



Título de la investigación:

**“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS Y
PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD
INDUSTRIAL PARA UN CENTRO DE FACILIDADES DE
UN CAMPO PETROLERO, APLICANDO LA
METODOLOGÍA HAZOP”**

Árbol de problemas



CENTRO DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES DE PETRÓLEO CPF

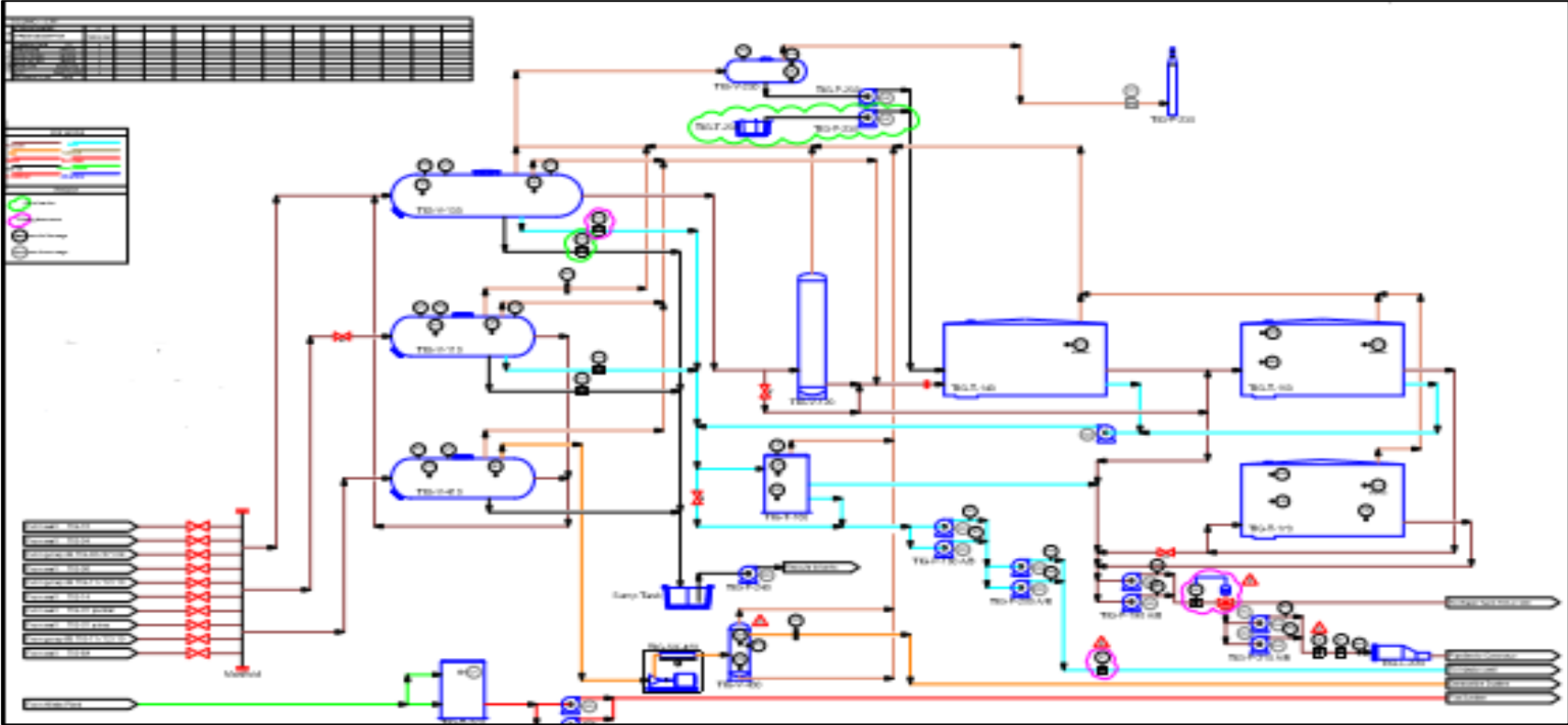


Diagrama de instrumentación y tubería P&ID

Objetivo general

Proponer medidas de control que posibiliten disminuir pérdidas materiales, perturbación física a los trabajadores y la paralización de actividades por el efecto de un accidente mayor, a consecuencia de los productos químicos que se manejan en el centro de producción y facilidades de hidrocarburos de un campo petrolero.

