

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y DEL
COMPORTAMIENTO HUMANO

Trabajo de Titulación para la Maestría en Seguridad y Salud
Ocupacional:

“EVALUACIÓN DE DISTANCIAS DE SEGURIDAD POR
RADIACIÓN TÉRMICA EN TANQUES ATMOSFÉRICOS Y
RECIPIENTES A PRESIÓN DE LAS FACILIDADES
TEMPRANAS DE SERTCPET S.A.”

Realizado por

Ing. Jaime Andrés Maya Quintero

Director del proyecto:

Ing. Alonso Arias B. M. Sc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, 10 de julio de 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, JAIME ANDRÉS MAYA QUINTERO, con cédula de identidad # 171118652-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

JAIME ANDRÉS MAYA QUINTERO

C.C. 171118652-6

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DE DISTANCIAS DE SEGURIDAD POR RADIACIÓN TÉRMICA EN TANQUES ATMOSFÉRICOS Y RECIPIENTES A PRESIÓN DE LAS FACILIDADES TEMPRANAS DE SERTCPET S.A.”

Realizado por

Ing. Jaime Andrés Maya Quintero

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Ha Sido dirigido por el profesor
ING. ALONSO ARIAS B. M. SC.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Ing. Alonso Arias Balarezo M. Sc.

Director del proyecto

DECLARATORIA PROFESORES INFORMANTES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

CARLOS JUAN CANCHIG LOYA

LUIS FERNANDO FREIRE CONSTANTE

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

Carlos Juan Canchig Loya

Luis Fernando Freire Constante

Quito, 10 de julio de 2015

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi Esposa Karina y a mi Hija Andrea por tener paciencia e independencia para darme la tranquilidad de concluir con los nuevos retos que se me han presentado.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores de la maestría de quienes siempre se puede aprender y enseñar.

A la Universidad Internacional SEK, por hacer todos los esfuerzos para facilitar los procesos de formación de profesionales comprometidos con el mejoramiento de los estándares en el trabajo del Ecuador.

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar las distancias de seguridad para tanques atmosféricos y recipientes a presión en las facilidades tempranas de la empresa de servicios petroleros Sertecpet S.A., que permitan reducir el riesgo de afectaciones por radiación térmica, en el caso de presentarse un incendio en algún equipo aledaño.

La implantación y distribución de los tanques atmosféricos y recipientes a presión, obedecen especialmente a criterios de disponibilidad de espacio físico y cumplimiento de normativa nacional, sin que necesariamente se evalúe si las distancias entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión, permiten disminuir los riesgos de afectaciones por radiación térmica.

La evaluación de riesgos por radiación térmica del presente trabajo, se limita a los calculados descritos en el modelo desarrollado en la NTP 326, es decir, al cálculo de radiación térmica recibida por un receptor, ya sean trabajadores, edificios o equipos, contiguos a una fuente de emisión.

Como parte del presente trabajo, también se evalúa si las normativas y regulaciones con las que se diseñan las facilidades tempranas, son suficientes para reducir el riesgo por radiación térmica, se proponen medidas de control que permitan disminuir la probabilidad de que se presenten incendios o fugas de gases que generen afectaciones por radiación térmica.

Se presenta además un compendio de distancias de seguridad recomendadas para equipos principales (tanques atmosféricos y recipientes a presión), que sirvan como guía para la implantación y diseño de futuras facilidades tempranas lo que permitirá disminuir el riesgo por radiación térmica.

Palabras Claves: Radiación Térmica, Facilidades Tempranas, Tanques Atmosféricos, Recipientes a Presión.

ABSTRACT

The present study has the objective to evaluate the safety distances for atmospheric tanks and pressure vessels in the Sertecpet's early production facilities to reduce the risk of radiation damages in the event of a fire in an adjacent equipment.

Sertecpet S.A. is the oil services company, a business lines include the installation and operation of early facilities services; the implantation and distribution of atmospheric tanks and pressure vessels, takes into account especially the criteria of availability of physical space and enforcement of national regulation, without necessarily assessing the distances that keep atmospheric tanks and pressure vessels allow reducing risks of thermal radiation damages.

Risk assessment by thermal radiation of this work is limited to the calculated described in the NTP 326 model, is the calculation of heat radiation received by a receiver, facilities workers, buildings or equipment, adjacent to the heat emission.

As part of this work, analyze if assesses regulations are enough to reduce the thermal radiation risk and propose a controls than reduce the fires causes.

This work presents a compendium of safety distances for major equipment's (atmospheric tanks and pressure vessels) for early production facilities, and it is a guide for the implementation and design of future early facilities which will reduce the thermal radiation risk.

Keywords: Thermal Radiation, Early Facilities, Atmospheric Tanks, Pressure Vessels.

Contenido

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 El problema de investigación	1
1.1.1 Planteamiento de Investigación.....	1
1.1.1.1 Diagnóstico del problema.....	1
1.1.1.2 Pronóstico.....	2
1.1.1.3 Control del Pronóstico.....	2
1.1.2 Objetivo general	2
1.1.3 Objetivos específicos.....	2
1.1.4 Justificaciones	3
1.2 Marco Teórico	5
1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema.....	9
1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica.....	10
1.2.3 Hipótesis.....	10
1.2.4 Identificación y Caracterización de Variables.....	10
1.2.5 Marco Conceptual	11
CAPÍTULO II MÉTODO	17
2.1 Tipo de estudio	17
2.2 Modalidad de investigación.....	17
2.3 Método	17
2.4 Población y Muestra.....	18
2.5 Selección de instrumentos de investigación	18
CAPÍTULO III RESULTADOS	19
Cálculo de la intensidad de irradiación recibida.....	19
Cálculo del coeficiente de transmisión atmosférica (d)	20

Cálculo del Factor geométrico de visión, de vista o de forma (F).....	21
Intensidad media de radiación de la llama (d).....	23
Factores Climáticos del Oriente Ecuatoriano, cercano a las facilidades tempranas.....	24
3.1 Presentación y análisis de resultados.....	27
Facilidades Analizadas.....	27
a) Facilidad Analizada Facilidad de Producción 1	28
a1) Enfoque Afección a equipos contiguos	32
a2) Enfoque Afección a personal.....	33
b) Facilidad Analizada Facilidad de Producción 2	36
b1) Enfoque Afección a equipos contiguos	39
b2) Enfoque Afección a personal.....	39
c) Facilidad Analizada Facilidad de Producción 3	41
c1) Enfoque Afección a equipos contiguos	44
c2) Enfoque Afección a personal.....	45
d) Facilidad de Inyección 1.....	46
d1) Enfoque Afección a equipos contiguos	47
d2) Enfoque Afección a personal.....	47
e) Facilidad de Inyección 2.....	49
e1) Enfoque Afección a equipos contiguos	50
e2) Enfoque Afección a personal.....	50
f) Facilidad de Inyección 3.....	52
f1) Enfoque Afección a equipos contiguos	53
f2) Enfoque Afección a personal.....	53
3.1.1 Análisis de resultados.....	55
3.1.2 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 1	55
3.1.3 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 2	57
3.1.4 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 3	58
3.1.5 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 1	60
3.1.6 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 2	61
3.1.7 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 3	62
3.2 Aplicación Práctica.....	63
3.2.1 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para crudo 500 BBL.....	65
3.2.2 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para agua oleosa 500 BBL	66
3.2.3 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para diesel 500 BBL	67

3.2.4	Radiación térmica de un Tanque atmosférico para diesel 200 BBL	68
3.2.5	Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico 20000 BDFD.....	69
3.2.6	Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico 10000 BDFD.....	70
3.2.7	Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico MTU 10000 BDFD.....	71
3.2.8	Radiación térmica de una Bota de Gas 500000 SCFD y 4500 BFPD	72
	Radiación térmica de un Scrubber 500000 SCFD.....	73
	CAPÍTULO IV DISCUSIÓN.....	78
4.1	Conclusiones.	78
4.2	Recomendaciones.....	79
	Bibliografía.....	83
	ANEXOS.....	86

