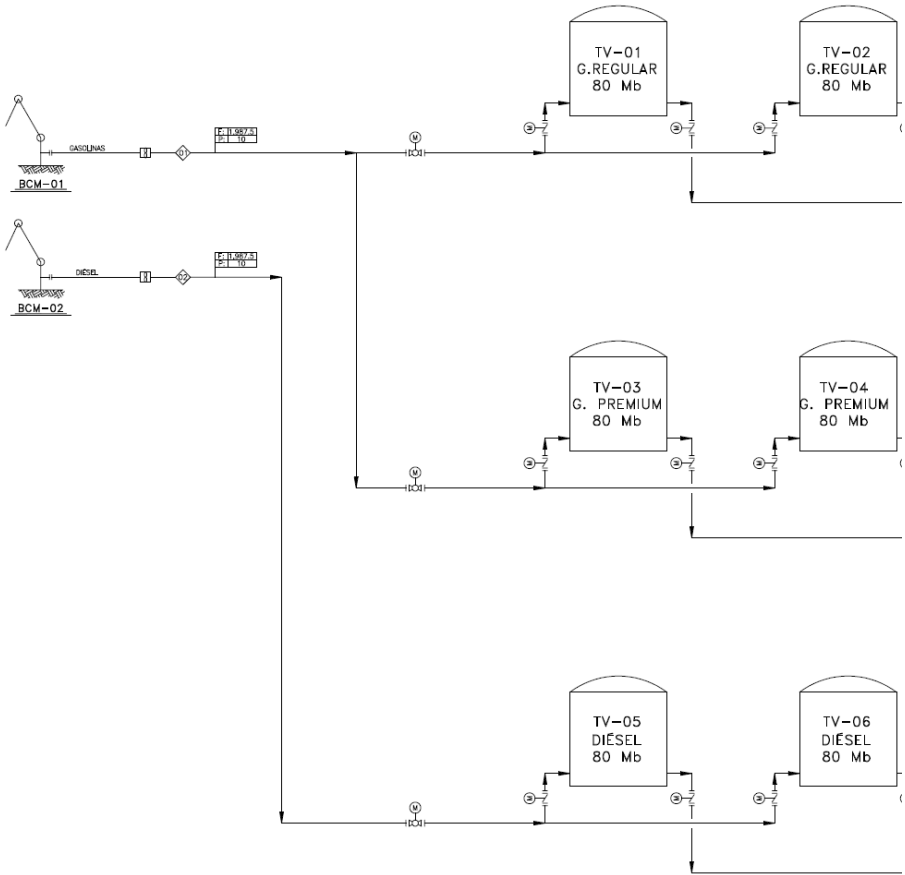
I.4.2.2.- Aplicación de las Metodologías

HAZOP / WHAT IF...

Tabla 1-Matriz para HAZOP

	Temperatura	Presión	Nivel	Flujo	Corrosión
No/ninguna				X	
Más	X	X	X		
Menos				X	
Reversa				X	
Otro que					X

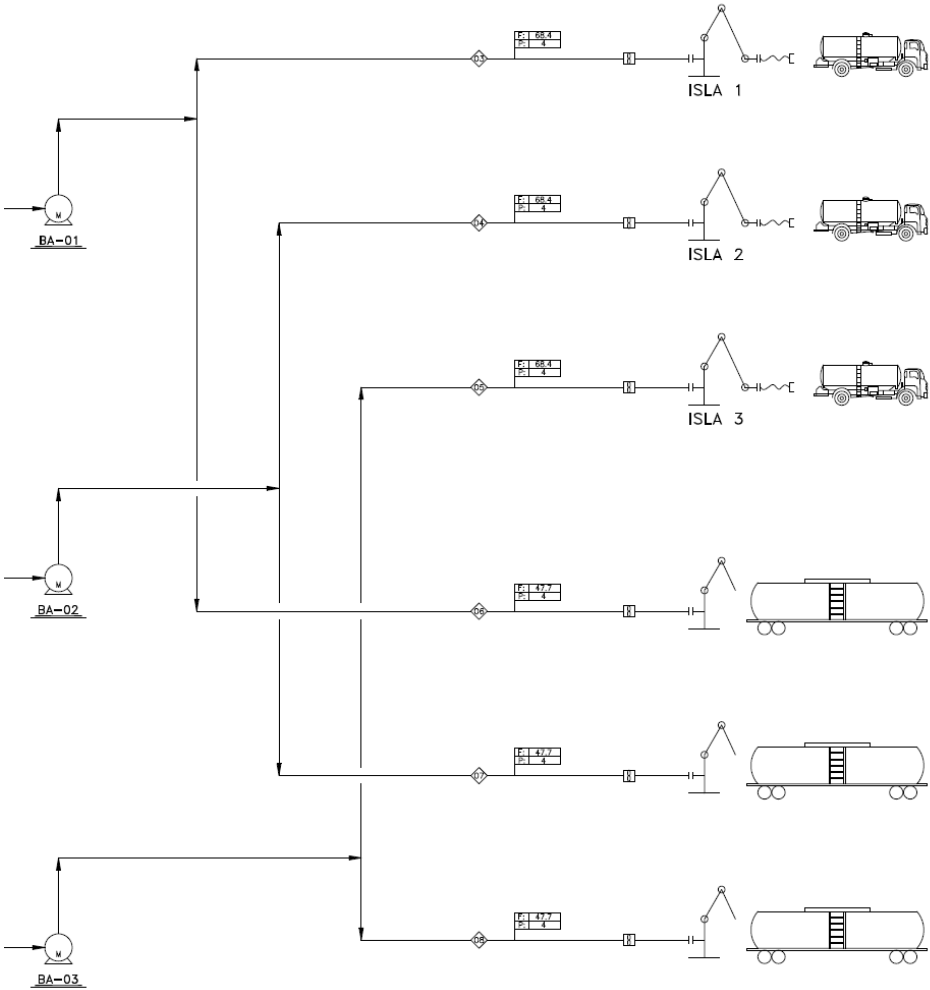
NODULO A-100-I



Causas	Consecuencias	Precauciones	P	C	R	Recomendación
MAS – TEMPERATURA 1						
Alta temperatura en el ambiente	Aumento de presión interna en tubería por presión de vapor de gasolina principalmente	Diseño para alta temperatura, Sistemas de techo flotante y válvulas de seguridad con arrestadores de flama y venteos	3	1	3	Está bien como se encuentra diseñado
MAS – TEMPERATURA 2						
Fuego por suceso externo	Extensión del incendio y posibilidades de un evento tipo Fire Ball	Sistemas vs incendio con espuma y brigadas capacitadas.	2	4	8	Es necesario implementar el mantenimiento preventivo a sistemas vs. Incendio y realizar pruebas periódicas de su buen funcionamiento.
MAS – PRESIÓN						
Igual que mas temperatura	Aumento de presión interna en tubería por presión de vapor del contenido	Diseño para alta temperatura, válvulas de seguridad	4	1	4	Está bien como se encuentra diseñado
MAS – NIVEL – En carga a tanques						
Fallo en sistemas de medición de nivel y flujo	Derrame a dique de contención	Mantenimiento y verificación periódica de medidores de niveles	3	2	6	Es recomendable colocar un sistema de medición de niveles redundante.
NO – FLUJO						
Fallo en bombeo o válvula cerrada	Ninguna	Procedimiento operativo	2	1	2	Está bien como se encuentra diseñado
MENOS – FLUJO						
Igual que No-Flujo	Ninguna	Procedimiento operativo	2	1	2	Está bien como se encuentra diseñado
FLUJO – INVERSO						
Retorno por gravedad	Retorno de hidrocarburo	Válvula check	1	1	1	Está bien como se encuentra diseñado
CORROSIÓN en tubería						

Falta de mantenimiento preventivo y correctivo (Error humano)	Debilitamiento de la estructura de la tubería, posible fuga	Programa de mantenimiento preventivo	4	3	12	Es necesario implementar un programa de inspección continua y de medición de espesores con pruebas no destructivas en tanques y tuberías, además de un sistema que garantice la integridad mecánica y estructural de los elementos susceptibles a corrosión.
---	---	--------------------------------------	---	---	----	--

A-100-II



¿Que pasa si...?	Consecuencias	Controles	P	C	R	Recomendaciones
El operador no coloca la conexión para carga al Carro/Auto tanque de manera correcta y la bomba se encuentra operando (BA-01, 02, 03)	Derrame hacia dique. En caso de fuente de ignición se formaría una alberca de fuego "Pool Fire"	Procedimientos operativos.	3	3	9	Colocar paros de emergencia en área de conexiones y desconexiones.
Existe un derrame en área de carga a Carros tanque y una fuente de ignición por electricidad estática	Conato de incendio en el área con posibilidades de extensión del incendio.	Sistemas de tierra para evitar cargas estáticas	2	2	4	Verificar periódicamente las conexiones a tierra física en base a la Norma NOM-022-STPS-2015
Falla la bomba para carga a Carros/Autos tanque	Ninguna	Mantenimiento preventivo/Correctivo	3	1	3	Está bien como se encuentra diseñado
Se desplaza un Carro/Auto tanque al momento de estar cargando hidrocarburos	Desprendimiento de manguera y fuga hacia sistema de contención	Verificación de frenado de Carros y/o autos tanque	3	2	6	Capacitación a personal en la supervisión de sistemas antes de la carga a Carros tanque.
Falla el medidor de nivel	Sobrellenado de un Carro tanque con posibilidad de derrame	Dique de contención, mantenimiento a medidores	3	2	6	Establecer programa de mantenimiento a medidores de nivel y colocación de alarmas visuales y sonoras en el área, además de paros de emergencia al alcance del operador al momento de la descarga de combustibles.
Se tiene una ruptura por acción mecánica en la tubería de carga a tanques de almacenamiento	Fuga continua de combustible en terrenos por donde pasa la tubería	Señalización de tubería enterrada	3	4	12	Señalización visible en todo el trayecto de la tubería, además de colocar banda indicadora para el caso de una excavación se observe la alerta de tubería.