Objetivos específicos

- Determinar las desviaciones de las variables de los procesos productivos del centro de producción y facilidades de petróleo, en función de un sistema establecido con respecto de los parámetros normales de operación.
- Determinar el nivel de riesgo de incendio y explosión en el centro de producción y facilidades de petróleo y almacenamiento de productos químicos.
- Determinar parámetros de diseño para la operación adecuada del Sistema Contra Incendios bajo estándares de la normativa aplicable.



Hipótesis

Los procesos de un centro de producción y facilidades de un campo petrolero, representan un potencial mayor para pérdidas materiales de la organización y paralización de operaciones, debido al manejo líquidos combustibles. Se precisa que el nivel de riesgo de incendio y explosión es grave, considerando que un pequeño derrame puede cubrir un área grande del banco de trabajo o del piso.



Métodos utilizados:

ESTUDIO DE PELIGROS Y OPERABILIDAD HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY)

La metodología HAZOP está basada en la premisa de que los riesgos, la accidentalidad y los problemas de índole operativo, se producen a causa de una desviación de las variables intrínsecas en los procesos productivos en relación a los principios de operación en un sistema establecido en una determinada unidad.

ÍNDICE DE INCENDIO & EXPLOSIÓN

Mediante este trabajo de investigación se evalúa el nivel de riesgo inicial de incendio y explosión en una estación de producción y almacenamiento de productos químicos para una empresa hidrocarburífera, según los criterios y parámetros establecidos en el método DOW, Dow Chemical Company's Fire and Explosion Index. Con las dosis estimadas de radiación y sobrepresión que podrían generarse en caso de eventos de incendio y explosión, respectivamente, se calcula el grado de afectación de personal expuesto y terceros; siguiendo las directrices de las notas técnicas NTP 291, NTP 321 y NTP 326 publicadas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales del Gobierno de España.

Según los resultados antes indicados y aquellos obtenidos en la revisión de cumplimiento de cuerpos normativos vigentes y aplicables, se determina la necesidad de diseñar e implementar un sistema contraincendios, como parte de los diferentes controles operacionales. La propuesta de diseño del sistema se efectúa considerando los criterios y recomendaciones de carácter general incluidas en las normas desarrolladas y emitidas por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de los Estados Unidos, e incluyen NFPA 10, 11, 15; y, 20.

Métodos utilizados:



El **HAZOP (Hazard and operability)**, en castellano **AFO - Análisis Funcional de Operatividad** es una metodología con la finalidad de detectar las situaciones de inseguridad en plantas industriales debida a la operación o los procesos productivos de estas.



Índice de incendio y explosión DOW



NFPA 11: Norma para espumas de baja, media y alta expansión.

NFPA 13: Norma para la instalación de sistemas de rociadores. Proporciona los requerimientos y criterios de diseño y disposición de rociadores

NFPA 20: Bombas estacionarias de protección contra incendios. Contiene los lineamientos y requerimientos mínimos para la selección e implementación de bombas para la protección contra incendios.

NFPA 15: Norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contra incendios. Comprende requisitos técnicos mínimos para el diseño, instalación y pruebas requeridas para sistemas fijos aspersores de agua y agua pulverizada.



NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases

NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas, evaluación de la sobrepresión

NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit

EMPRESA: PETROBELL INC.