Índice de Tablas

Tabla 1 Fatalidades la Mesa de Estadísticas laborales del Departamento de Trabajo de US, estadísticas 2004 - 2008.....	3
Tabla 2 Tipo de contacto que ocasionaron fatalidades en la industrial del Petróleo y Gas en US 2004 - 2008.....	4
Tabla 3 Máxima radiación tolerable de radiación térmica Según NTP 326.....	6
Tabla 4 Máximo Tolerable según la Guía Zonas de Planificación para Accidentes Graves de Tipo Térmico	6
Tabla 5 Máximo Tolerable según Real Decreto 1196 - España.....	7
Tabla 6 Distancias según Normativa, Legislación o Recomendaciones técnicas	7
Tabla 7 Fuentes de ignición de Incendios Industriales.....	9
Tabla 8 Presión de vapor a diferentes temperaturas.....	20
Tabla 9 Factor de visión horizontal.....	21
Tabla 10 Factor de visión vertical	21
Tabla 11 Factor de visión máximo	21
Tabla 12 Intensidad media de radiación de productos	23
Tabla 13 Datos meteorológicos Estación El Coca Aeropuerto: 840990 (SECP) Latitud: -0.45 Longitud: -76.95 Altitud: 300 (Estación Coca Aeropuerto, 2015).....	25
Tabla 14 Facilidad de Producción 1 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos	28
Tabla 15 Facilidad de Producción 1 Afección a equipos contiguos.....	32
Tabla 16 Facilidad de Producción 1 Afección al personal o edificaciones contiguas.....	34
Tabla 17 Facilidad de Producción 2, Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos	36
Tabla 18 Facilidad de Producción 2 Afección a equipos contiguos.....	39
Tabla 19 Facilidad de Producción 2 Afección al personal o edificaciones contiguas.....	40
Tabla 20 Facilidad de Producción 3 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos	41
Tabla 21 Facilidad de Producción 3 Afección a equipos contiguos.....	44
Tabla 22 Facilidad de Producción 3 Afección al personal o edificaciones contiguas.....	45

Tabla 23	Facilidad de Inyección 1 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos.....	46
Tabla 24	Facilidad de Inyección 1 Afección a equipos contiguos	47
Tabla 25	Facilidad de Inyección 1 Afección al personal o edificaciones contiguas	48
Tabla 26	Facilidad de Inyección 2 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos.....	49
Tabla 27	Facilidad de Inyección 2 Afección a equipos contiguos	50
Tabla 28	Facilidad de Inyección 2 Afección al personal o edificaciones contiguas	50
Tabla 29	Facilidad de Inyección 3 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos.....	52
Tabla 30	Facilidad de Inyección 3 Afección a equipos contiguos	53
Tabla 31	Facilidad de Inyección 3 Afección al personal o edificaciones contiguas	54
Tabla 32	Facilidad de Producción 1 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica...	55
Tabla 33	Facilidad de Producción 2 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica...	58
Tabla 34	Facilidad de Producción 3 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica...	59
Tabla 35	Facilidad de Inyección 1 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica	60
Tabla 36	Facilidad de Inyección 2 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica	61
Tabla 37	Facilidad de Inyección 3 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica	62
Tabla 38	Sensibilidad del modelo con relación a la Humedad y Temperatura media máxima y mínima en el Oriente Ecuatoriano Modelación matemática por Radiación Térmica calculada a 1 m	63
Tabla 39	Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para petróleo 500 BBL	65
Tabla 40	Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para agua oleosa 500 BBL.....	66
Tabla 41	Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para diesel 500 BBL	67
Tabla 42	Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para diesel 200 BBL	68
Tabla 43	Tabla de radiación térmica – Separador Bifásico o Trifásico 20000 BDFD.....	69
Tabla 44	Tabla de radiación térmica – Separador Bifásico o Trifásico 10000 BDFD.....	70
Tabla 45	Tabla de radiación térmica – Separador MTU 10000 BDFD.....	71
Tabla 46	Tabla de radiación térmica – Bota de Gas 500000 SCFD y 4500 BFPD.....	72
Tabla 47	Tabla de radiación térmica – Scrubber 500000 SCFD.....	73
Tabla 48	Comparativa de distancias contempladas normativa nacional y Recomendaciones internacionales vs radios de la radiación térmica - enfoque de protección a Equipos contiguos.....	74
Tabla 49	Comparativa de distancias contempladas normativa nacional y Recomendaciones internacionales vs radios de la radiación térmica - enfoque de protección por afectación al Personal .	75
Tabla 50	Normativa o recomendaciones cuyas distancias disminuyen el riesgo por radiación.	76

Índice de Ilustraciones y gráficos

Ilustración 1 Gráfica Tipo de contacto que ocasionaron Fatalidades en la industria del Petróleo y Gas en US Años 2004 - 2008	4
Ilustración 2 Variables.....	11
Ilustración 3 Tanque Atmosférico.....	12
Ilustración 4 Separador Trifásico o Bifásico.....	13
Ilustración 5 Separador MTU.....	13
Ilustración 6 Scrubber	14
Ilustración 7 Bota de Gas	14
Ilustración 8 Relaciones geométricas de la llama.....	22
Ilustración 9 Estación Coca - Aeropuerto Temperatura media °C	26
Ilustración 10 Estación Coca - Aeropuerto Humedad Relativa %	27
Ilustración 11 Facilidad de Producción 1 diagrama de procesos de fluidos.....	31
Ilustración 12 Facilidad de Producción 2 diagrama de procesos de fluidos.....	38
Ilustración 13 Facilidad de Producción 3 diagrama de procesos de fluidos.....	43

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Intensidad de radiación a una distancia determinada	19
Ecuación 2 Coeficiente de transmisión atmosférica.....	20
Ecuación 3 Factor de visión máximo	22
Ecuación 4 para el cálculo de a altura de la llama.....	22
Ecuación 5 para el cálculo de m caudal de producto evaporado	23

Índice de Anexos

Anexos A	Árbol de Problemas “Evaluación de distancias de seguridad por radiación térmica en tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertcpet S.A.”	87
Anexos B	Árbol de Objetivos “Evaluación de distancias de seguridad por radiación térmica en tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertcpet S.A.”	88
Anexos C	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 1	89
Anexos D	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 2	90
Anexos E	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 3.....	91
Anexos F	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección 1	92
Anexos G	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección 2.....	93
Anexos H	Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección.....	94

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 El problema de investigación

1.1.1 Planteamiento de Investigación

¿Las distancias de implantación de los tanques atmosféricos y recipientes a presión en las facilidades tempranas de Sertecpet S.A., son suficientes como para reducir el riesgo de afectaciones por radiación térmica?

- 1 ¿Las Facilidades Tempranas de Sertecpet S.A. son vulnerables a las afectaciones por radiación térmica o dispersión de nube inflamable?
- 2 ¿La Implantación y distribución de equipos en facilidades tempranas de Sertecpet S.A. obedecen únicamente a disponibilidad de espacio físico?
- 3 ¿Las facilidades tempranas que toman en cuenta aspectos de distancias de seguridad entre equipos que permita reducir el riesgo de afectaciones por radiación térmica?

1.1.1.1 Diagnóstico del problema.

En el Ecuador, los ingresos por la exportación de petróleo y sus derivados representa el 3,96% del PIB, y el 0,65% del por la venta anticipada de petróleo, pero representa al 8,95% del presupuesto General del Estado. (Luis Luna Osorio, 2013)

Dada la importancia económica que representa esta actividad, para el Ecuador, en el país se han establecido o formado varias empresas que prestan servicios especializados que demandan tecnología, recursos humanos y equipamientos especializados.

La explotación hidrocarburífera consta de varias fases: exploración, producción y desarrollo, almacenamiento y transporte, refinación, comercialización y venta de petróleo y sus derivados; dentro de la fase de producción y desarrollo, están las actividades de deshidratación y desgasificación del crudo, quema del gas asociado e inyección del agua asociada, para lo cual se instalan facilidades tempranas que permiten procesar el crudo e inyectar agua en instalaciones de rápido armado y desamado, lo que permite poner en producción pozos o campo de manera prematura, tomando este proceso semanas o meses, en vez de años como es el caso de las facilidades definitivas.

En este contexto, Sertecpet S.A. es la empresa de servicios petroleros con capital 100% Ecuatoriano con presencia en más de 14 países ubicados en América del Norte y Sur, África y Medio Oriente) y con sedes directas en Ecuador, México, Colombia y Perú (Sertecpet S.A., 2014); dentro de su cartera de servicios constan, la instalación y operación de facilidades tempranas que permiten la producción prematura de campos petroleros.

La implantación y distribución de los tanques atmosféricos y recipientes a presión en las facilidades tempranas, obedecen especialmente a criterios de cumplimiento de la normativa nacional y a la disponibilidad de espacio físico, sin que necesariamente evalúe si las distancias que mantienen entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión permiten disminuir el riesgo de afectaciones por radiación térmica.

El presente trabajo se limita al cálculo y evaluación de riesgos por radiación térmica en recipientes a presión y tanques atmosféricos de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. en el Oriente Ecuatoriano

1.1.1.2 Pronóstico.

Las Facilidades Tempranas de Sertecpet S.A. son vulnerables a las afectaciones por radiación térmica; la implantación y distribución de equipos en facilidades tempranas de Sertecpet S.A. obedecen principalmente a la disponibilidad de espacio físico, sin tomar en cuenta aspectos de distancias de seguridad entre equipos que permita reducir el riesgo de afectaciones por radiación térmica.

1.1.1.3 Control del Pronóstico

Mediante la simulación matemática de radiación térmica por fuego a diferentes distancias, llegará a determinar si la implantación de los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. permite reducir el riesgo de afectaciones por la presencia de un incendio en un equipo aledaño y la radiación térmica que este emitiría.

1.1.2 Objetivo general

Evaluar las distancias de seguridad para tanques atmosféricos y recipientes a presión en las facilidades tempranas para Sertecpet S.A., que permita reducir las afectaciones por radiación.