LOPA (LAYER OF PROTECTION ANALYSIS)

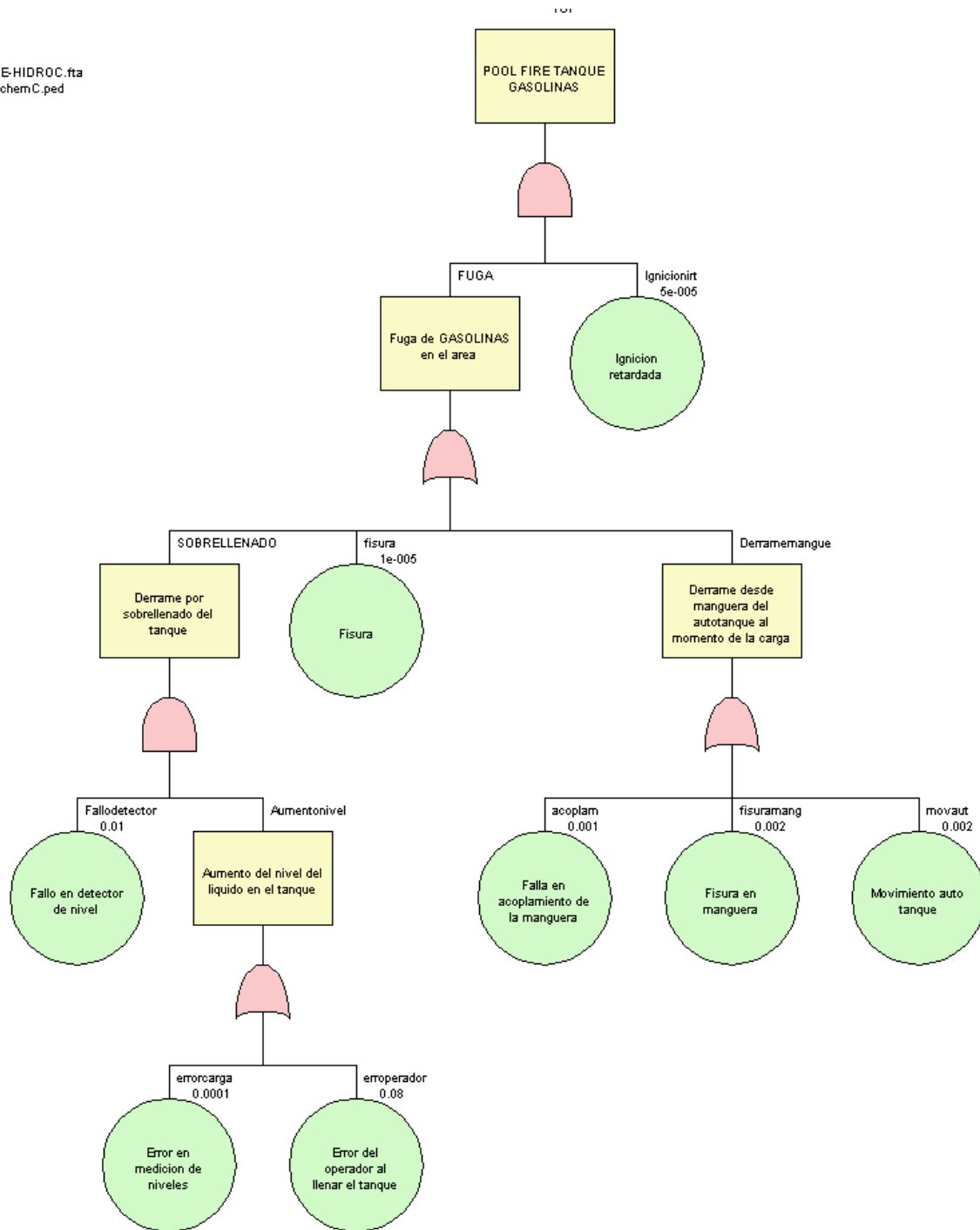


Páginas siguientes

ÁRBOL DE FALLOS

Top Event 1 – Pool Fire Tanque de Gasolinas

IE-HIDROC.fta
ichemC.ped



Minimal Cut Sets

=====

Tree : POOLFIRE-HIDROC.fta

Time : Thu Nov 02 18:14:49 2017

Method : Algebraic

No. of primary events = 8

Minimal cut set order = 1 to 8

Order 1:

Order 2:

- 1) Ignicionirt acoplamiento*
- 2) Ignicionirt fisura*
- 3) Ignicionirt fisuramang*
- 4) Ignicionirt movaut*

Order 3:

- 1) Fallodetector Ignicionirt erroperador*
- 2) Fallodetector Ignicionirt errorcarga*

Qualitative Importance Analysis:

<i>Order</i>	<i>Number</i>
-----	-----
<i>1</i>	<i>0</i>
<i>2</i>	<i>4</i>
<i>3</i>	<i>2</i>
<i>4</i>	<i>0</i>
<i>5</i>	<i>0</i>
<i>6</i>	<i>0</i>
<i>7</i>	<i>0</i>
<i>8</i>	<i>0</i>
<i>ALL</i>	<i>6</i>

Probabilities Analysis

=====

Tree : POOLFIRE-HIDROC.fta

Time : Thu Nov 02 18:15:20 2017

Number of primary events = 8
Number of minimal cut sets = 6
Order of minimal cut sets = 8

Unit time span = 1.000000

Minimal cut set probabilities :

1	Ignicionirt acoplam	5.000000E-006
2	Ignicionirt fisura	5.000000E-008
3	Ignicionirt fisuramang	1.000000E-005
4	Ignicionirt movaut	1.000000E-005
5	Fallodetector Ignicionirt erroperador	4.000000E-006
6	Fallodetector Ignicionirt errorcarga	5.000000E-009

Probability of top level event (minimal cut sets up to order 8 used):

1 term	+2.905500E-005	= 2.905500E-005 (upper bound)
2 terms	-6.071505E-008	= 2.899429E-005 (lower bound)
3 terms	+5.464425E-011	= 2.899434E-005 (upper bound)
4 terms	-1.976040E-014	= 2.899434E-005 (lower bound)
5 terms	+1.792200E-018	= 2.899434E-005 (upper bound)
6 terms	-1.600000E-023	= 2.899434E-005 (lower bound)

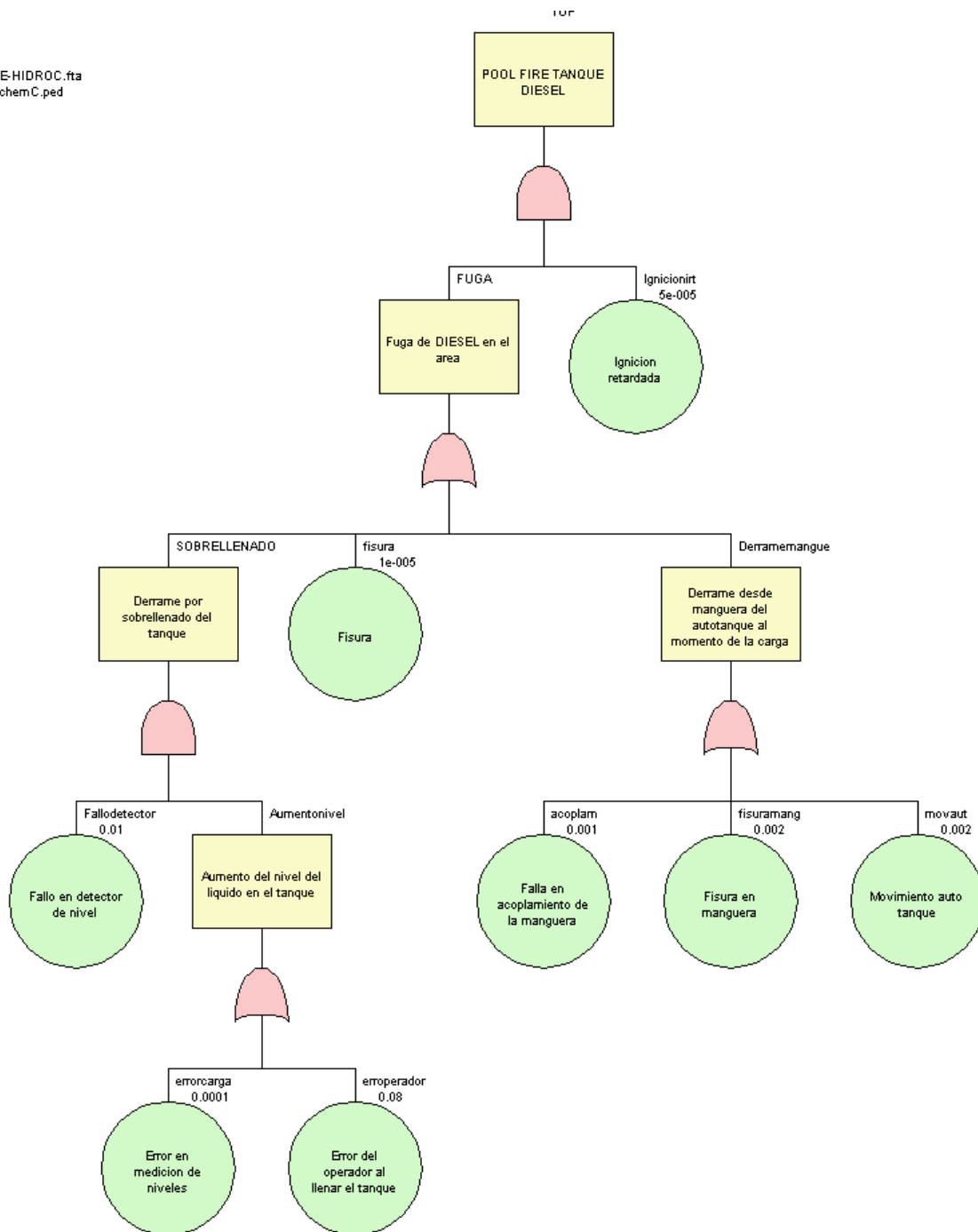
Exact value : 2.899434E-005

Primary Event Analysis:

Event	Failure contrib.	Importance
Fallodetector	4.005000E-006	13.81%
Ignicionirt	2.905500E-005	100.21%
acoplam	5.000000E-006	17.24%
erroperador	4.000000E-006	13.80%
errorcarga	5.000000E-009	0.02%
fisura	5.000000E-008	0.17%
fisuramang	1.000000E-005	34.49%
movaut	1.000000E-005	34.49%

Top Event 2 – Pool Fire Tanque de Diesel

IRE-HIDROC.fta
sxiqchem.C.ped



Minimal Cut Sets

=====

Tree : POOLFIRE-HIDROC.fta

Time : Thu Nov 02 18:29:24 2017

Method : Algebraic

No. of primary events = 8

Minimal cut set order = 1 to 8

Order 1:

Order 2:

- 1) Ignicionirt acoplam*
- 2) Ignicionirt fisura*
- 3) Ignicionirt fisuramang*
- 4) Ignicionirt movaut*

Order 3:

- 1) Fallodetector Ignicionirt erroperador*
- 2) Fallodetector Ignicionirt errorcarga*

Qualitative Importance Analysis:

<i>Order</i>	<i>Number</i>
--------------	---------------

<i>----</i>	<i>-----</i>
-------------	--------------

<i>1</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>2</i>	<i>4</i>
----------	----------

<i>3</i>	<i>2</i>
----------	----------

<i>4</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>5</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>6</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>7</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>8</i>	<i>0</i>
----------	----------

<i>ALL</i>	<i>6</i>
------------	----------

Probabilities Analysis

=====

Tree : POOLFIRE-HIDROC.fta

Time : Thu Nov 02 18:29:42 2017

Number of primary events = 8

Number of minimal cut sets = 6

Order of minimal cut sets = 8

Unit time span = 1.000000

Minimal cut set probabilities :

1	Ignicionirt acoplam	5.000000E-008
2	Ignicionirt fisura	5.000000E-010
3	Ignicionirt fisuramang	1.000000E-007
4	Ignicionirt movaut	1.000000E-007
5	Fallodetector Ignicionirt erroperador	4.000000E-008
6	Fallodetector Ignicionirt errorcarga	5.000000E-011