EMPLAZAMIENTO: CENTRO DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES (C.P.F.) - CAMPO DE PRODUCCIÓN DE CRUDO

UNIDAD: PRODUCCIÓN DE CRUDO PETRÓLEO

NODOS A ANALIZAR: CIRCUITO 1: FLUJO DE CRUDO

CIRCUITO 2: FLUJO DE GAS

CIRCUITO 3: FLUJO DE DIESEL

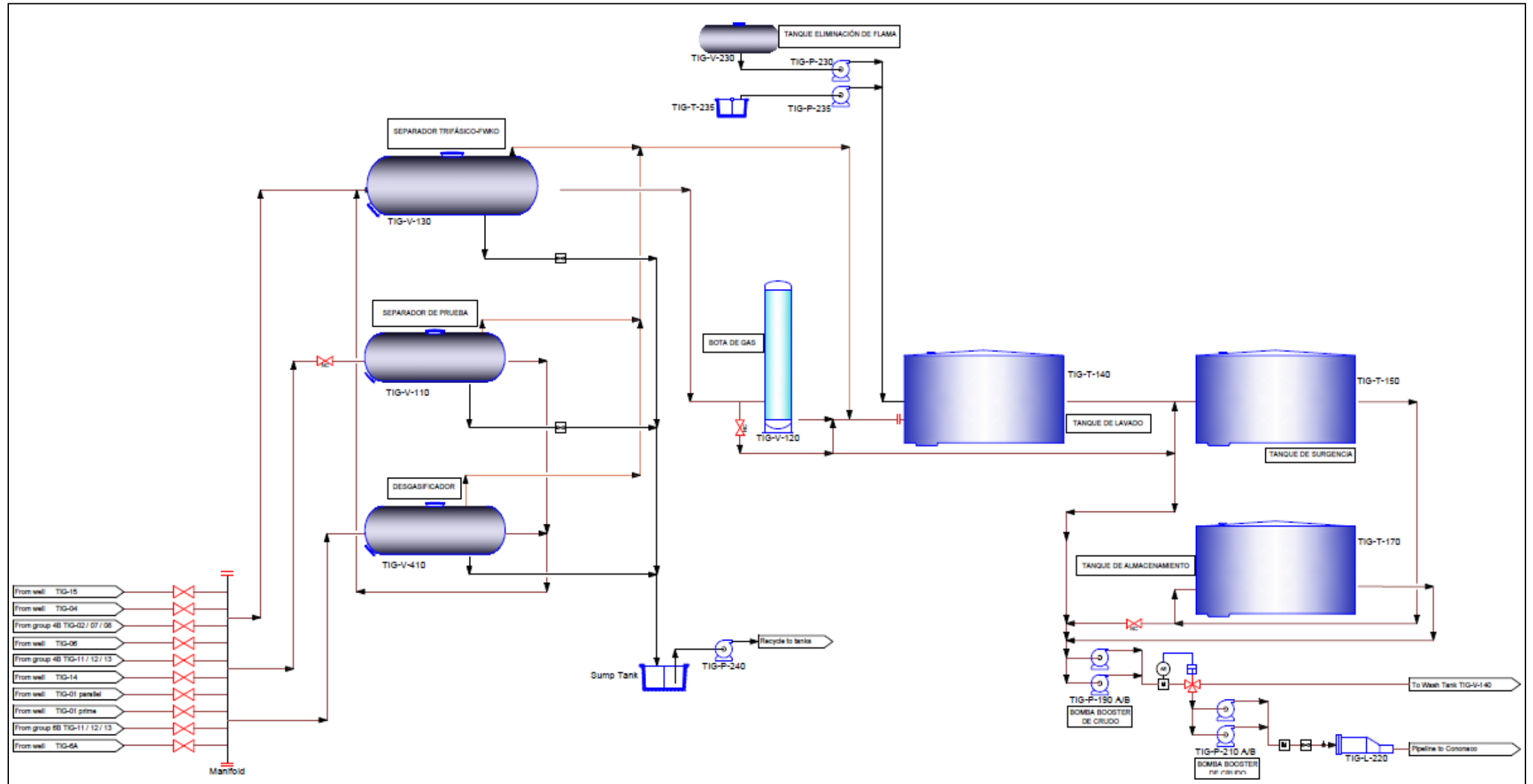
CIRCUITO 4: FLUJO DE AGUA DE FORMACIÓN

CÓDIGOS: HAZOP TIG001 F1CD

HAZOP TIG001 F2GS

HAZOP TIG001 F3DSL

Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción de crudo



PALABRA GUÍA DEL ESTUDIO DEL NODO F1CD.



PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F1CD	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo en la línea	Fallo de operación de drenaje de separadores (TIG-V-130)
		Falla de operación en la válvula de ingreso al separador FWKO(TIG-V-130) (TIG-V-110)
		Fallo en la válvula de control FWKO(TIG-V-130)
		Fallo indicadores de flujo LSH ⁴ de los separadores (TIG-V-130)
		Problema de filtros de bombas (TIG-P-190 A/B)
	No presión	Taponamiento de filtros aguas arriba de la bomba (TIG-P-190 A/B)
		Fallo de bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B)
		Falla operativa de válvulas de paso
Más y/o menos(2)	Más/Menos Presión	Fallo de las válvulas de ingreso bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B)
		Falla mecánica de bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B) (TIG-P-230)
		Fallo indicadores de presión PI (TIG-V-130) (TIG-V-110)
	Más / Menos flujo	Fallo de la válvula de control LCV aguas abajo de los separadores (TIG-V-130) (TIG-V-110)
		Mala operación de válvula de descarga de los tanques (TIG-T-150) (TIG-T-170)
Mayor que o así como (3)	Flujo/Presión	Fallo-atascamiento válvula de control FWKO (TIG-V-130)
		Fallo en la válvula de descarga (TIG-T-140) (TIG-T-150) (TIG-T-170)
		Fallo de válvulas de seguridad PSV (TIG-T-150) (TIG-T-170)

PALABRA GUÍA DEL ESTUDIO DEL NODO F1CD.



Menor que o parte de (4)	Flujo	Falla de operación de drenajes de separadores (TIG-V-130) (TIG-V-110).
		Filtros sucios.
		Fallo operativo en válvula ingreso al tanque y bombas de transferencia.
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo (fallo en válvula check)
		Giro Invertido bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B) (TIG-P-220)
De otra forma (6)	Parada	Paro programado.
		Paro emergente.
	No arranque	Falla sistema eléctrico.
		Problemas mecánicos bombas.
	Falta de energía eléctrica	Falla turbinas y/o generadores.
	Mantenimiento	Paro emergente.
		Paro programado.
	Contaminación de producto	Fallo en la válvula actuada aguas abajo del medidor de % BSW (Basic sediments and water).
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones sólidas, líquidas y gaseosas al ambiente.

PALABRA GUÍA DEL ESTUDIO DEL NODO F3DSL



PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F3DSL	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo	Mala operación de las válvulas de paso
		Fallo en válvulas (cerrada o atascada)
		Fallo en bomba (TIG-P-250) (TIG-P-251)
		Taponamiento de filtros tipo “Y”, tipo canasto
	No presión	Fallo de bomba (TIG-P-250) (TIG-P-251)
		Falla operativa
Más y/o menos(2)	Más/Menos presión	Fallo indicadores de presión PI, aguas abajo de la bomba (TIG-P-250)
	Más / Menos flujo	Fallo indicador de flujo FIR, aguas abajo de los filtros Y
		Fallo de la bomba (TIG-P-250)
Mayor que o así como(3)	Flujo/Presión	Falla de operación de válvulas manuales aguas abajo de la bomba (TIG-P-250)
Menor que o parte de (4)	Flujo/Presión	Falla de operación en válvulas al ingreso bomba (TIG-P-250)
		Bajo inventario en el tanque de alimentación (TIG-T-250A/B/C/D/E)
		Fallo de válvulas aguas debajo de los tanques
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo, fallo en válvula check, aguas abajo de los tanques (TIG-T-250A/B/C/D/E)
De otra forma (6)	Parada	Paro programado
		Paro emergente
	No arranque equipos	Falla sistema eléctrico