1.1.3 Objetivos específicos

1. Evaluar si la separación entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A., reduce el riesgo por radiación térmica.
2. Evaluar si las normativas y regulaciones nacionales e Internacionales con las que se diseñan las facilidades tempranas, son suficientes para reducir el riesgo por radiación térmica.

3. Proponer medidas de control para disminuir la probabilidad de que se presenten incendios o fugas de gases que generen afectaciones por radiación térmica.
4. Elaborar un compendio de equipos principales (tanques atmosféricos y recipientes a presión) para facilidades tempranas y las distancias de seguridad recomendadas que sirva como guía para la implantación y diseño de futuras facilidades tempranas que permita disminuir el riesgo por radiación térmica.

1.1.4 Justificaciones

En la industria hidrocarburífera se manejan fluidos que por su naturaleza son inflamables o combustibles, ya sean en fase gaseosa o líquida, por lo que, procesamiento en las facilidades tempranas conlleva un riesgo de incendios y explosión, que en el caso de presentarse en uno de los tanques atmosféricos y recipientes a presión, podría llevar a la afectación de otros equipos aledaños por radiación térmica.

En las facilidades tempranas se dividen en dos grupos principales:

- de producción, en las que se des-gasifica y se deshidrata el crudo, se almacena el petróleo, se quema el gas asociado y se bombea el agua y el petróleo por tuberías separadas
- de inyección, en las que se almacena agua y se inyecta el agua asociada a la producción

El fuego y sus afectaciones se constituyen en algunos de los riesgos que está presentes de manera permanente en las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador y el mundo; según el informe de Lesiones Ocupacionales y No ocupacionales en informe de Abril 2010 de la Mesa de Estadísticas laborales del Departamento de Trabajo de Estados Unidos, entre los años 2004 y 2008, existieron un promedio de 113 fatalidades en la industria relacionada con la extracción de petróleo y gas, de las cuales 14 en promedio se produjeron durante incendios y/o explosiones; es decir cerca de un 10% de las fatalidades presentadas en el ámbito laboral de para la industria petrolera, se atribuye a esta causa. (Mesa de Estadísticas laborales (BLS) del Departamento de Trabajo de Estados Unidos, Abril 2010)

Tabla 1 Fatalidades la Mesa de Estadísticas laborales del Departamento de Trabajo de US, estadísticas 2004 - 2008

Tipo de Industria	2004	2005	2006	2007	2008
Otras industria minera o de extracción	54	61	67	61	56
Petróleo y Gas	98	98	125	122	120

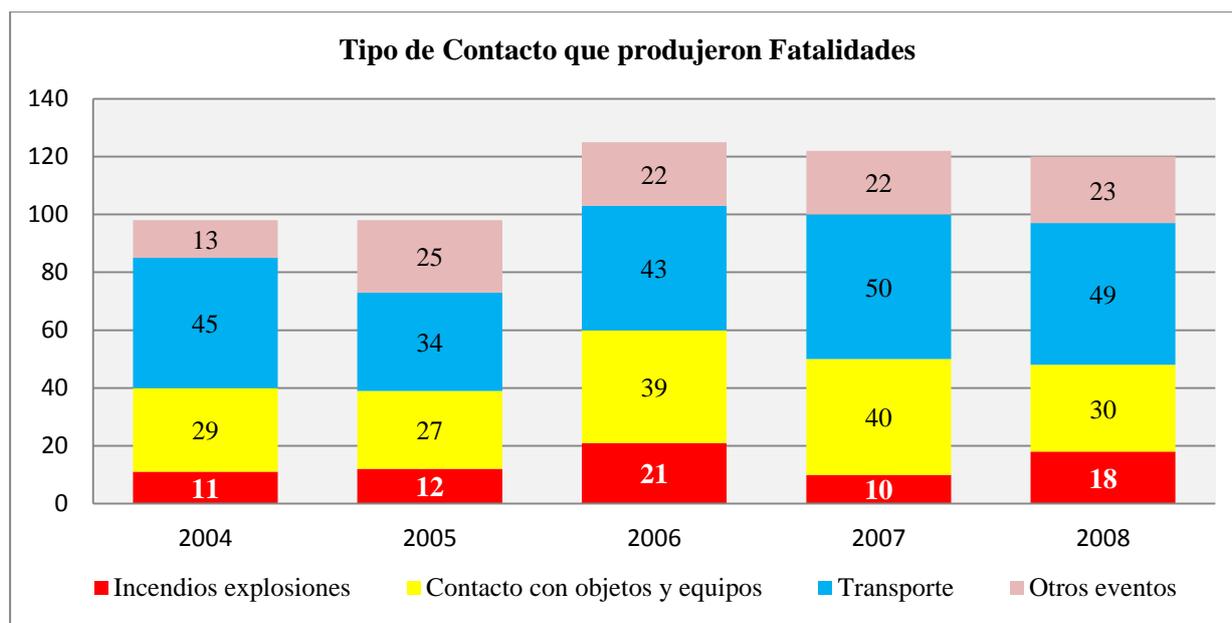
Fuente: BLS

Tabla 2 Tipo de contacto que ocasionaron fatalidades en la industrial del Petróleo y Gas en US 2004 - 2008

Tipo de Contacto	2004	2005	2006	2007	2008
Incendios explosiones	11	12	21	10	18
Contacto con objetos y equipos	29	27	39	40	30
Transporte	45	34	43	50	49
Otros eventos	13	25	22	22	23
Total	98	98	125	122	120

Fuente: BLS

Ilustración 1 Gráfica Tipo de contacto que ocasionaron Fatalidades en la industria del Petróleo y Gas en US Años 2004 - 2008



En las facilidades tempranas debido a su capacidad operativa, tamaño y costo de servicio, en forma general no cuentan con sistemas fijos de combate de incendios, esta condición no es exclusiva de Sertecpet S.A., se presenta frecuentemente en forma general en la industria hidrocarburífera Ecuatoriana, por lo que en el caso de un incendio de tanques atmosféricos y recipientes a presión, no contarían con los medios para enfriar los equipos aledaños al que está afectado por el fuego, siendo las distancias de seguridad, una de las maneras más efectivas de reducir los riesgos por radiación térmica.

Es importante mencionar que es fundamental la identificación de los efectos de la radiación térmica que podría afectar a los trabajadores; usualmente, las áreas de trabajo administrativo (camper-oficinas) de los operadores y técnicos de las facilidades, se encuentran en las mismas

locaciones en las que están implantados los tanques atmosféricos y recipientes a presión; esto, en concordancia con la responsabilidad de la empresa para con sus trabajadores.

Desde el punto de vista de regulación y de normas nacionales e internacionales, la empresa debe mantener un sistema de prevención de incendios y un plan de respuesta a emergencias, y hacer todos los esfuerzos para reducir la probabilidad de incendios en las instalaciones y/o formas de mitigar su propagación; en este sentido es necesario identificar las medidas complementarias como las distancias de seguridad de tal manera que se reduzcan los riesgos de daños por radiación térmica.

Este trabajo de investigación se lo realizará con el objetivo evaluar si las distancias que se implantan de los tanques atmosféricos y recipientes a presión en las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. permitan disminuir el riesgo de afectación por radiación térmica tanto para los trabajadores, tanques atmosféricos y recipientes a presión.

La propuesta posterior es presentar compendio de tanques atmosféricos y recipientes a presión para facilidades tempranas, que sirva como guía para para la implantación en el campo, considerando las distancias de seguridad, que permitan disminuir los riesgos de afectación por radiación térmica.

1.2 Marco Teórico

El calor es considerado como energía interna en tránsito, que fluye de una parte de un sistema o de un sistema a otro, en virtud únicamente de la diferencia de temperatura (Zemansky, 1981); el calor tiene diversas flujos entre sistemas, éstas son:

- conducción
- radiación
- convección

La radiación térmica es una manera de conducción del calor mediante ondas electromagnéticas; los sólidos o líquidos calientes emite radiación térmica que está en función de su temperatura, esta radiación térmica puede ser percibida especialmente cuando se presentan fenómenos exotérmicos, como lo son reacciones químicas violentas o combustión de sólidos o líquidos combustibles o inflamables.

El cuerpo emisor puede ser por sí mismo un manantial de energía, sin embargo, sin un suministro de energía que actúe directamente sobre el sólido o líquido, la única manera de recibir energía es por absorción de radiación procedente de los cuerpos de su entorno. (Zemansky, 1981)

Para el presente trabajo se considerará que la radiación térmica será en recinto abierto, es decir que no existe confinamiento de la llama o incendio.