Probability of top level event (minimal cut sets up to order 8 used):

1 term	+2.905500E-007	= 2.905500E-007 (upper bound)
2 terms	-6.071506E-010	= 2.899428E-007 (lower bound)
3 terms	+5.464426E-013	= 2.899434E-007 (upper bound)
4 terms	-1.976041E-016	= 2.899434E-007 (lower bound)
5 terms	+1.792200E-020	= 2.899434E-007 (upper bound)
6 terms	-1.600000E-025	= 2.899434E-007 (lower bound)

Exact value : 2.899434E-007

Primary Event Analysis:

Event	Failure contrib.	Importance
Fallodetector	4.005000E-008	13.81%
Ignicionirt	2.905500E-007	100.21%
acoplam	5.000000E-008	17.24%
erroperador	4.000000E-008	13.80%
errorcarga	5.000000E-011	0.02%
fisura	5.000000E-010	0.17%
fisuramang	1.000000E-007	34.49%
movaut	1.000000E-007	34.49%

Top Event 3 – Fire Ball Tanque de Gasolinas



Árbol de Fallos, siguiente página

Minimal Cut Sets

=====

Tree : FIREBALL-TQ GASOLINA.fta

Time : Thu Nov 02 18:38:11 2017

Method : Algebraic

No. of primary events = 16

Minimal cut set order = 1 to 16

Order 1:

Order 2:

Order 3:

- 1) *BRIGADA Chispamotor Distrac*
- 2) *BRIGADA Chispamotor Falloalarma*
- 3) *BRIGADA Chispamotor Fallobomba*
- 4) *BRIGADA Chispamotor Falloproced*
- 5) *BRIGADA Chispamotor Fallotanique*
- 6) *BRIGADA Chispamotor Fallotuberia*
- 7) *BRIGADA Chispamotor Fallovalvula*
- 8) *BRIGADA Chispamotor Malacopla*
- 9) *BRIGADA Distrac EV1*
- 10) *BRIGADA EV1 Falloalarma*
- 11) *BRIGADA EV1 Fallobomba*
- 12) *BRIGADA EV1 Falloproced*
- 13) *BRIGADA EV1 Fallotanique*
- 14) *BRIGADA EV1 Fallotuberia*
- 15) *BRIGADA EV1 Fallovalvula*
- 16) *BRIGADA EV1 Malacopla*
- 17) *Chispamotor Distrac Fallobombainc*
- 18) *Chispamotor Distrac SEMER*
- 19) *Chispamotor Distrac falloespu*
- 20) *Chispamotor Falloalarma Fallobombainc*
- 21) *Chispamotor Falloalarma SEMER*
- 22) *Chispamotor Falloalarma falloespu*
- 23) *Chispamotor Fallobomba Fallobombainc*
- 24) *Chispamotor Fallobomba SEMER*
- 25) *Chispamotor Fallobomba falloespu*
- 26) *Chispamotor Fallobombainc Falloproced*
- 27) *Chispamotor Fallobombainc Fallotanique*
- 28) *Chispamotor Fallobombainc Fallotuberia*
- 29) *Chispamotor Fallobombainc Fallovalvula*
- 30) *Chispamotor Fallobombainc Malacopla*
- 31) *Chispamotor Falloproced SEMER*

- 32) *Chispamotor Falloproced falloespu*
- 33) *Chispamotor Fallotanique SEMER*
- 34) *Chispamotor Fallotanique falloespu*
- 35) *Chispamotor Fallotuberia SEMER*
- 36) *Chispamotor Fallotuberia falloespu*
- 37) *Chispamotor Fallovalvula SEMER*
- 38) *Chispamotor Fallovalvula falloespu*
- 39) *Chispamotor Malacopla SEMER*
- 40) *Chispamotor Malacopla falloespu*
- 41) *Distrac EV1 Fallobombainc*
- 42) *Distrac EV1 SEMER*
- 43) *Distrac EV1 falloespu*
- 44) *EV1 Falloalarma Fallobombainc*
- 45) *EV1 Falloalarma SEMER*
- 46) *EV1 Falloalarma falloespu*
- 47) *EV1 Fallobomba Fallobombainc*
- 48) *EV1 Fallobomba SEMER*
- 49) *EV1 Fallobomba falloespu*
- 50) *EV1 Fallobombainc Falloproced*
- 51) *EV1 Fallobombainc Fallotanique*
- 52) *EV1 Fallobombainc Fallotuberia*
- 53) *EV1 Fallobombainc Fallovalvula*
- 54) *EV1 Fallobombainc Malacopla*
- 55) *EV1 Falloproced SEMER*
- 56) *EV1 Falloproced falloespu*
- 57) *EV1 Fallotanique SEMER*
- 58) *EV1 Fallotanique falloespu*
- 59) *EV1 Fallotuberia SEMER*
- 60) *EV1 Fallotuberia falloespu*
- 61) *EV1 Fallovalvula SEMER*
- 62) *EV1 Fallovalvula falloespu*
- 63) *EV1 Malacopla SEMER*
- 64) *EV1 Malacopla falloespu*

Order 4:

- 1) *Acumes BRIGADA Distrac Tierrafisica*
- 2) *Acumes BRIGADA Falloalarma Tierrafisica*
- 3) *Acumes BRIGADA Fallobomba Tierrafisica*
- 4) *Acumes BRIGADA Falloproced Tierrafisica*
- 5) *Acumes BRIGADA Fallotanique Tierrafisica*
- 6) *Acumes BRIGADA Fallotuberia Tierrafisica*
- 7) *Acumes BRIGADA Fallovalvula Tierrafisica*
- 8) *Acumes BRIGADA Malacopla Tierrafisica*
- 9) *Acumes Distrac Fallobombainc Tierrafisica*
- 10) *Acumes Distrac SEMER Tierrafisica*
- 11) *Acumes Distrac Tierrafisica falloespu*
- 12) *Acumes Falloalarma Fallobombainc Tierrafisica*

- 13) *Acumes Falloalarma SEMER Tierrafisica*
- 14) *Acumes Falloalarma Tierrafisica falloespu*
- 15) *Acumes Fallobomba Fallobombainc Tierrafisica*
- 16) *Acumes Fallobomba SEMER Tierrafisica*
- 17) *Acumes Fallobomba Tierrafisica falloespu*
- 18) *Acumes Fallobombainc Falloproced Tierrafisica*
- 19) *Acumes Fallobombainc Fallotanique Tierrafisica*
- 20) *Acumes Fallobombainc Fallotuberia Tierrafisica*
- 21) *Acumes Fallobombainc Fallovalvula Tierrafisica*
- 22) *Acumes Fallobombainc Malacopla Tierrafisica*
- 23) *Acumes Falloproced SEMER Tierrafisica*
- 24) *Acumes Falloproced Tierrafisica falloespu*
- 25) *Acumes Fallotanique SEMER Tierrafisica*
- 26) *Acumes Fallotanique Tierrafisica falloespu*
- 27) *Acumes Fallotuberia SEMER Tierrafisica*
- 28) *Acumes Fallotuberia Tierrafisica falloespu*
- 29) *Acumes Fallovalvula SEMER Tierrafisica*
- 30) *Acumes Fallovalvula Tierrafisica falloespu*
- 31) *Acumes Malacopla SEMER Tierrafisica*
- 32) *Acumes Malacopla Tierrafisica falloespu*

Order 5:

Order 6:

Order 7:

Order 8:

Order 9:

Order 10:

Order 11:

Order 12:

Order 13:

Order 14:

Order 15:

Order 16:

Qualitative Importance Analysis:

Order	Number
1	0
2	0
3	64
4	32
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
ALL	96

Probabilities Analysis

=====

Tree : FIREBALL-TQ GASOLINA.fta

Time : Thu Nov 02 18:41:30 2017

Number of primary events = 16

Number of minimal cut sets = 96

Order of minimal cut sets = 16

Unit time span = 1.000000

Minimal cut set probabilities :

1	BRIGADA Chispamotor Distrac	3.000000E-007
2	BRIGADA Chispamotor	9.999999E-009
	Falloalarma	
3	BRIGADA Chispamotor	9.999999E-009
	Fallobomba	
4	BRIGADA Chispamotor	1.000000E-006
	Falloproced	
5	BRIGADA Chispamotor	9.999999E-011
	Fallotanque	
6	BRIGADA Chispamotor	1.000000E-009
	Fallotuberia	
7	BRIGADA Chispamotor	9.999999E-009

	<i>Fallovalvula</i>	
8	BRIGADA Chispamotor Malacopla	1.000000E-007
9	BRIGADA Distrac EV1	3.000000E-009
10	BRIGADA EV1 Falloalarma	9.999999E-011
11	BRIGADA EV1 Fallobomba	9.999999E-011
12	BRIGADA EV1 Falloproced	1.000000E-008
13	BRIGADA EV1 Fallotanque	1.000000E-012
14	BRIGADA EV1 Fallotuberia	1.000000E-011
15	BRIGADA EV1 Fallovalvula	9.999999E-011
16	BRIGADA EV1 Malacopla	1.000000E-009
17	Chispamotor Distrac	3.000000E-008
	<i>Fallobombainc</i>	
18	Chispamotor Distrac SEMER	3.000000E-007
19	Chispamotor Distrac falloespu	3.000000E-008
20	Chispamotor Falloalarma	1.000000E-009
	<i>Fallobombainc</i>	
21	Chispamotor Falloalarma SEMER	1.000000E-008
22	Chispamotor Falloalarma falloespu	1.000000E-009
23	Chispamotor Fallobomba	1.000000E-009
	<i>Fallobombainc</i>	
24	Chispamotor Fallobomba SEMER	1.000000E-008
25	Chispamotor Fallobomba falloespu	1.000000E-009
26	Chispamotor Fallobombainc Falloproced	1.000000E-007
27	Chispamotor Fallobombainc Fallotanque	1.000000E-011
28	Chispamotor Fallobombainc Fallotuberia	1.000000E-010
29	Chispamotor Fallobombainc Fallovalvula	1.000000E-009
30	Chispamotor Fallobombainc Malacopla	1.000000E-008
31	Chispamotor Falloproced SEMER	1.000000E-006
32	Chispamotor Falloproced falloespu	1.000000E-007
33	Chispamotor Fallotanque SEMER	9.999999E-011
34	Chispamotor Fallotanque falloespu	1.000000E-011
35	Chispamotor Fallotuberia SEMER	1.000000E-009
36	Chispamotor Fallotuberia falloespu	1.000000E-010
37	Chispamotor Fallovalvula SEMER	1.000000E-008
38	Chispamotor Fallovalvula	1.000000E-009