PALABRA GUÍA DEL ESTUDIO DEL NODO F3DSL



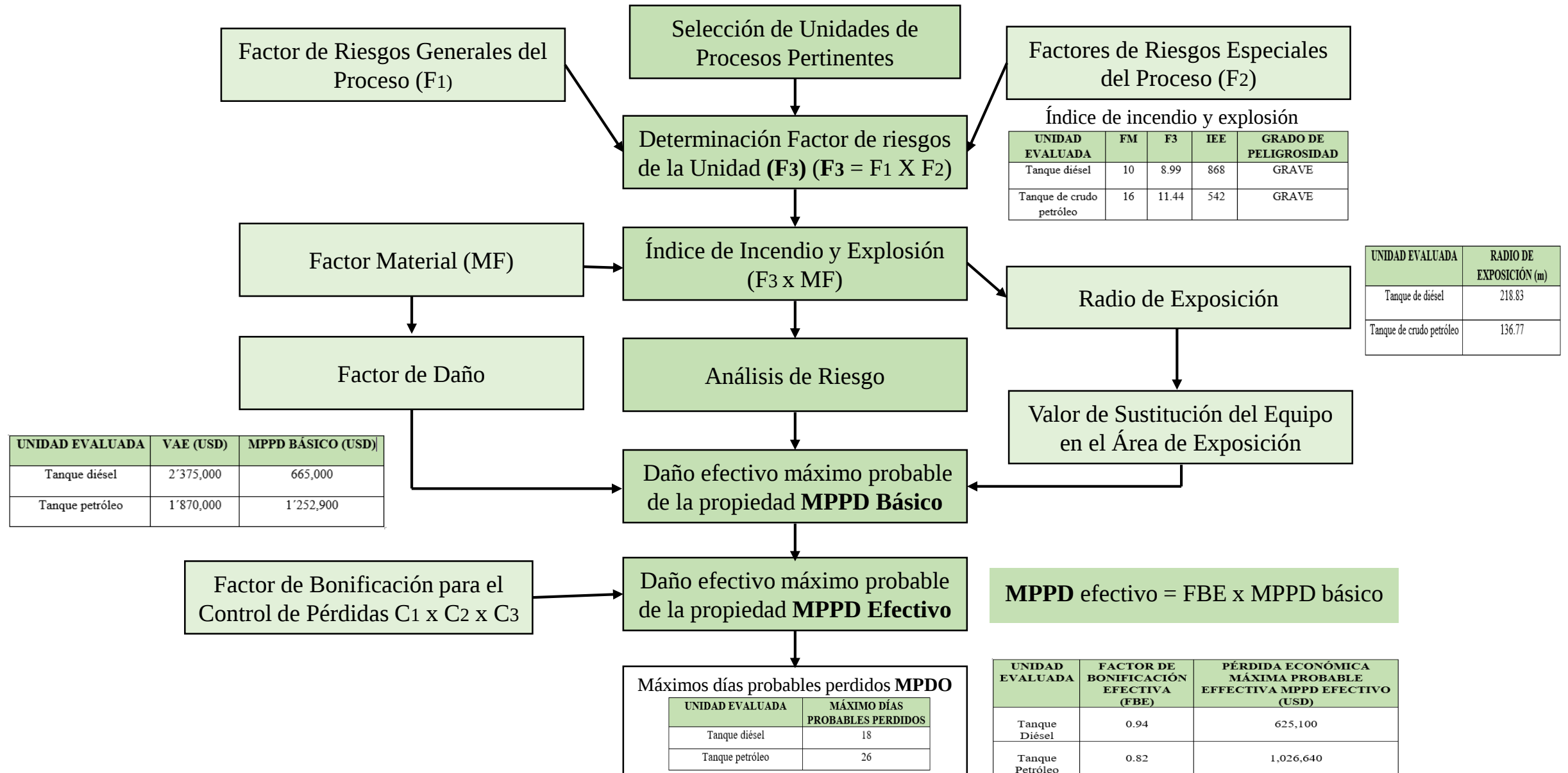
Continuación del NODO

		Problemas mecánicos bombas (TIG-P-250) (TIG-P-251)
	Falta de energía eléctrica	Falla turbinas y/o generadores
	Mantenimiento	Paro emergente
		Paro programado
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones, líquidas y gaseosas al ambiente