La propiedad peligrosa derivada de los incendios en recintos abiertos es la radiación térmica emitida. Sus efectos sobre los seres vivos y los materiales son diversos y dependen de variados factores. (Departamento de Ingeniería Química Universidad de Murcia, 2002)

El efecto principal que la radiación térmica produce en los seres vivos y particularmente en el hombre, se manifiesta en quemaduras de distinto nivel y gravedad, que dependerán, entre otros factores, del tipo de incendio involucrado. (Departamento de Ingeniería Química Universidad de Murcia, 2002)

La radiación térmica puede afectar de diferente manera a los materiales, ya sea que puedan genera combustión de material que recibe la radiación o por que el cambio de temperatura afecte sus características estructurales, debilitándolos; se considera los siguientes materiales críticos: (Departamento de Ingeniería Química Universidad de Murcia, 2002)

- Madera, puesto que pueden convertirse en material combustible.
- Materiales sintéticos, pueden convertirse en material combustible.
- Vidrio, pierde rigidez estructural con falla de tipo frágil.
- Acero, pierde rigidez estructural y capacidad portante.

En la literatura existen varios criterios relacionados máxima exposición a radiación térmica, a continuación se presentan los valores que con los que se comparará los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Tabla 3 Máxima radiación tolerable de radiación térmica Según NTP 326

Descripción		kW/m ²
Materiales	Pared de ladrillos	400
	Hormigón Armado	200
	Cemento	60
	Acero	40
	Madera	10
Personas	Durante 20 s sin quemaduras	6,5
	Bomberos y personas protegidas	4,7
	Personas desprotegidas	4,0

Fuente: NTP 326

Tabla 4 Máximo Tolerable según la Guía Zonas de Planificación para Accidentes Graves de Tipo Térmico

Descripción		kW/m ²
Materiales	Incendios secundarios en edificaciones contiguas	12.6
	Para tanques de la almacenamiento de productos inflamables	37.5
Personas	Exposición de personas sin tener consecuencias	1.7

Descripción		kW/m ²
	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras de primer grado)	4.7

Fuente: Departamento de Ingeniería Química Universidad de Murcia

Tabla 5 Máximo Tolerable según Real Decreto 1196 - España

Descripción		kW/m ²
Materiales	Equipos sin protección, para evitar efecto dominó	8.0

Fuente: Real Decreto 1196

También es importante considerar como punto de referencia las separaciones mínimas entre tanques o recipientes a presión, de acuerdo a los requerimientos o exigencias descritas en la legislación Ecuatoriana, las recomendaciones emitidas por los diferentes organismos técnicos internacionales o en normativa internacional; e identificar si las distancias descritas en éstos documentos son suficientes para la protección por radiación térmica para tanques atmosféricos o recipientes a presión; en la siguiente tabla se presentan las distancias mínimas según varios organismos.

Tabla 6 Distancias según Normativa, Legislación o Recomendaciones técnicas

Norma / Recomendación	Tipo de Equipo	Distancia	Referencia
Norma	Tanque Atmosférico	¼ de la suma de sus diámetros	(RAOHE Ministerio de Energía y Minas, 2001)
Norma Petroecuador	Tanque techo fijo Atmosférico < 46 m	1/6 de la suma de sus diámetros, no menor a 1.5 m	(Norma Petroecuador SI-006 Distancia Mínimas de Seguridad que deben contemplarse en instalaciones petroleras, 2002)
	Tanque flotante Atmosférico > 46 m	¼ de la suma de sus diámetros	
	Tanque techo fijo 285 a 720 bbl a edificio de planta	2 m	
	Tanque techo fijo 720 a 1200 bbl a edificio de planta	4 m	

Norma / Recomendación	Tipo de Equipo	Distancia	Referencia
	Tanque techo fijo 1200 a 2380 bbl a edificio de planta	6 m	
Recomendación	Tanque Atmosférico	$\frac{1}{6}$ de la suma de sus diámetros	(PEMEX Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios , 2013)
	Recipiente a presión	2.5 m	
	Control Room a Tanques de almacenamiento	76 m	
	Control Room a Unidades de riesgo moderado	30 m	
Recomendación	Tanque Atmosférico	$\frac{1}{2}$ diámetro más grande	(Industrial Risk Insurers IRI, 1991)
	Recipiente a presión	15 m	
	Control Room a Tanques de almacenamiento	76 m	
	Control Room a Unidades de riesgo moderado	30 m	
Norma	Tanque Atmosférico	$\frac{1}{6}$ de la suma de sus diámetros, no menor a 1.5 m	(Perú, Ministerio de Energía y Minas - Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, 1993)
Norma	Entre recipientes de subclase A1.	$\frac{1}{2}$ de la suma de los diámetros de los recipientes.	(Real Decreto 379/2001 - Ministerio de Ciencia y Tecnología Reglamento de almacenamiento de productos químicos, 2001)
	Entre recipientes a presión para productos de la subclase A2.	$\frac{1}{4}$ de la suma de los diámetros mínimo de 2 metros.	
	Entre recipientes a presión para productos de la subclase B, C o D	$\frac{1}{2}$ diámetro más grande, no menor a 1,5 m.	

Fuente: Andrés Maya

1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema

En la industria hidrocarburífera mundial, incendios y presencia de concentraciones de gases inflamables, constituyen dos de los mayores riesgos a los que están expuestas las instalaciones, no solo para el equipo que está bajo la acción directa del incendio, también los equipos aledaños, así como para el personal que labora en las instalaciones.

Son miles los compuestos químicos que constituyen el petróleo, y, entre muchas otras propiedades, estos compuestos se diferencian por su volatilidad (dependiendo de la temperatura de ebullición). Al calentarse el petróleo, se evaporan preferentemente los compuestos ligeros (de estructura química sencilla y bajo peso molecular), de tal manera que conforme aumenta la temperatura, los componentes más pesados van incorporándose al vapor. (Instituto Mexicano del Petróleo, 2014); son estos compuestos volátiles evaporados los que en un determinado momento pueden llegar a una temperatura de inflamabilidad, provocando incendios secundarios.

En un incendio, la radiación térmica constituye en una de las consecuencias más dañinas a los equipos aledaños, de allí la necesidad de evaluar la intensidad de radiación térmica sobre los tanques atmosféricos y recipientes a presión cercanos, en función de las distancias de seguridad (Sierra, NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases, 1991)

Según algunas estadísticas, aproximadamente el 90% de los incendios industriales son causados por 11 fuentes principales de ignición (El Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud ISTAS es una fundación técnico-sindical de Comisiones Obreras CC.OO.):

Tabla 7 Fuentes de ignición de Incendios Industriales

Fuente de Ignición	Porcentaje sobre el Total
Incendios eléctricos	19%
Roces y fricciones	14%
Chispas mecánicas	12%
Fumar y fósforos	8%
Ignición espontánea	7%
Superficies calientes	7%
Chispas de combustión	6%
Llamas abiertas	5%
Soldadura y corte	4%
Materiales recalentados	3%
electricidad estática	2%

Fuente: ISTAS

De los datos antes presentados, se puede observar que el 7% corresponden a superficies calientes y el 3% corresponde a materiales recalentados, es decir, que cerca de un 10 % corresponden a incendios por superficie caliente, una de sus fuentes principales es la radiación

de calor desde una fuente emisora, que para el presente trabajo se considerará el incendio en un tanque o recipiente a presión.

La radiación térmica de una fuente emisora (incendio en tanque atmosférico o recipiente presurizado), puede generar un efecto dominó en equipos o instalaciones que se encuentren cercanas cuanto el fluido que éstos contengan lleguen a una temperatura de inflamabilidad, generándose incendios secundarios.

Desde el año 1944 hasta 1994, se han estudiado 41 accidentes comprobándose este efecto, de éstos, el 65% se han producido en los últimos 20 años (Grupo Universitario de Investigación Analítica de Riesgos (GUIAR) Departamento de Química Analítica de la Universidad de Zaragoza, 2015).

Se han identificado 7 tipos principales de instalaciones más afectadas por el efecto dominó:

- Tanques de almacenamiento bajo presión
- Tanques de almacenamiento atmosféricos o criogenizados
- Equipos de proceso
- Redes de tuberías
- Pequeños establecimientos
- Áreas de almacenamientos de productos sólidos
- Áreas de carga y descarga.

El presente trabajo se limita al análisis de los riesgos producidos por radiación térmica en tanques atmosféricos y equipos de proceso.

1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica.