<i>falloespu</i>		
39	Chispamotor Malacopla SEMER	1.000000E-007
40	Chispamotor Malacopla	1.000000E-008
<i>falloespu</i>		
41	Distrac EV1 Fallobombainc	3.000000E-010
42	Distrac EV1 SEMER	3.000000E-009
43	Distrac EV1 falloespu	3.000000E-010
44	EV1 Falloalarma Fallobombainc	9.999999E-012
45	EV1 Falloalarma SEMER	9.999999E-011
46	EV1 Falloalarma falloespu	9.999999E-012
47	EV1 Fallobomba Fallobombainc	9.999999E-012
48	EV1 Fallobomba SEMER	9.999999E-011
49	EV1 Fallobomba falloespu	9.999999E-012
50	EV1 Fallobombainc Falloproced	1.000000E-009
51	EV1 Fallobombainc Fallotanke	1.000000E-013
52	EV1 Fallobombainc	1.000000E-012
<i>Fallotuberia</i>		
53	EV1 Fallobombainc	1.000000E-011
<i>Fallovalvula</i>		
54	EV1 Fallobombainc Malacopla	1.000000E-010
55	EV1 Falloproced SEMER	1.000000E-008
56	EV1 Falloproced falloespu	1.000000E-009
57	EV1 Fallotanke SEMER	9.999999E-013
58	EV1 Fallotanke falloespu	1.000000E-013
59	EV1 Fallotuberia SEMER	9.999999E-012
60	EV1 Fallotuberia falloespu	1.000000E-012
61	EV1 Fallovalvula SEMER	9.999999E-011
62	EV1 Fallovalvula falloespu	9.999999E-012
63	EV1 Malacopla SEMER	1.000000E-009
64	EV1 Malacopla falloespu	1.000000E-010
65	Acumes BRIGADA Distrac	3.000000E-008
<i>Tierrafisica</i>		
66	Acumes BRIGADA Falloalarma	1.000000E-009
<i>Tierrafisica</i>		
67	Acumes BRIGADA Fallobomba	1.000000E-009
<i>Tierrafisica</i>		
68	Acumes BRIGADA Falloproced	1.000000E-007
<i>Tierrafisica</i>		
69	Acumes BRIGADA Fallotanke	1.000000E-011
<i>Tierrafisica</i>		
70	Acumes BRIGADA Fallotuberia	9.999999E-011
<i>Tierrafisica</i>		
71	Acumes BRIGADA Fallovalvula	1.000000E-009
<i>Tierrafisica</i>		
72	Acumes BRIGADA Malacopla	1.000000E-008
<i>Tierrafisica</i>		
73	Acumes Distrac Fallobombainc	3.000000E-009

	Tierrafisica	
74	Acumes Distrac SEMER	3.000000E-008
	Tierrafisica	
75	Acumes Distrac Tierrafisica falloespu	3.000000E-009
76	Acumes Falloalarma Fallobombainc Tierrafisica	9.999999E-011
77	Acumes Falloalarma SEMER Tierrafisica	1.000000E-009
78	Acumes Falloalarma Tierrafisica falloespu	1.000000E-010
79	Acumes Fallobomba Fallobombainc Tierrafisica	9.999999E-011
80	Acumes Fallobomba SEMER Tierrafisica	1.000000E-009
81	Acumes Fallobomba Tierrafisica falloespu	1.000000E-010
82	Acumes Fallobombainc Falloproced Tierrafisica	1.000000E-008
83	Acumes Fallobombainc Fallotanique Tierrafisica	1.000000E-012
84	Acumes Fallobombainc Fallotuberia Tierrafisica	9.999999E-012
85	Acumes Fallobombainc Fallovalvula Tierrafisica	9.999999E-011
86	Acumes Fallobombainc Malacopla Tierrafisica	1.000000E-009
87	Acumes Falloproced SEMER Tierrafisica	1.000000E-007
88	Acumes Falloproced Tierrafisica falloespu	1.000000E-008
89	Acumes Fallotanique SEMER Tierrafisica	9.999999E-012
90	Acumes Fallotanique Tierrafisica falloespu	1.000000E-012
91	Acumes Fallotuberia SEMER Tierrafisica	9.999999E-011
92	Acumes Fallotuberia Tierrafisica falloespu	1.000000E-011
93	Acumes Fallovalvula SEMER Tierrafisica	1.000000E-009
94	Acumes Fallovalvula Tierrafisica falloespu	1.000000E-010
95	Acumes Malacopla SEMER Tierrafisica	1.000000E-008
96	Acumes Malacopla Tierrafisica falloespu	1.000000E-009

Probability of top level event (minimal cut sets up to order 16 used):

1 term $+3.494745E-006 = 3.494745E-006$ (upper bound)

Primary Event Analysis:

Event	Failure contrib.	Importance
Acumes	3.148420E-007	9.01%
BRIGADA	1.588521E-006	45.45%
Chispamotor	3.148420E-006	90.09%
Distrac	7.326001E-007	20.96%
EV1	3.148419E-008	0.90%
Falloalarma	2.442000E-008	0.70%
Fallobomba	2.442000E-008	0.70%
Fallobombainc	1.588521E-007	4.55%
Falloproced	2.442000E-006	69.88%
Fallotanke	2.442000E-010	0.01%
Fallotuberia	2.442000E-009	0.07%
Fallovalvula	2.442000E-008	0.70%
Malacopla	2.442000E-007	6.99%
SEMER	1.588521E-006	45.45%
Tierrafisica	3.148420E-007	9.01%
falloespu	1.588521E-007	4.55%

Resumen de probabilidades del Árbol de Fallos:

No	Evento	Probabilidad
1	Pool Fire en tanques de gasolinas	2.899434E-005
2	Pool Fire en tanques de diesel	2.899434E-007
3	Fire Ball, tanques de gasolinas	3.494745E-006

II.- DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN ENTORNO A LAS INSTALACIONES

i Las secuencias de los escenarios y sus causas están descritas en los árboles de fallo, en este apartado se indican las consecuencias de estos eventos.

II.1.- RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN

1.- Pool Fire en tanques de gasolinas

Se considera un derrame de gasolina dentro del dique de contención e ignición posterior. El dique es individual para cada tanque y tiene las siguientes dimensiones: 62.45 x 57.46 m.

Diámetro de tanque: 36.57

Altura: 12.19

Volumen del tanque de almacenamiento: 80 Mb (12,718 m³)

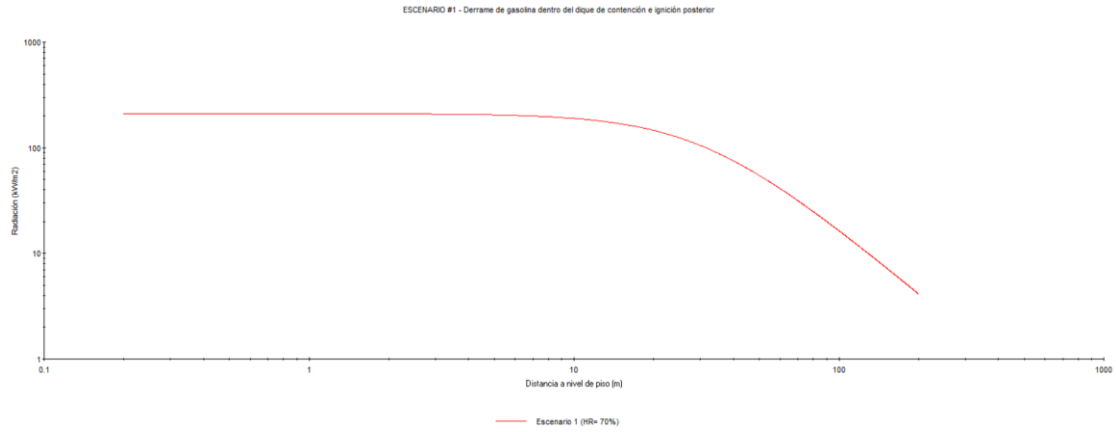
Flujo de descarga desde buque-tanque a tanque: 300 Mb/día

Temperatura: Ambiente (28° C - máxima)

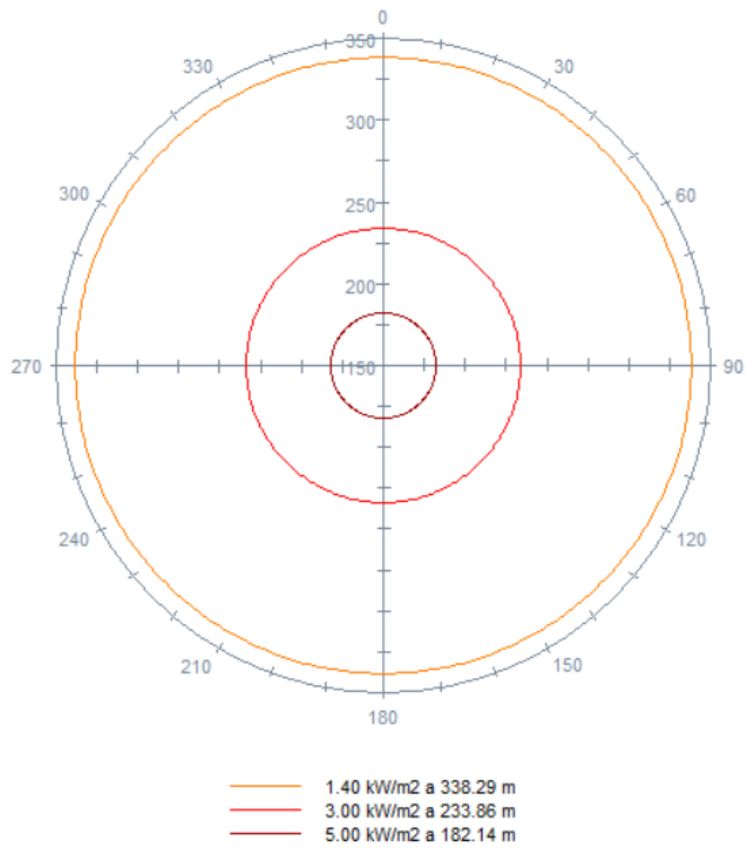
Presión: 1 kg/cm² – 7 kg/cm²

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m²)
Zona de alto Riesgo	182.14	5
Zona de amortiguamiento	338.29	1.4



ESCENARIO #1 - Derrame de gasolina dentro del dique de contención e ignición posterior



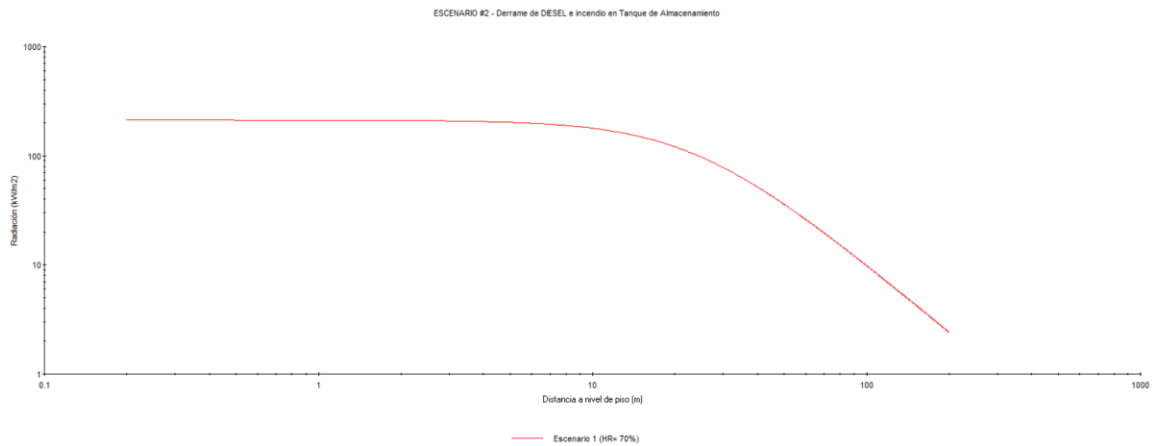
Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