Consecuencia del Estudio de los Nodos

CONSECUENCIA
(1) Daño interno del separador, incumplimiento de especificaciones del crudo.
(1) Pérdida tiempo de recepción, pérdida de producción, parada de bombas sumergibles de los pozos productores.
(1) Variación de presión, flujo y sobrecalentamiento de bombas, posible rotura de sellos mecánicos derrame e incendio.
(2) Pérdida de nivel en el lado de interface; arrastre de crudo en fase agua.
(3) Daño de equipos de superficie, aguas debajo de los separadores trifásicos.
(4) Posible reboce de producto en tanques y demora en la entrega de producción; consecuentemente generación de incendio. Paro total emergente de la planta.
(2) Arrastre de agua a fase de crudo.
(5) Daño mecánico en bombas y daño mecánico del tanque.
(6) Pérdidas en la producción y por lo tanto económica por interrupción del proceso productivo en el CPF.
(5) Pérdida en el tiempo de operación y consecuentemente pérdidas económicas
(6) Paro total programado o emergente, pérdida en la producción y por lo tanto Económica.
(6) Riesgo al momento de realizar mantenimiento al equipo como sufrir golpes, quemadura, caídas, etc.
(6) Derrame de crudo al ambiente, aparecimiento de factores de riesgo en el trabajo, alto riesgo de sufrir enfermedades profesionales.

ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN



NTP 326: radiación térmica en incendios de líquidos y gases (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo)

UBICACIÓN DEL RECEPTOR (C)	DOSIS DE IRRADIACIÓN TÉRMICA (E) KW / m ²	
	PRODUCTO EVALUADO DIÉSEL	PRODUCTO EVALUADO PETRÓLEO
Oficinas	0.0261	0.0459

Probabilidad de afectación por irradiación térmica y tiempo de exposición de 5 segundos

UBICACIÓN DEL RECEPTOR		OFICINA	
LUGAR DEL INCENDIO		TANQUE DIÉSEL	TANQUE PETRÓLEO
TIPO DE AFECTACIÓN	Quemaduras mortales con protección	66	0
	Quemaduras mortales sin protección	90	0
	Quemaduras 2do. Grado	98	0
	Quemaduras 1er. Grado	99	45

NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas; evaluación de la sobrepresión (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Escenarios considerados para evaluación de afectaciones por sobrepresión e impulso

UBICACIÓN DELEVENTO	TANQUE	
UBICACIÓN DEL RECEPTOR	Próximo al tanque	Oficina
DISTANCIA EVENTO RECEPTOR (m)	16	60

Consecuencia de la sobrepresión

DAÑOS PERSONALES	SOBREPRESIONES	DAÑOS ESTRUCTURALES	SOBREPRESIÓN
Umbral de rotura de tímpano	35000 Pa (0.35)	Daños graves reparables	0.15 bar

Probabilidad de afectación por exposición a sobrepresión e impactos

UBICACIÓN DEL EVENTO	Tanque	Tanque
DISTANCIA RECEPTOR – EVENTO (m)	16	60
TIPO DE AFECTACIÓN	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN (%)	
Muerte por lesiones pulmonares	95.00	95.00
Rotura de tímpano	99.8	99.8
Muerte por impacto del cuerpo	0	0
Lesiones por impacto del cuerpo	0	0

En base a resultados de los análisis llevados a cabo en el presente estudio, se requiere implantar controles operacionales e ingenieriles con la finalidad de atenuar el nivel de riesgo de incendio y explosión en el área de almacenamiento de productos químicos.

Sistema de enfriamiento

Con la finalidad de atenuar la proporción de daño en el supuesto caso de producirse un incendio y explosión en el área de tanques de almacenamiento tanto de diésel y de crudo petróleo, se precisa implementar un sistema de enfriamiento.

Se plantea la aplicación de agua pulverizada, en calidad de sistema de enfriamiento, tomando en cuenta los recursos hídricos del sector, así como las condiciones en las que podría encontrarse este elemento natural.