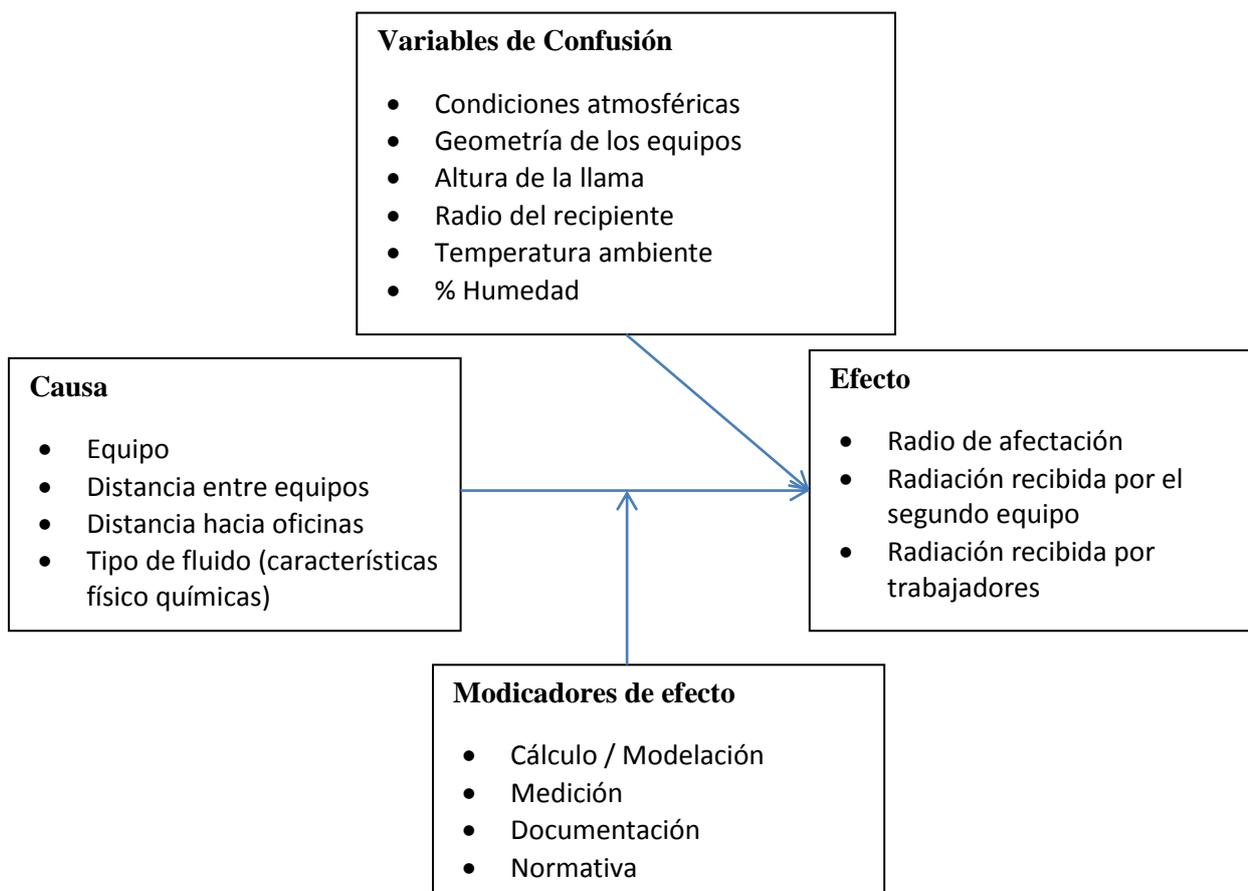
El presente trabajo se limita al cálculo y evaluación de riesgos por radiación térmica en recipientes a presión y tanques atmosféricos de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. calculados con el modelo descrito en la NTP 326, que permitirá evaluar la radiación térmica emitida por la fuente (incendio) y el nivel de radiación recibida por un receptor, ya sean trabajadores, edificaciones contiguas, tanques atmosféricos o recipientes a presión.

1.2.3 Hipótesis

Las distancias que existen entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. son suficientes reducir el riesgo por radiación térmica.

1.2.4 Identificación y Caracterización de Variables

Ilustración 2 Variables



1.2.5 Marco Conceptual

Facilidad Temprana: se denomina a una instalación petrolera que permite el procesamiento del crudo e incorporar a la producción un campo o locación de manera prematura; entre las facilidades tempranas con las que Sertecpet S.A. cuenta son las siguientes:

- Facilidad de producción, en las que se des-gasifica y se deshidrata el crudo, se almacena el petróleo, se quema el gas asociado y se bombea el agua y el petróleo por tuberías separadas.
- Facilidad de inyección, en las que se almacena agua y se inyecta el agua asociada a la producción

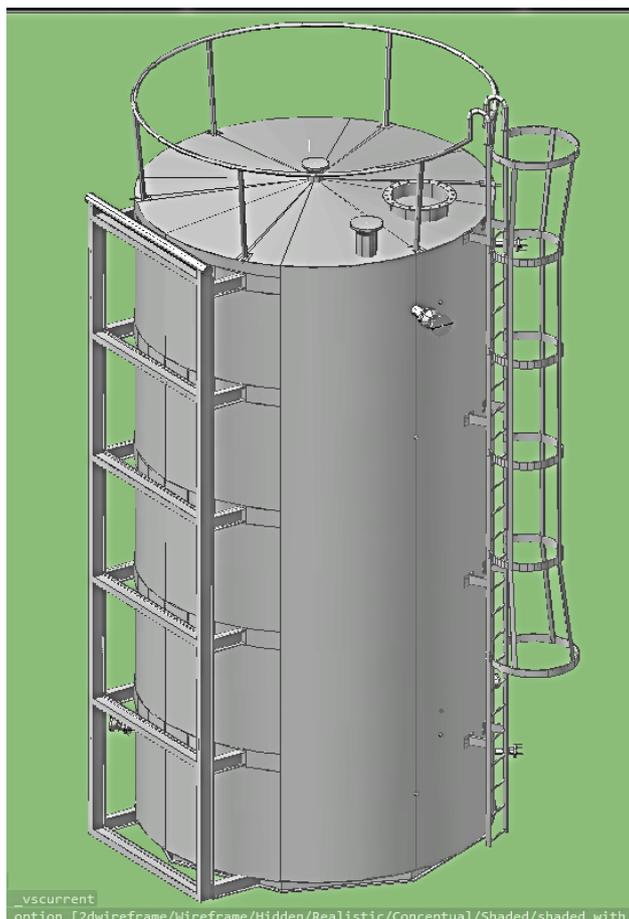
Tanque Atmosférico: Recipiente de cuerpo cilíndrico diseñado para almacenar combustibles y se clasifica en dos tipos (Manual de Operación de la Franquicia PEMEX, 2008):

- Tanque de almacenamiento de pared sencilla, formado por un solo contenedor.
- Tanque de almacenamiento de doble pared, formado por dos contenedores (primario en el interior y secundario en el exterior).

Los tanques de almacenamiento, en las facilidades tempranas son utilizadas para almacenamiento de crudo, petróleo, combustible o agua, que se encuentra a baja presión

interna ligeramente superior a la atmosférica, están diseñados para soportar una presión interior superior a 0.035 kg/cm^2 pero no superior a 1.05 kg/cm^2 (Petroecuador, 2004); el control de la presión interna se lo hace por medio de una válvula de presión y vacío que permite la liberación de la presión interna que es ligeramente superior a la atmósfera, por lo que la presión al interior del tanque estará entre 0.03 atm y 1.02 atm.

Ilustración 3 Tanque Atmosférico



Recipientes a presión: Un recipiente diseñado para soportar la presión interna o externa. Esta presión puede ser impuesta por una fuente externa, por la aplicación de calor desde una fuente directa o indirecta, o por cualquier combinación de los mismos (American Petroleum Institute API-510, 2006). Corresponde a los equipos de procesamiento y bombeo de fluidos que se encuentran a presiones superiores a la atmósfera, estos son:

- Separador trifásico, equipo que separa gas, petróleo y agua de formación.
- Separador bifásico, equipo que separa la fase gaseosa y fase líquida (petróleo, agua) del crudo.
- Separador MTU (Movil Testing Unit); separador bifásico o trifásico, que tiene acoplado una bomba de desplazamiento positivo de triplex o quintuplex (3 o 5 pistones de presión), este equipos es comúnmente utilizado para la evaluación de pozos, sin embargo, se lo puede utilizar únicamente como unidad de bombeo, asilado el separador mediante válvulas