2.- Pool Fire en tanques de diesel

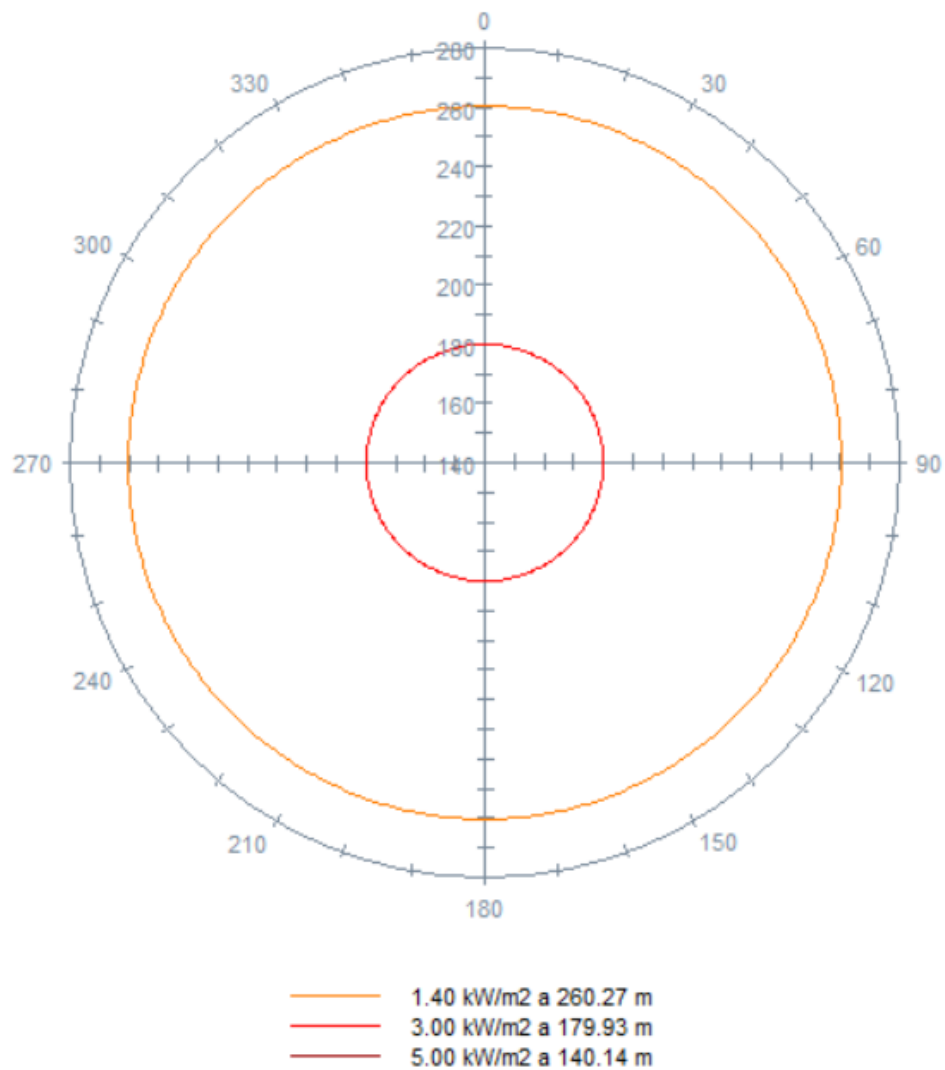
Fuga de Diesel en zona de tanques por fallo en el mismo o en accesorios, Derrame de Diesel en área del tanque y hacia el dique de contención

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m²)
Zona de alto Riesgo	140.14	5
Zona de amortiguamiento	260.27	1.4



ESCENARIO #2 - Derrame de DIESEL e incendio en Tanque de Almacenamiento



Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

3.- Fire Ball, tanques de gasolinas

Debido a radiación térmica externa, provocada por un escenario 1, el tanque se sobrecalienta provocando un escenario Máximo catastrófico tipo Fire Ball.

Diámetro de tanque: 36.57

Altura: 12.19

Volumen del tanque de almacenamiento: 80 Mb (12,718 m³)

Flujo de descarga desde buque-tanque a tanque: 300 Mb/día

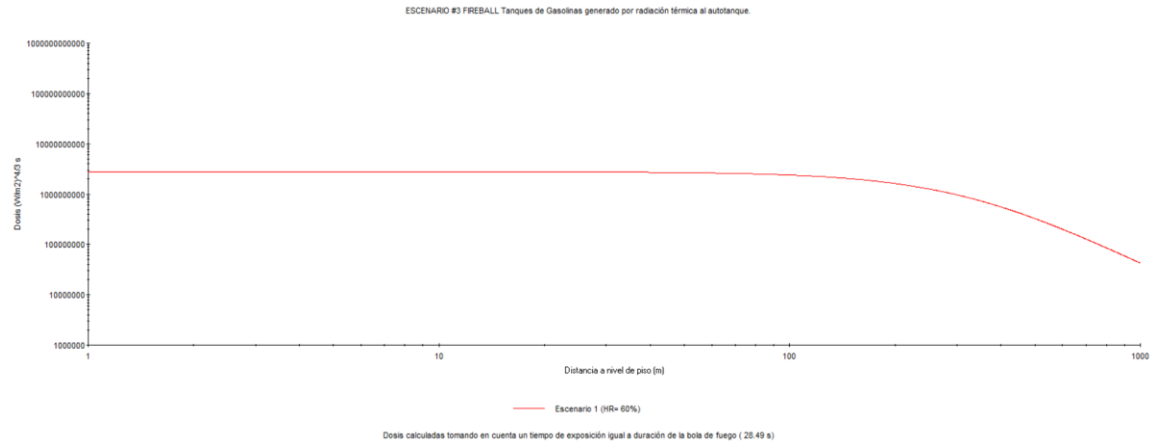
Temperatura: Ambiente (28° C - máxima)

Presión: 1 kg/cm² – 7 kg/cm²

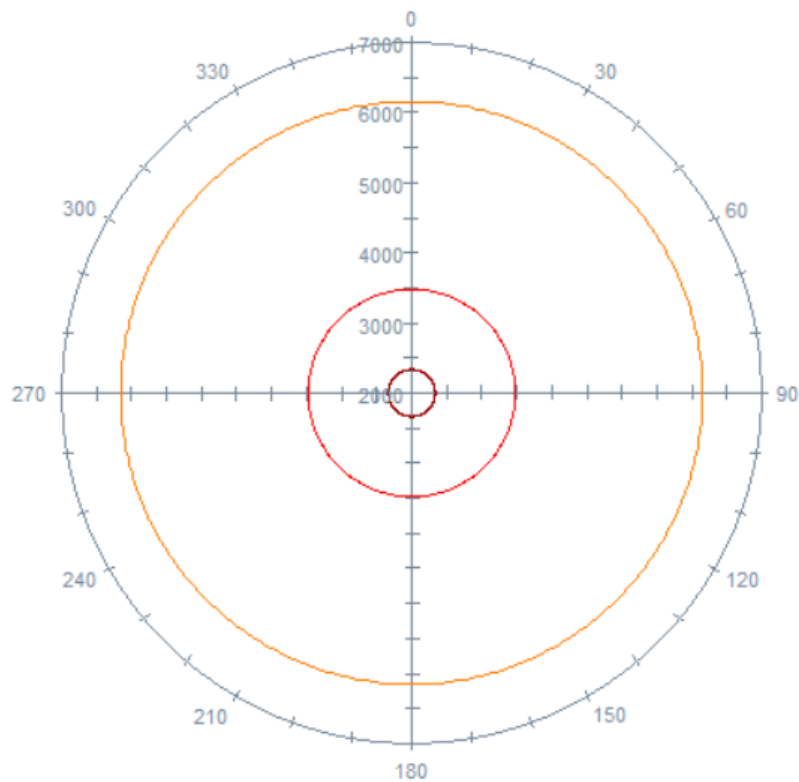
Considerando que un tanque tiene un volumen al 100% de 12,718 m³, y tomando en cuenta que el contenido del tanque se reduce hasta un 20% para poder llevar a cabo el fenómeno Fire Ball, esto sería: $12718 \times 0.20 = 2543.6 \text{ m}^3$, si la densidad de la gasolina es de aproximadamente 680 kg/m³, entonces la masa a simular es de: $680 \times 2543.6 = 1729648 \text{ kg}$

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m²)
Zona de alto Riesgo	2177.14	5
Zona de amortiguamiento	4003.17	1.4



ESCENARIO #3 FIREBALL Tanques de Gasolinas generado por radiación térmica al autotanque.



- 1.566 E+05 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 1.40 kW/m²) a 6154.39 m
- 8.550 E+05 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 5.00 kW/m²) a 3478.94 m
- 2.901 E+06 (W/m²)^{4/3} s (Radiación: 12.50 kW/m²) a 2335.15 m

Masa de la nube 1729648.00 kg Diámetro de Bola de Fuego: 696.22 m Tiempo de duración de Bola de Fuego: 28.49 s
Dosis calculadas tomando en cuenta un tiempo de exposición de 10.00 s



Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

4.- Pool Fire – Derrame de Gasolina al momento de la descarga a Autotanques/Carros tanque

Al momento de la descarga en el área de llenado de carros tanque y autos tanque, se produce un error de acoplamiento de la manguera o ruptura y se derrama combustible con un flujo máximo de 114 m³/h.