NFPA 15: norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contra incendios

Determinación de caudal mínimo de agua

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área expuesta por tanque	m ²	64.00
Número de tanques	U	4.00
Total de superficie expuesta	m ²	256.00
Tasa de aplicación para recipientes verticales (sección 7.4.2.1 NFPA 15)	l/min/ m ²	10.22
Factor de seguridad por desperdicio no previsto (sección A.7.4.1 – NFPA 15)	l/min/ m ²	2.00
Tasa requerida	l/min/ m ²	12.22
Caudal mínimo agua pulverizada	l/min	3,123.20

NFPA 13. Norma la instalación de sistemas rociadores para ocupaciones de alto riesgo (National Fire Protection Association, 2002), determina que para un área extra sin obstrucciones, la ubicación de las boquillas debe ser de 15 pies, protegiendo en general un área de 144 pies cuadrados.



Número de rociadores $64/13 = 5$





NFPA 13, tabla 11.2.3.1.1 establece que la duración mínima del suministro de agua para ocupaciones con Riesgo Extra es de 120 minutos

Requerimiento de caudal de agua para sistema de protección

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal para agua pulverizada	l/min	3,123.20
Caudal para bocatoma (monitor)	l/min	1893
Total requerido	l/min	5,016.20
Cisterna capacidad (Tabla 11.2.3.1.2)	m ³	601.94

Sistema de espuma para extinción

Para el desarrollo del Sistema de espuma para extinción de incendios, empleará la normativa NFPA 11. Norma para espumas de baja, media y alta expansión

Según las características de los tanques de almacenamiento de combustible (diésel) e hidrocarburos (crudo petróleo) determinaron los cálculos para los requerimientos de la solución de espuma AFFF, tomando en cuenta la altura de 10 metros de altura y 27 metros de diámetro.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área expuesta por tanque	m ²	64
Tasa mínima de aplicación (sección 5.2.5.2.2 – NFPA 11)	l/min-m ²	4.1
Tiempo mínimo de descarga (sección 5.2.5.2.2 – NFPA 11)	min	30
Caudal estimado	l/min	262.4
Cantidad de espuma	m ³	7.82

Requerimiento de bombas

La determinación de los requerimientos mínimos de bombas para el sistema propuesto basan en las especificaciones determinadas en la NFPA 20. Norma par la instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios. (National Fire Protection Association, 2010)

Requisitos:

- Las bombas deberá estar clasificadas a presiones superiores a 40 psi (2.7 bar) y estarán ubicadas a distancias mayores de 15,3 m de cualquier exposición al fuego; y, protegidos de los fluidos que se liberen durante los procesos de sofocación y control de incendios.
- Según los requerimientos del sistema de enfriamiento, la capacidad de la bomba deberá ser al menos 9462 L/min, en tanto que para el sistema de protección con espuma, se dispondrán de bombas con capacidades mínimas de 568 y 2839 l/min, para tanques y el cubeto, respectivamente, considerando lo establecido en la sección 4.8.1.2.



Presupuesto estimado para la implementación de controles operacionales

SISTEMA CONTRA INCENDIO				
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (SIN IVA)
1	Suministro de tubería y accesorios	Global	1.00	\$ 48,970.47
2	Instalación de tuberías y accesorios	Global	1.00	\$ 37,056.21
3	Suministro e instalación de bombas	Global	1.00	\$ 53,976.88
4	Suministro e instalación de componentes del sistema (monitor, manguera, boquillas y tanque)	Global	1.00	\$ 64,225.41
5	Provisión e instalación del sistema de control	Global	1.00	\$ 11,740.85
6	Provisión e instalación del sistema de detección y alarma	Global	1.00	\$ 21,998.07
SUBTOTAL SISTEMA CONTRA INCENDIOS				\$ 237,957.89
ADECUACIÓN CUBETO ÁREA DE ALMACENAMIENTO				
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (SIN IVA)
1	Adecuación del cubeto	Global	14	\$ 27,845.74
SUBTOTAL ADECUACIÓN CUBETO				\$ 27,845.74
TOTAL PRESUPUESTO ESTIMADO				\$ 265,813.63

Costo de producción del centro de producción y facilidades

COSTO DE PRODUCCIÓN DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES (C.P.F) - CAMPO MADURO AL DÍA				
PRODUCTO	PRODUCCIÓN DEL CPF (M ³ /H)	PRODUCCIÓN DIARIA (BLS/DÍA)	COSTO ESTABLECIDO POR CONTRATO (\$BLS)	COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DIARIA (USD)
Petróleo	1,069.25	4,200	29.60	123,060.00