Ilustración 4 Separador Trifásico o Bifásico

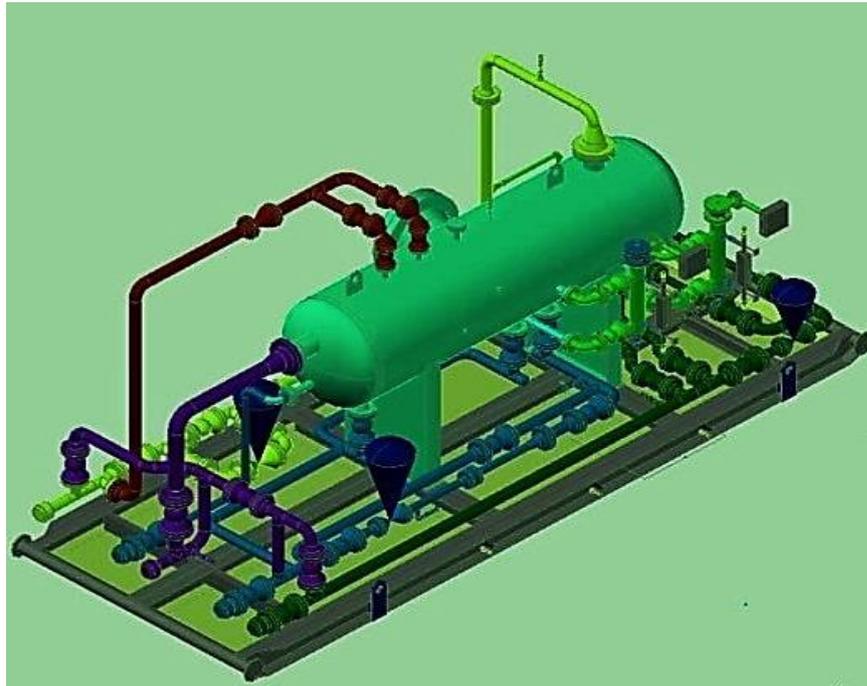
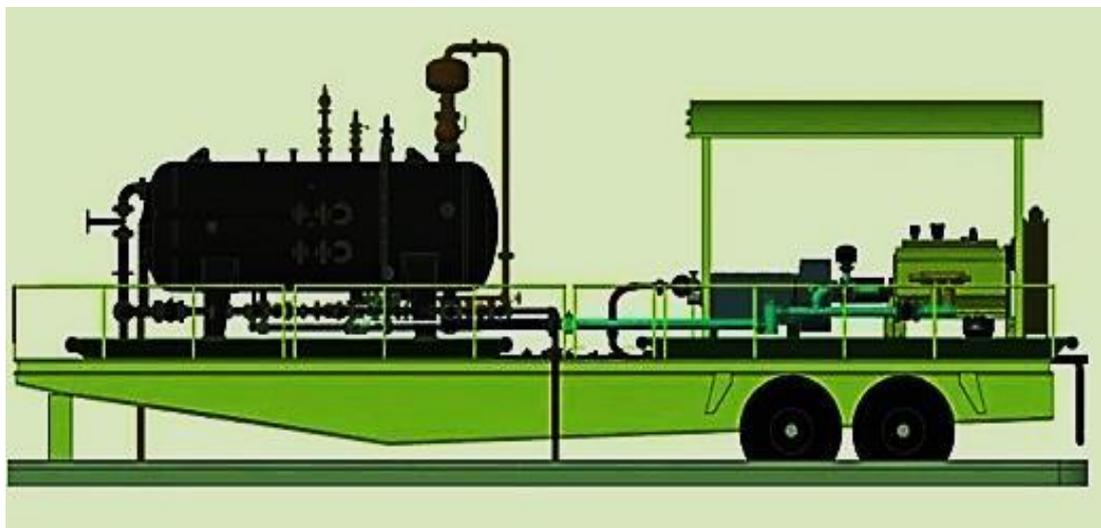


Ilustración 5 Separador MTU



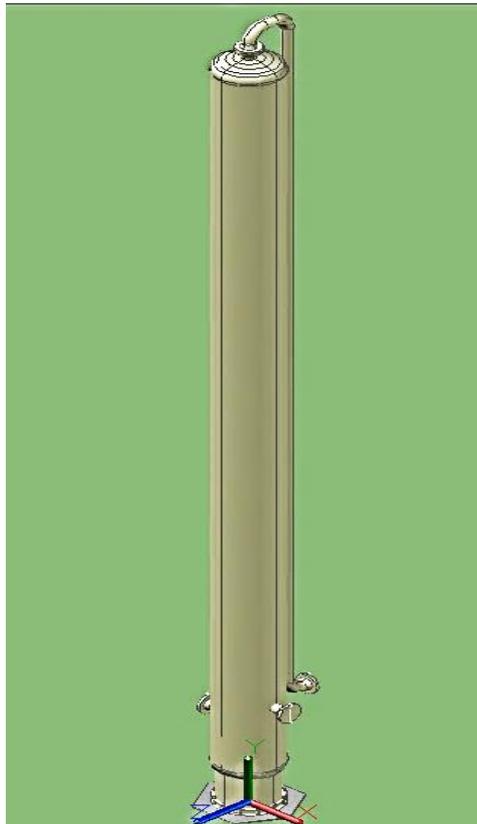
- Scrubber, equipo que depura el gas asociado, permite la condensación de ciertas fracciones condensables del gas, es el último equipo que procesa el gas antes de la tea.

Ilustración 6 Scrubber



- Bota de gas, equipo que separa las partículas petróleo del gas asociado a la producción.

Ilustración 7 Bota de Gas



- Tanque Bota, recipiente para el almacenamiento de crudo, petróleo que cumple también la función separar las partículas petróleo del gas asociado; éste NO es un

equipo estandarizado, sin embargo es utilizado algunas facilidades para ahorrar costos de alquiler por separado de un tanque atmosférico y una bota de gas.

Crudo: fluido que es extraído de la formación productora, es una emulsión de petróleo, gas asociado y agua de formación.

Petróleo: es un aceite mineral. Su origen viene a través de la descomposición de organismos animales y vegetales que se sedimentaron en los fondos de los mares, lagos y pantanos. (www.petroleonet.com)

Gas asociado: Gas natural que se encuentra en los yacimientos petroleros y cuya composición es variable. (RAOHE Ministerio de Energía y Minas, 2001)

Agua de formación: Agua que se encuentra conjuntamente con el petróleo y el gas en los yacimientos de hidrocarburos. Puede tener diferentes concentraciones de sales minerales. (RAOHE Ministerio de Energía y Minas, 2001)

Fuego: Reacción exotérmica de óxido-reducción entre un combustible, un comburente, usualmente acompañado por llamas visibles.

Radiación térmica: es una de las formas de conducción del calor, la radiación térmica es la transmisión de energía mediante ondas electromagnéticas desde de un cuerpo sólido o líquido con alta temperatura (Zemansky, 1981).

Piscina de fuego (pool fire): se presenta cuando existe la ignición de un líquido derramado, usualmente se presenta en los cubetos de contención.

Distancia de Seguridad (separación de seguridad): distancia mínima de separación entre equipo – equipo o equipo – persona, sin superar el máximo tolerable por radiación térmica.

Efecto dominó: una cascada de eventos en los que las consecuencias de un accidente anterior se aumentan siguiendo una a otra, así espacialmente como temporalmente, dando lugar a un accidente grave (C. Delvosalle, 1996).

Límites de inflamabilidad: Definen las concentraciones mínimas y máximas del vapor o gas en mezcla con el aire, en las que son inflamables. Se expresan en tanto por ciento en el volumen de mezcla vapor de combustible-aire (Sierra, NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad, 1991).

Límite inferior de inflamabilidad o explosividad (LII o LIE o LEL): Se define como la concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire, por debajo de la cual, no existe propagación de la llama al ponerse en contacto con una fuente de ignición (Sierra, NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad, 1991).

Temperatura de inflamación: Es la temperatura mínima a la cual un líquido inflamable desprende suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con el aire que rodea la superficie del líquido o en el interior del recipiente empleado (Sierra, NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad, 1991).

BOPD: Barriles de Petróleo por día

BDFD: Barriles de Fluido por día (agua – petróleo)

BWPD: Barriles de agua por día

SCFPD: Pies cúbicos gas por día

BBL: Barriles = 0.16 m^3

CAPÍTULO II MÉTODO

2.1 Tipo de estudio

Descriptivo: El presente trabajo es de carácter descriptivo, puesto que mediante el levantamiento de datos de distancias de implantación entre tanques atmosféricos, recipientes a presión y camper – oficinas en las facilidades tempranas de Sertecpet S.A., permitirá evaluar el riesgo de afectación por radiación térmica en caso de presentarse incendios, comparándolos con máxima radiación térmica tolerable.

2.2 Modalidad de investigación

Documental: El estudio se complementará necesariamente con el uso de registros impresos y electrónicos, planos de implantación, diagramas de flujo de procesos, caracterización de los fluidos procesados en las facilidades tempranas, disponibilidad de equipos de combate a incendios, datos atmosféricos predominantes en el oriente Ecuatorial, sitio en el que se encuentran operando las facilidades tempranas.

De campo: Se tomarán datos de distancias reales de implantación de tanques atmosféricos y recipientes a presión, directamente de las facilidades tempranas de Sertecpet S.A. que se encuentran operando.

2.3 Método

Hipotético - Deductivo: En base a un análisis teórico de las posibles afectaciones por radiación térmica, se determinará las distancias de seguridad para que se reduzca los riesgos de afectaciones en los tanques atmosféricos o recipientes a presión.

Analítico: Se estudiará las relaciones causa y posibles efectos de los fenómenos físicos se buscará entender el comportamiento y alcance de las posibles afectaciones de los incendios y explosiones en las instalaciones a estudiar.

2.4 Población y Muestra

Este trabajo tiene influencia sobre todas personas que laboran en las diferentes las facilidades de Sertecpet, así como sobre los tanques atmosféricos y recipientes a presión. Para el presente trabajo, se tomará como población a las facilidades tempranas de Sertecpet.