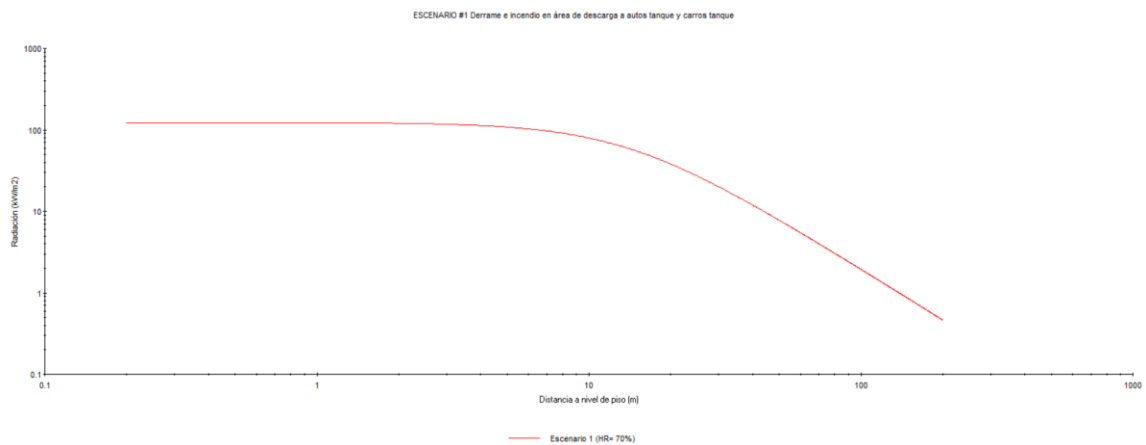
Flujo de descarga desde tanque a carros/auto tanques: 114 m³/h

Temperatura: Ambiente (28° C - máxima)

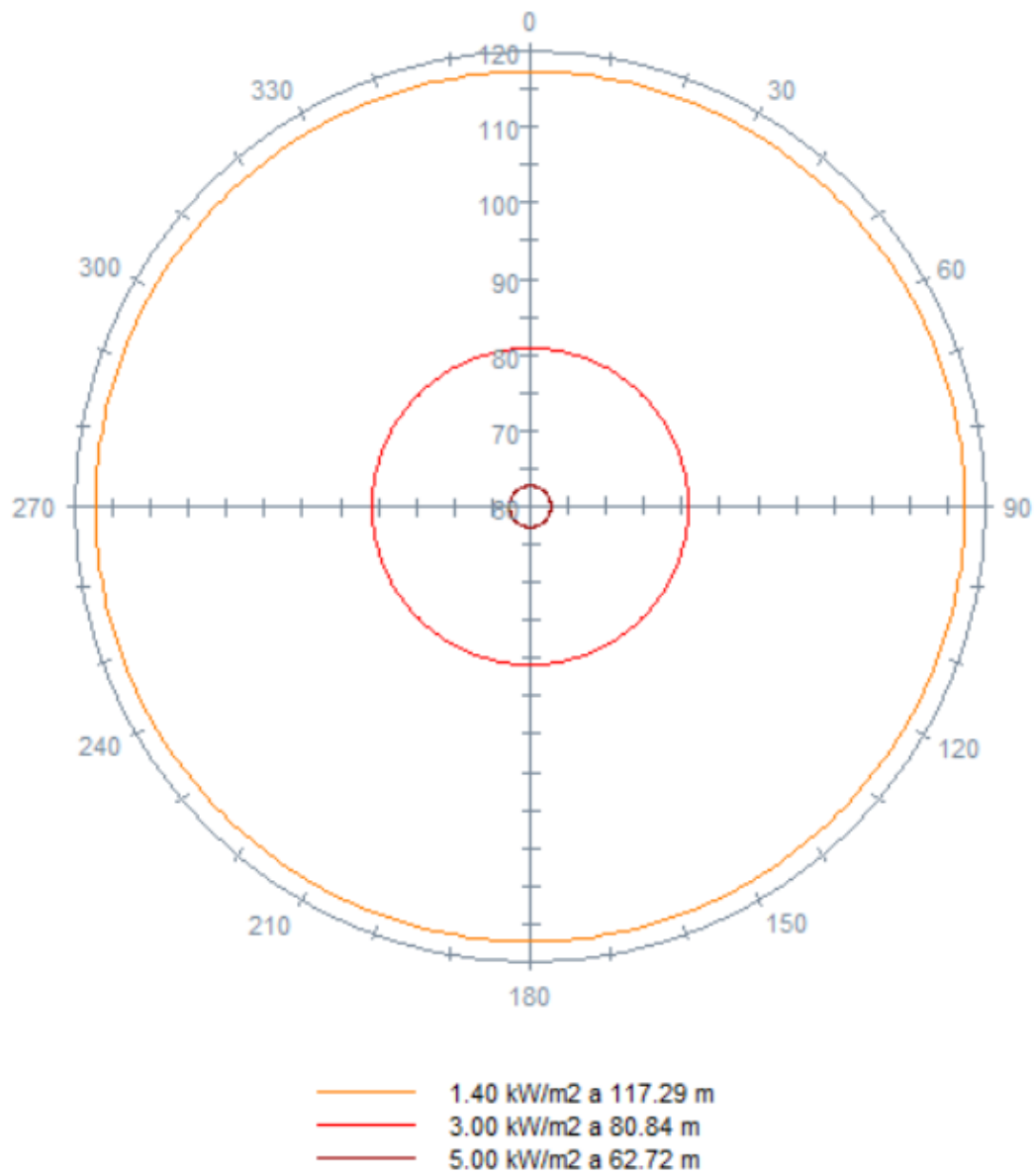
Presión: 1 kg/cm² – 7 kg/cm²

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m ²)
Zona de alto Riesgo	62.72	5
Zona de amortiguamiento	117.29	1.4



ESCENARIO #4 Derrame e incendio en área de descarga a autos tanque y carros tanque



Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

5.- Pool Fire – Derrame de combustible DIESEL al momento de la descarga a Carros tanque /Autos tanque

Al momento de la descarga en el área de llenado de carros tanque y autos tanque con Diesel, se produce un error de acoplamiento de la manguera o ruptura y se derrama combustible con un flujo máximo de 114 m³/h.

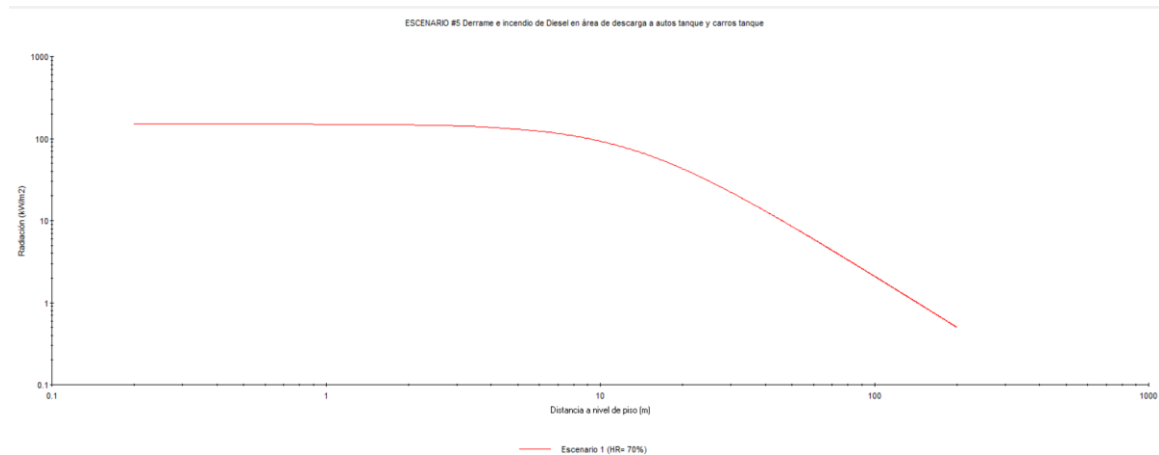
Flujo de descarga desde tanque a carros/auto tanques: 114 m³/h

Temperatura: Ambiente (28° C - máxima)

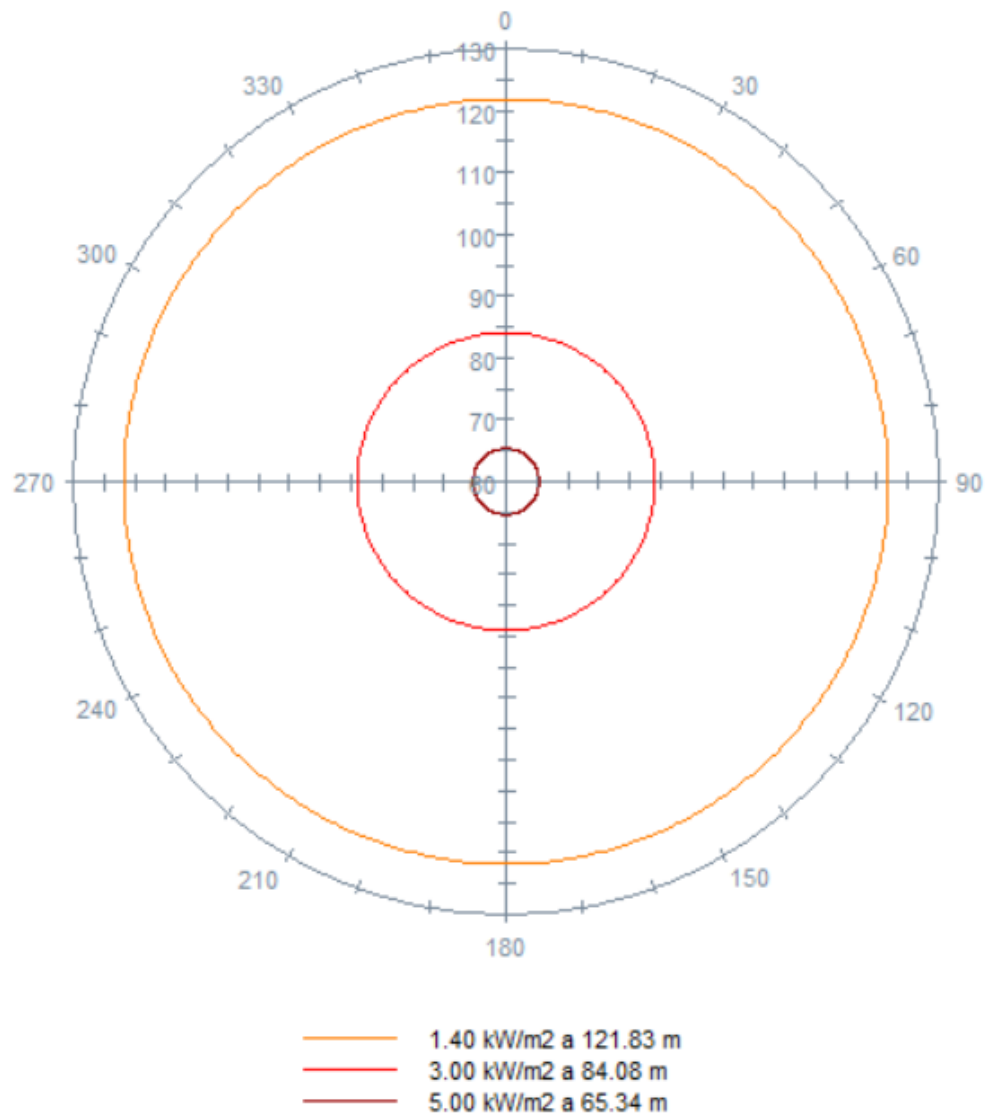
Presión: 1 kg/cm² – 7 kg/cm²

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m²)
Zona de alto Riesgo	65.34	5
Zona de amortiguamiento	121.83	1.4



ESCENARIO #5 Derrame e incendio de Diesel en área de descarga a autos tanque y carros tanque