CONCLUSIONES

1 De acuerdo al análisis de la desviación de las variables de los procesos productivos en las áreas seleccionadas, en base a la situación actual de las facilidades, condiciones operativas y los principios de la metodología HAZOP utilizada, se determina que las desviaciones de los nudos claramente localizados en el proceso, crudo, gas y diésel, son; la falta de flujo, fallo mecánico en válvulas de control y en bombas de transferencia, fallo en indicadores de temperatura y de presión en el separador trifásico, fallo del sistema eléctrico, entre otros.

2 Conforme a la evaluación del riesgo por incendio y explosión en las áreas seleccionadas para el estudio, en función del emplazamiento de facilidades con las que se dispone en el CPF, se determina que el tanque de almacenamiento de diésel es el área con un considerable nivel de riesgo de incendio, catalogado con un grado de peligrosidad de GRAVE. Los cinco tanques que conforman la unidad de almacenamiento de diésel ubicadas en un emplazamiento de un solo cubeto compartido, que en caso de derrame e incendio de uno de los tanques de diésel, se tendría la probabilidad de dañar el resto de tanques colindantes, definiéndose para esta área un nivel de riesgo GRAVE.

En cuanto a la probabilidad de afectación por irradiación térmica por deflagración líquidos, gases y la sobrepresión como producto de explosiones, se determina que las consecuencias para la población trabajadora de las áreas de estudio, donde se materialicen estos sucesos serían nefasto. El distanciamiento de entre la unidad generadora del incendio y las oficinas reduce la probabilidad de afectación totalmente.

CONCLUSIONES

3

Después de investigar la normativa y exigencias para la operación del sistema contra incendios, se han definido los parámetros de diseño para este tipo de facilidades, empleando los estándares NFPA (National Fire Protección Association) aplicables, determinando un caudal mínimo de agua 3,123.20 l/min, 5 rociadores para cada uno de los contenedores de sustancias químicas, capacidad del reservorio de 601.94 m³ y una cantidad de espuma como parte del sistema de espuma para extinción de 7.82 m³.

4

En base a la revisión teórica, toda la metodología se enfoca a determinar el riesgo en función de los daños; la aplicación de los modelos descritos en el presente estudio, confirman la hipótesis, que el nivel de riesgo de incendio y explosión en las instalaciones del centro de facilidades y producción de crudo es grave, lo cual representa un riesgo potencial de pérdidas materiales para la organización.

5

No se utilizó la Tasa Interna de Retorno (TIR) para calcular la rentabilidad de la inversión en el presente estudio, ya que la misma fórmula se concentra en los flujos netos de efectivo de un proyecto, estudio que no maneja flujos de efectivo al tratarse de producción diaria de barriles de petróleo; motivo por el cual se consideró demostrar su factibilidad en base al sencillo método costo beneficio.

RECOMENDACIONES

Es factible considerar la propuesta técnica del sistema contra incendios para controlar y reducir los daños irreversibles a los trabajadores y afectación a los bienes materiales en el caso de un accidente mayor, motivo por el cual se recomienda implementar el sistema contra incendios complementado con un sistema de enfriamiento mediante agua pulverizada y un sistema de protección con espuma tipo AFFF (Aqueous Film Forming Foam) el cual se utiliza normalmente para fuegos de Hidrocarburos en concentraciones al 3% principalmente sintéticas de baja extensión.

Se recomienda implementar los procedimientos de mantenimiento, actualización de los Diagramas de tuberías e Instrumentación o Piping & Instrumentation Diagrams (P&ID) del centro de producción y facilidades para la producción de crudo, de igual manera se me recomienda mantener la operación de los equipos en los rangos de presión, flujo óptimos en función del diseño emitido por el fabricante de los equipos, entre otras medidas a tomar como resultado del análisis de las consecuencias reflejadas con la aplicación del HAZOP en los procesos operativos.

Gracias por su atención