Población: Las facilidades tempranas con las que cuenta Sertecpet son:

- 8 Facilidades de producción
- 4 Facilidades de inyección

Muestra: Para determinar la muestra, se tomará en cuenta aspectos relacionados con similitud de operación y procesos, dimensiones, equipos implantados y capacidad de procesamiento; el estudio se realizará un análisis de distancias de seguridad de las siguientes facilidades tempranas tipo:

- Facilidades de producción
 - Facilidad de producción 1
 - Facilidad de producción 2
 - Facilidad de producción 3
- Facilidades de inyección
 - Facilidad de inyección 1
 - Facilidad de inyección 2
 - Facilidad de inyección 3

2.5 Selección de instrumentos de investigación

Se utilizarán los siguientes instrumentos de investigación, con el fin de recompilar la de información instrumentos necesaria para para desarrollar el estudio:

- Observación: Se aplicará a los procesos de observación en el campo, medición de distancias entre tanques atmosféricos o recipientes a presión y las áreas de camper oficinas o áreas de ocupación del personal.
- Revisión de Registros: Se revisarán los parámetros operativos de las facilidades tempranas y datos históricos de las estaciones meteorológicas estatales en las zonas donde se instalaron las facilidades.
- Métodos de cálculo para evaluar las afectación para tanques atmosféricos y recipientes a presión por radiación térmica están descritos en las siguientes notas técnicas del Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España:
 - NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases
- Análisis de documentos: Planos de implantación, flujogramas de proceso, caracterización de fluidos.

CAPÍTULO III RESULTADOS

Para el cálculo de radiación térmica se utilizó la metodología descrita en el NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases, el texto presentado a continuación es extraído de la NTP antes descrita.

La intensidad de la radiación térmica recibida por un ser vivo u objeto situado en el campo de influencia de un incendio depende de:

- Condiciones atmosféricas humedad ambiente
- Geometría del incendio, diámetro de la base del incendio, altura de las llamas y distancia al punto irradiado
- Características físico-químicas del producto en combustión.

Cálculo de la intensidad de irradiación recibida

La determinación de la intensidad de irradiación por unidad de superficie que se recibe en un punto P situado a una distancia c del incendio puede estimarse mediante la ecuación:

Ecuación 1 Intensidad de radiación a una distancia determinada

$$q = d \times F \times E$$

Siendo:

q = Intensidad de irradiación a distancia determinada (kW/m^2).

d = Coeficiente de transmisión atmosférica (adimensional).

F = Factor geométrico de visión, de vista o de forma (adimensional).

E = Intensidad media de radiación de la llama (kW/m^2).

Cálculo del coeficiente de transmisión atmosférica (d)

Parte del calor radiante es absorbido por el aire existente entre el objeto expuesto a la radiación y el incendio. Esta reducción entre la radiación emitida y la recibida se tiene en cuenta mediante el coeficiente de transmisión atmosférica d.

El valor de d es función de la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera existente entre el foco emisor de radiación y el receptor. Este valor se puede obtener de gráficos o de una fórmula empírica.

Así para un caso determinado, la presión parcial de vapor se calcula multiplicando la humedad relativa por la presión de vapor saturado a la temperatura existente.

Una fórmula empírica empleada normalmente es la siguiente, propuesta por Pietersen y Huerta

Ecuación 2 Coeficiente de transmisión atmosférica

$$d = 2,02 (P_v \cdot x)^{-0,09}$$

Siendo:

P_v = Presión parcial del vapor de agua a la temperatura determinada en Pascales (Pa).

x = Longitud de recorrido de la radiación, distancia desde la superficie de llama al blanco receptor (m).

La presión de vapor a diferentes temperaturas se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 8 Presión de vapor a diferentes temperaturas

Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)	Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)
0	600	19	2170
2	700	20	2310
4	800	21	2450
6	920	22	2610
8	1060	23	2770
10	1210	24	2940
11	1300	25	3130
12	1380	26	3320
14	1580	27	3520
15	1680	28	3730
16	1790	29	3950
17	1920	30	4190
18	2040		

Fuente: NTP 326

Cálculo del Factor geométrico de visión, de vista o de forma (F)

El factor de visión geométrico o factor de forma es un coeficiente que valora el efecto de la forma geométrica de las llamas (altura alcanzada y dimensiones de la superficie de líquido incendiada), de la distancia al punto P o superficie irradiada y de la posición u orientación (horizontal, vertical, inclinada) de dicha superficie.

Este factor se simboliza F_V para superficies verticales, F_H para horizontales y F_{Max} para superficie inclinada de irradiación máxima.

En presente trabajo, el factor de incendio en una forma cilíndrica, puesto que todos los tanques y recipientes a presión tienen geometrías circulares.

Tabla 9 Factor de visión horizontal

Factor de visión horizontal, F_h										
a/b	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0	10.0	20.0
c/b										
1.10	0.132	0.242	0.332	0.354	0.360	0.362	0.362	0.362	0.363	0.363
1.20	0.044	0.120	0.243	0.291	0.307	0.310	0.312	0.312	0.313	0.313
1.30	0.020	0.065	0.178	0.242	0.268	0.274	0.277	0.270	0.278	0.279
1.40	0.011	0.038	0.130	0.203	0.238	0.246	0.250	0.251	0.252	0.253
1.50	0.005	0.024	0.097	0.170	0.212	0.222	0.228	0.229	0.231	0.232
2.00	0.001	0.005	0.027	0.073	0.126	0.145	0.158	0.160	0.164	0.166
3.00	0.000	0.000	0.005	0.019	0.050	0.071	0.091	0.095	0.103	0.106
4.00	0.000	0.000	0.001	0.007	0.022	0.038	0.057	0.062	0.073	0.078
5.00	0.000	0.000	0.000	0.003	0.011	0.021	0.037	0.043	0.054	0.061
10.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.007	0.009	0.017	0.026
20.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.003
50.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: NTP 326

Tabla 10 Factor de visión vertical

Factor de visión vertical, F_v										
1.10	0.330	0.415	0.449	0.453	0.454	0.454	0.454	0.454	0.454	0.454
1.20	0.196	0.308	0.397	0.413	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416
1.30	0.130	0.227	0.344	0.376	0.383	0.384	0.384	0.384	0.384	0.384
1.40	0.096	0.173	0.296	0.342	0.354	0.356	0.356	0.357	0.357	0.357
1.50	0.071	0.135	0.253	0.312	0.229	0.312	0.333	0.333	0.333	0.333
2.00	0.028	0.056	0.126	0.194	0.236	0.245	0.248	0.249	0.249	0.249
3.00	0.009	0.019	0.047	0.086	0.132	0.150	0.161	0.163	0.165	0.166
4.00	0.005	0.010	0.024	0.047	0.080	0.100	0.115	0.119	0.123	0.124
5.00	0.003	0.006	0.015	0.029	0.053	0.069	0.086	0.091	0.097	0.099
10.00	0.000	0.001	0.003	0.006	0.013	0.019	0.029	0.032	0.042	0.048
20.00	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.007	0.009	0.014	0.020
50.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004

Fuente: NTP 326

Tabla 11 Factor de visión máximo

Factor de visión máximo, F_{max}										
1.10	0.356	0.481	0.559	0.575	0.580	0.581	0.581	0.581	0.581	0.581
1.20	0.201	0.331	0.466	0.505	0.517	0.519	0.520	0.521	0.521	0.521
1.30	0.132	0.236	0.387	0.448	0.468	0.472	0.474	0.474	0.475	0.475
1.40	0.094	0.177	0.323	0.398	0.427	0.433	0.436	0.436	0.437	0.437
1.50	0.072	0.138	0.271	0.355	0.392	0.400	0.404	0.404	0.405	0.406
2.00	0.028	0.056	0.129	0.208	0.267	0.285	0.294	0.296	0.299	0.300
3.00	0.009	0.019	0.048	0.088	0.141	0.160	0.183	0.189	0.195	0.197
4.00	0.005	0.010	0.024	0.047	0.083	0.106	0.129	0.134	0.143	0.147
5.00	0.003	0.005	0.015	0.029	0.054	0.073	0.094	0.100	0.111	0.117
10.00	0.000	0.001	0.003	0.006	0.013	0.019	0.030	0.034	0.045	0.055
20.00	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.007	0.009	0.014	0.022
50.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004

Fuente: NTP 326

El Factor de visión máximo también puede ser calculado mediante la siguiente fórmula

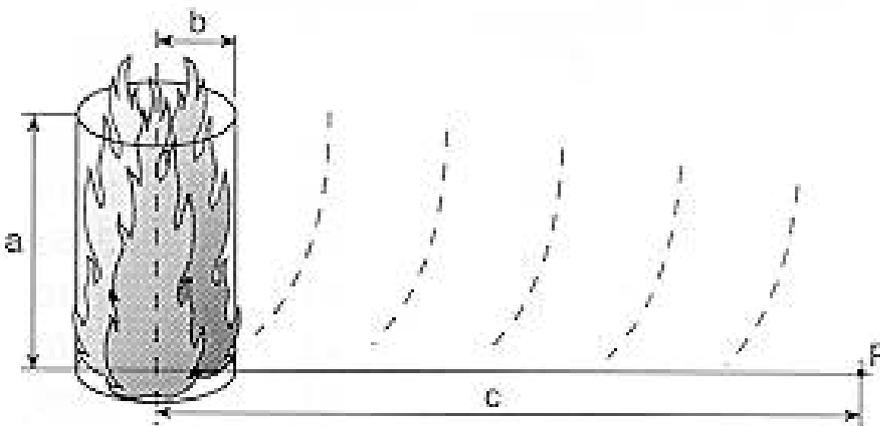
Ecuación 3 Factor de visión máximo

$$F_{max} = (F_V^2 + F_H^2)^{1/2}$$

Los valores de **a/b**, **c/b** se los obtiene de una relación geométrica de distancias o dimensiones, siendo

- a = altura de la llama
- b = ancho de la llama
- c = distancia al receptor

Ilustración 8 Relaciones geométricas de la llama



Ecuación 4 para el cálculo de **a** altura de la llama

$$a = 29 b^{0.7} \times m^{0.6}$$

siendo

b = ancho de la llama

m = caudal de producto evaporado también llamado tasa de combustión (Kg/m²s).