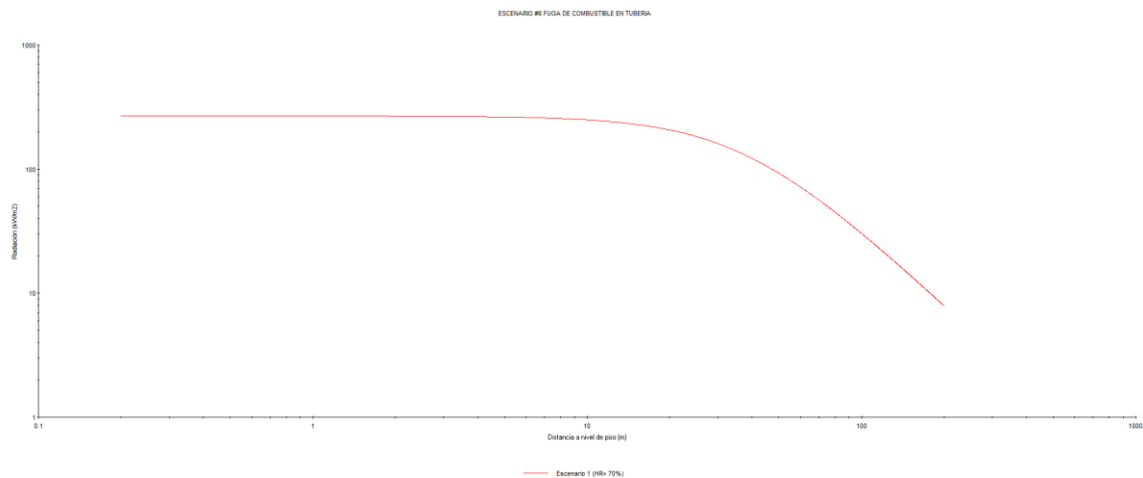
Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

6.- Pool Fire – Derrame de combustible en la tubería de descarga a tanques de almacenamiento desde el muelle.

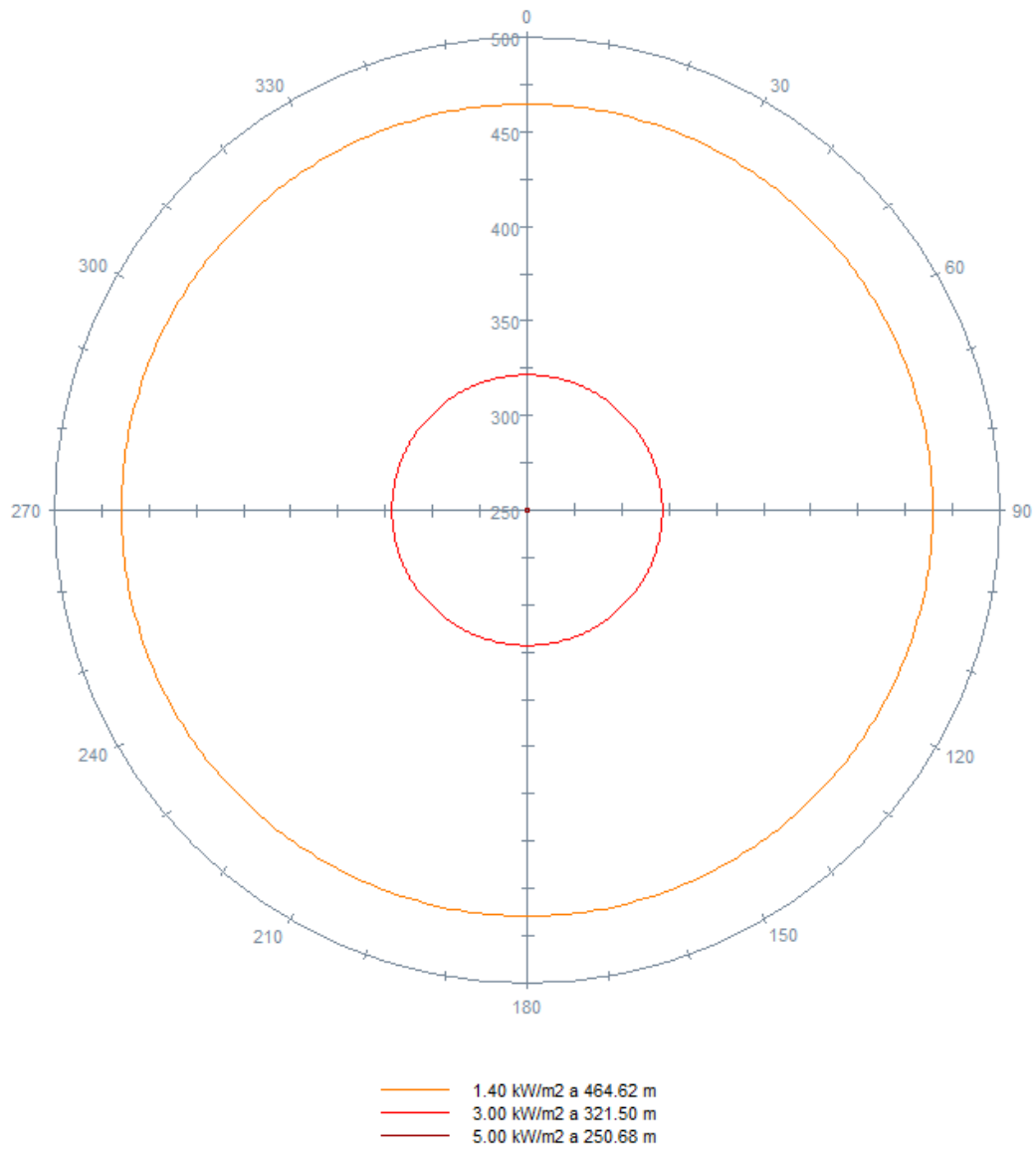
Al momento de la descarga desde el buque tanque hacia los tanques de almacenamiento, se presenta una fuga de gasolina en la tubería, con ignición posterior, formando una alberca de fuego. El flujo de descarga es de 300 Mbbbl/día ($0.55 \text{ m}^3/\text{s}$)

Resumen de Resultados

	Distancia de la radiación (m)	Radiación Térmica (kW/m^2)
Zona de alto Riesgo	250.68	5
Zona de amortiguamiento	464.62	1.4



ESCENARIO #6 FUGA DE COMBUSTIBLE EN TUBERIA



Resultados y Reporte del Software *(Página siguiente)*

II.2.- INTERACCIONES DE RIESGO

Para el estudio de interacciones, se realiza un análisis Probit para determinar la Probabilidad de que se presente un efecto Dominó entre los 2 tanques de almacenamiento atmosférico y calcular el tiempo en que un evento alcanzaría al siguiente evento. Para calcular lo anterior se utilizan las siguientes ecuaciones propuestas por Cozzani⁽¹⁾

$$P = 0,5 \cdot \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Y-5}{\sqrt{2}} \right) \right], \text{ where } \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Table 2. Probit equations to estimate tank vulnerability. *ttf*: Time to Failure (s); *V*: tank volume (m³); *I*: thermal radiation (kW·m⁻²)
P_s: maximum peak static overpressure (Pa); *Y*: constant of Probit

Type of tank	Escalation vector	Type of exposure	Probit equation
Atmospheric	Thermal Radiation	Fully engulfment	$\ln(ttf) = -1.13 \cdot \ln(I) - 2.67 \cdot 10^{-5} \cdot V + 9.9$ $Y = 12.54 - 1.847 \cdot \ln(ttf)$
		Distant source radiation	-
	Overpressure	-	$Y = -18.96 + 2.44 \cdot \ln(P_s)$
Pressurized	Thermal radiation	Fully engulfment	$\ln(ttf) = -1.29 \cdot \ln(I) + 10.970 \cdot V^{0.026}$ $Y = 12.54 - 1.847 \cdot \ln(ttf)$
		Distant source radiation	$\ln(ttf) = -0.95 \cdot \ln(I) + 8.845 \cdot V^{0.032}$ $Y = 12.54 - 1.847 \cdot \ln(ttf)$
	Overpressure	-	$Y = -42.44 + 4.33 \cdot \ln(P_s)$

⁽¹⁾Ref: Cozzani, V. and Reniers, G.L.L. *Domino Effects in the Process Industries – Modeling, Prevention and Managing*. 1st ed. Ed. V. Cozzani and G. L. L. Reniers. Elsevier, 2013.

Escenario 1 .- Este escenario podría tener interacción con los tanques aledaños de gasolina, en caso de fallo del sistema de actuación contra incendio y del sistema de espuma, podría ocasionar una radiación térmica a los tanques adyacentes generando en el caso máximo catastrófico un efecto Fireball indicado en el escenario #3.

Para determinar la radiación se utilizan los resultados del Escenario 1 considerando la distancia a los tanques aledaños de 18.3 m como mínimo, interpolando entre la tabla se tiene una radiación térmica de 153.59 kW/m², y un volumen del tanque objetivo de 12719 m³

Volumen del tanque	12719
HEAT FLUX KW/M2	153.59

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosféricos	48.02	0.80	5.39	65.14

Por lo anterior se concluye que se tiene una probabilidad de 65% de ocurrencia de un efecto dominó en caso de presentarse un escenario #1, sin actuación inmediata de brigadas y sistemas contra incendio.

Escenario 2.- De manera similar que el escenario 1, en caso de un incendio en el tanque de diesel (Con menor probabilidad de ocurrencia ya que requiere mayor energía para iniciar la combustión), se realiza el análisis probit tomando en cuenta lo siguiente:

Distancia al tanque mas cercano: 28.30 m

Radiación térmica a la distancia del tanque mas cercano: 83.74 kW/m²

Volumen del tanque objetivo: 12719 m³

Volumen del tanque	12719
HEAT FLUX KW/M2	83.74

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosféricos	95.31	1.59	4.12	19.03

La probabilidad de presentarse un efecto dominó es del 19% en caso de un escenario #2 que corresponde a un Pool Fire desde el dique de contención del tanque de Diesel.

Escenario 3.- Considerado el máximo catastrófico, pero menos probable, para el análisis se calculará el probit de fallo de una esfera que supondremos contiene Propano¹ que se encuentra al oeste del proyecto:



Distancia al tanque mas cercano: 1316 m

Radiación térmica a la distancia del tanque mas cercano: 22.17 kW/m²

Volumen del tanque objetivo: 6360 m³

Volumen del tanque	6360
HEAT FLUX KW/M2	22.17

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosféricos	507.05	8.45	1.04	0.00

La probabilidad de un efecto dominó sobre la instalación de riesgo mas cercana fuera del proyecto es 0%

¹ Se hace la suposición en base al producto de mayor riesgo ya que no se tienen datos del almacenamiento, el volumen se toma como base el mas usado en esferas de propano.

Escenario #4.- Este escenario se localiza en el área de llenado de carros tanque, siendo la mas cercana distancia mas cercana desde el área de llenado al área del tanque TV-04

Distancia al tanque mas cercano: 77 m

Radiación térmica a la distancia del tanque mas cercano: 3.31 kW/m²

Volumen del tanque objetivo: 12719 m³

Volumen del tanque	12719
HEAT FLUX KW/M2	3.31

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosfericos	3669.65	61.16	-2.62	0.00

De acuerdo a los resultados anteriores, la probabilidad de un efecto dominó causado por un escenario 4 en el área de llenado, es del 0% sobre los tanques de almacenamiento.

Escenario #5.- Similar al escenario 4, pero en vez de gasolina es Diesel, considerando una menor probabilidad por la energía que requiere el Diesel para poder hacer combustión y generar un incendio.

Distancia al tanque mas cercano: 77 m

Radiación térmica a la distancia del tanque mas cercano: 3.58 kW/m²

Volumen del tanque objetivo: 12719 m³

Volumen del tanque	12719
HEAT FLUX KW/M2	3.58

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosféricos	3358.48	55.97	-2.46	0.00

La probabilidad de generar un efecto dominó sobre los tanques de almacenamiento es de 0%.

Escenario #6.- Una fuga de gasolina con ignición posterior y cercano al área de tanques podría generar un efecto dominó con las siguientes características:
Suponiendo una distancia de 10 m de separación al tanque mas cercano de 12719 m³, se tendría una radiación de hasta 249.79 kW/m², por lo tanto la probabilidad de que suceda una interacción es:

Efectos dominó a:	t (s)	t (min)	Probit	Probabilidad (%)
Tanques Atmosféricos	27.72	0.46	6.40	91.99

II.3.- EFECTOS SOBRE EL SISTEMA AMBIENTAL

Los escenarios de radiación térmica, no tienen efectos permanentes sobre el sistema ambiental que pudieran presentar problemas a largo plazo o sinergia con el sistema, éstos escenarios tienen repercusiones temporales y reversibles. Por un lado los escenarios de radiación térmica, pueden generar nubes de humo contaminante por partículas suspendidas, que son dispersadas en el ambiente en periodos cortos de tiempo, y por otro lado, no alcanzan áreas con sistemas naturales.

Sin embargo, los escenarios iniciales por derrames de hidrocarburos en áreas de tanques pueden generar efectos adversos en el suelo por infiltración y solo en caso de que el dique pierda hermeticidad o un derrame por acción de una inundación del mismo que arrastre hidrocarburos derramados fuera del área de contención.

Un derrame directo en la dársena por error o fallo en el momento de la carga o descarga de hidrocarburos, puede generar contaminación directa al sistema marino, para tal efecto, se cuenta con elementos de seguridad y procedimientos de revisión de operaciones de carga y descarga. En caso de que sucediera, las corrientes marinas indican que dicho derrame puede llegar a desplazarse hacia la parte norte del puerto.

III.- MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PREVENTIVAS EN MATERIA AMBIENTAL

III.1.- RECOMENDACIONES TÉCNICO-OPERATIVAS

III.1.1.- Sistemas de seguridad

Los sistemas de seguridad contemplados en la Ingeniería Básica, incluyen los siguientes elementos, mismos que serán más detallados una vez se tenga la Ingeniería de detalle del proyecto.

- Los tanques de gasolinas contarán con sistema de techo flotante lo que permite que no se tengan espacios con vapores inflamables, además de sistemas contra incendio con base de espuma química que abarca cada uno de los tanques, y sistemas de arrestadores de flama y venteos.
- Sistema VDU (Unidad de destrucción de vapores), para eliminar vapores generados en la carga y descarga de hidrocarburos.
- Se tendrán Separadores de aceite-agua en la zona de ferrocarriles (Carros tanque) para casos de derrame.
- Diques de contención en tanques de hidrocarburos para contener mas de 110% del total del tanque de mayor capacidad.
- Dique de contención en áreas de descarga
- Sistema vs. Incendio con espuma química
- Sistemas de detección de humo y alarma en áreas administrativas.
- Cobertizo Contra incendio (incluirá: equipo de protección personal para bomberos, herramientas).

III.1.2.- Medidas preventivas

Recomendaciones derivadas del análisis de riesgo:

ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS Y TUBERÍA DESDE EL MUELLE

- Colocar disparadores y alarmas de nivel alto en los recipientes de almacenamiento de hidrocarburos, es recomendable tener sistemas de verificación de nivel redundantes.
- Mantener las válvulas de drenaje de los diques cerradas y bloqueadas y comprobarlas regularmente.
- Es necesario instalar sistemas de protección catódica en tubería enterrada y un programa de inspección continua y de medición de espesores en tanques y tuberías, además de un sistema que garantice la integridad mecánica y estructural de los elementos susceptibles a corrosión.
- Colocar detectores de gases inflamables en áreas clave como en área de transvase y zonas de almacenamiento.
- Colocar paros de emergencia en área de conexiones y desconexiones.
- Es recomendable colocar sistemas de rejillas recolectoras para casos de derrames en el área de carga de los autos tanques.
- Establecer sistemas de ayuda mutua con otras empresas en el puerto.
- El diseño deberá apegarse a lo que establece la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-003-ASEA-2016, Especificaciones y criterios técnicos de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para el Diseño, Construcción, Pre-Arranque, Operación y Mantenimiento de las instalaciones terrestres de Almacenamiento de Petrolíferos, excepto para Gas Licuado de Petróleo, Y deberá ser evaluada por un Tercero Especialista autorizado por la ASEA .

- Incluir en el Programa de Capacitación Anual lo correspondiente a la operación de recibo de producto por buque tanque y llenaderas.
- Efectuar estudio de factibilidad para instalación de apartarrayos que cubra todas las áreas de riesgos. (Almacenamiento de producto, área de llenado, etc)
- Instalar conexiones eléctricas a prueba de explosión en toda la instalación.
- Programar el cambio anual de sellos mecánicos
- Verificar la integridad de los diques de contención
- Dar mantenimiento constante (limpieza) al drenaje aceitoso
- Realizar cuando menos 2 simulacros de incendio al año, además de simulacros para casos de amenaza de huracán.
- Realizar mantenimientos preventivos al sistema fijo contra incendio
- Realizar mantenimientos preventivos al sistema móvil contra incendio (extintores)
- Desarrollar e Implementar el Manual de procedimientos para la operación, mantenimiento y seguridad.
- Desarrollar e Implementar el Programa para la Prevención de Accidentes (PPA).
- Se debe tener a la mano las especificaciones de diseño, construcción, planos y datos históricos de las condiciones de operación, mantenimientos y reparaciones efectuadas al sistema (para un sistema ya construido), así como datos de corrosión y de protección catódica que deben ponerse a disposición del personal operativo.
- Desarrollar e Implementar el Programa anual de operación, mantenimiento y seguridad avalado por una Unidad de Verificación o Tercero Especialista.
- En la tubería que viene del muelle hacia los tanques de almacenamiento, se deberá señalizar de tal manera que sea visible la señalización en todo el trayecto, se sugiere colocar una cinta de aviso a lo largo de la tubería enterrada.

Además de lo anterior, las instalaciones deberán cumplir con la siguiente normatividad y sus especificaciones:

NOM-001-STPS-2008	Edificios, locales e instalaciones
NOM-002-STPS-2010	Prevención y protección contra incendios
NOM-005-STPS-1998	Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas
NOM-009-STPS-2011	Trabajos en altura
NOM-020-STPS-2011	Recipientes sujetos a presión y calderas
NOM-022-STPS-2015	Electricidad estática
NOM-027-STPS-2008	Soldadura y corte
NOM-029-STPS-2011	Mantenimiento de instalaciones eléctricas
NOM-033-STPS-2015	Trabajos en espacios confinados
NOM-010-STPS-1999	Contaminantes por sustancias químicas
NOM-011-STPS-2001	Ruido
NOM-025-STPS-2008	Iluminación
NOM-017-STPS-2008	Equipo de protección personal
NOM-018-STPS-2000	Identificación de peligros y riesgos por sustancias químicas
NOM-019-STPS-2011	Comisiones de seguridad e higiene
NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad
NOM-030-STPS-2009	Servicios preventivos de seguridad y salud
NOM-016-STPS-2001	Operación y mantenimiento de ferrocarriles
NOM-031-STPS-2011	Construcción

IV.- RESUMEN

IV.1.- Conclusiones del Estudio de Riesgo Ambiental

Como resultado del análisis de riesgo HAZOP y LOPA, se concluye que el proyecto es considerado como de alto riesgo, en función a la cantidad de gasolinas y Diesel que almacenará y distribuirá.

Se contará con sistemas, equipos, programas y procedimientos operativos y de seguridad necesarios, además, de un programa completo de mantenimiento y personal capacitado, para establecer un régimen operativo confiable para el personal, la comunidad, las instalaciones y el medio ambiente, se puede calificar como empresa segura, siempre y cuando se mantengan los equipos en óptimas condiciones, realizando los mantenimientos preventivos programados y se cumpla con los procedimientos operativos correspondientes y especificados en la NOM-EM-003-ASEA.

Las medidas preventivas consideradas, proporcionan los controles suficientes para evitar la cadena de eventos o conjunto de condiciones que potencialmente pudieran causar la pérdida de contención de hidrocarburos y generar alguna situación de emergencia.

El predio donde se realizará la construcción está asentado en la API de Altamira la cual es compatible con el tipo de actividades para la cual fue diseñado el puerto industrial.

La zona es susceptible a huracanes y las instalaciones se diseñan en base a un evento máximo.

No se prevé que alguna eventualidad dentro del proyecto que cause daños a la población pues los radios de afectación no sobrepasan a las propias instalaciones y los eventos máximos catastróficos no rebasan el área de la API de Altamira.

Los efectos dominó que pudieran presentarse, no afectan instalaciones de riesgo fuera del proyecto como se puede analizar en los eventos máximos catastróficos del escenario 3 (Apartado II.2).

En base a lo anterior, se concluye que el proyecto, si bien, es de alto riesgo, los sistemas normados y propuestos disminuyen la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor, además de colocarse en una zona compatible y diseñada para la actividad, estando alejada de zonas altamente pobladas.

IV.2.- Resumen de la situación general que presenta el proyecto en materia de riesgo ambiental

En base a los eventos que pudieran generarse derivado de fuga de hidrocarburos se tiene que:

Es una zona industrial por lo tanto es compatible con la actividad del proyecto.

No afectara a asentamientos humanos pues el evento de mayor magnitud no rebasa el Puerto Industrial, ni tampoco tiene probabilidad para iniciar eventos desencadenantes o efectos dominó sobre la instalación de riesgo más cercana.

En el caso de un incendio siempre se tienen consecuencias para el medio ambiente los cuales son:

Contaminación del aire por los gases producidos por la reacción de combustión de los hidrocarburos formados, principalmente, Partículas Suspendidas PM10-PM2.5, Nitrógeno, Oxígeno, Dióxido de Carbono, vapor de agua, Hidrógeno, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, si bien generan contaminación en un evento de incendio, son de rápida dispersión y afectarían de manera temporal las zonas del lado oeste debido a la dominancia de los vientos, sin que pudiera tener un efecto ambiental a largo plazo.

Efectos sobre la salud de las personas, los contaminantes del aire, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, pueden causar enfermedades respiratorias, como

el asma o la bronquitis crónica, sin embargo, la exposición no es constante y es de corta duración.

IV.3.- Informe Técnico



Páginas siguientes

***** FDD *****