Ecuación 5 para el cálculo de **m** caudal de producto evaporado

$$m = h_c / (C_p \Delta t^\circ + h_v) 10^{-3} \text{ (Kg/m}^2\text{s)}.$$

siendo

h_c = Calor de combustión del producto evaporado (J/kg).

h_v = Calor atente de vaporización (J/kg)

Δt° = Diferencia de temperatura ambiente – temperatura del punto ebullición (°K)

Intensidad media de radiación de la llama (d)

La intensidad media de radiación de la llama depende del tipo de producto almacenado en el tanque o recipiente a presión.

Tabla 12 Intensidad media de radiación de productos

Producto	Kw/m ²
Acetaldehido	32
Acetato de vinilo	30
Ácido fórmico	2
Alcohol etílico	38
Amoniaco	13
Asfalto	30
Benceno	70
Bromuro de metilo	8
Butano	95
Cloruro de metilo	14
Cloruro de vinilo	26
Diesel	80
Etano	89
Etanol	15

Producto	Kw/m ²
Etileno	89
Fuel oil	70
Gas Natural	95
Jet A1	80
Kerosene	90
Metano	95
Metanol	15
Monóxido de carbono	14
Nafatas	110
Nafta disolvente	68
Petróleo crudo	68
Propano	92
Propileno	93
Sulfuro de hidrógeno	20

Fuente: NTP 326

Factores Climáticos del Oriente Ecuatoriano, cercano a las facilidades tempranas

Los factores climáticos que intervienen en el modelo descrito en la NTP 326, son la humedad relativa y temperatura ambiente; en el oriente ecuatoriano existen varias estaciones metrológicas de las cuales se podría tomar los datos necesarios para la modelación matemática de radiación térmica:

- Estación Aeropuerto Lago Agrio
- Estación Aeropuerto Coca
- Estación Nuevo Rocafuerte
- Estación Tiputini
- Estación Tarapoa.

Para el presente trabajo se tomaron los datos climáticos de la Estación Aeropuerto Orellana, debido a que es la estación en la región que cuenta con los datos multianuales más completos y recientes, además es la estación meteorológica que se encuentra geográficamente más central a las facilidades tempranas analizadas; para el presente trabajo modelará con los valores de Temperatura media 26.32°C y con un a Humead relativa del 81%, correspondiente al período tomado de julio 2011 a abril 2015.

Tabla 13 Datos meteorológicos Estación El Coca Aeropuerto: 840990 (SECP)
 Latitud: -0.45 | Longitud: -76.95 | Altitud: 300 (Estación Coca Aeropuerto, 2015)

Mes	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM
	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Presión atmosférica a nivel del mar (hPa)	Humedad relativa media (%)	Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)	Visibilidad media (Km)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad máxima sostenida del viento (Km/h)
jul-11	25.7	29.6	21.2	1011.7	79.7	29.5	20.9	4.4	9.2
ago-11	26.4	31.2	22.5	1012.9	75.5	30.0	14.9	5.0	10.2
sep-11	27.1	31.9	21.7	1013.6	70.2	30.7	17.4	7.0	12.1
oct-11	27.1	32.0	22.3	1010.5	75.0	90.2	19.0	5.7	10.4
nov-11	28.7	33.2	22.3	1007.9	67.5	10.9	20.8	4.2	8.5
dic-11	27.0	31.2	22.1	1009.6	73.3	239.3	18.8	3.7	8.1
ene-12	27.1	31.6	21.9	1011.4	70.6	104.9	19.5	3.9	9.1
feb-12	25.6	29.7	21.7	1010.7	80.5	236.5	15.3	4.5	9.1
mar-12	25.6	29.4	21.8	1012.3	80.4	240.3	16.0	6.1	11.8
abr-12	26.7	30.8	21.8	1013.2	76.1	210.3	18.5	5.0	10.8
may-12	25.6	29.6	22.1	1014.0	81.8	90.9	19.1	6.0	12.5
jun-12	26.4	30.4	22.3	1015.0	77.7	150.1	18.8	5.9	11.7
jul-12	25.9	30.0	21.5	1014.9	76.2	227.1	17.9	5.8	12.0
ago-12	26.6	30.5	21.9	1015.8	73.8	120.6	19.3	5.0	10.1
sep-12	27.1	32.0	22.2	1016.1	72.4	48.0	20.8	7.3	11.6
oct-12	27.7	31.9	22.6	1012.5	71.7	125.0	18.4	4.5	11.7
nov-12	27.6	31.8	22.5	1012.5	69.3	130.1	19.4	5.1	12.3
dic-12	27.1	31.2	22.2	1010.5	76.1	230.6	23.4	4.6	11.2
ene-13	27.2	31.4	22.7	1012.0	76.1	122.9	21.7	2.4	6.5
feb-13	25.9	29.7	22.4	1012.3	82.1	191.8	15.5	4.7	8.8
mar-13	25.9	29.9	22.2	1012.6	86.3	109.5	16.8	5.7	9.1
abr-13	26.3	30.4	21.8	1013.5	82.5	130.6	20.5	6.6	9.5
may-13	26.0	29.9	22.2	1013.7	86.9	281.4	19.8	6.3	9.2
jun-13	24.9	28.3	21.6	1014.7	90.5	118.6	17.7	6.3	10.4
jul-13	24.9	28.8	20.9	1015.7	86.9	126.5	20.1	5.5	9.9
ago-13	24.8	28.3	20.8	1015.2	88.3	114.3	18.3	5.9	8.7
sep-13	25.9	30.1	21.5	1014.6	82.8	73.4	21.5	6.4	10.0
oct-13	26.9	31.3	22.1	1012.5	82.0	34.8	24.2	6.7	11.5
nov-13	27.2	31.0	22.5	1009.8	82.8	45.0	22.5	6.0	9.4
dic-13	26.3	30.0	22.2	1012.4	85.0	101.1	23.2	6.4	9.8
ene-14	26.2	30.0	22.1	1012.1	83.7	70.4	23.1	6.7	11.4
feb-14	26.4	30.1	22.0	1011.9	85.0	48.8	19.8	5.2	7.4
mar-14	25.4	29.3	22.3	1010.3	91.5	20.6	13.1	6.7	9.4
abr-14	25.9	30.4	22.0	1012.9	81.0	116.7	19.4	5.6	9.8
may-14	25.9	30.4	22.0	1012.9	81.0	116.7	19.4	5.6	9.8

Mes	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM
	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Presión atmosférica a nivel del mar (hPa)	Humedad relativa media (%)	Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)	Visibilidad media (Km)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad máxima sostenida del viento (Km/h)
jun-14	25.2	29.2	21.8	1013.7	92.6	49.3	16.3	5.9	8.9
jul-14	25.3	29.5	21.3	1015.7	87.8	88.1	20.3	5.6	7.4
ago-14	25.6	30.0	21.4	1015.3	85.0	44.2	20.9	6.4	10.9
sep-14	28.7	33.3	21.6	1014.3	71.0	10.9	21.9	4.9	6.9
oct-14	26.6	30.1	21.6	1013.5	83.5	33.0	21.3	5.7	9.6
nov-14	25.7	28.7	22.3	1011.2	92.5	108.0	19.8	5.9	8.7
dic-14	26.9	30.7	22.2	1011.9	83.6	183.7	22.9	6.2	9.6
ene-15	26.9	30.7	22.2	1011.9	83.6	183.7	22.9	6.2	9.6
feb-15	25.8	29.5	22.3	1012.5	90.0	91.7	17.5	6.3	10.5
mar-15	25.7	29.3	22.3	1013.3	87.8	181.6	17.1	6.5	9.0
abr-15	25.4	29.5	21.8	1014.1	86.3	225.6	18.2	6.0	8.4
Media Multianual	26.32	30.39	21.97	1012.86	81.00	116.68	19.43	5.61	9.84

Fuente: Estación Coca - Aeropuerto

Ilustración 9 Estación Coca - Aeropuerto Temperatura media °C

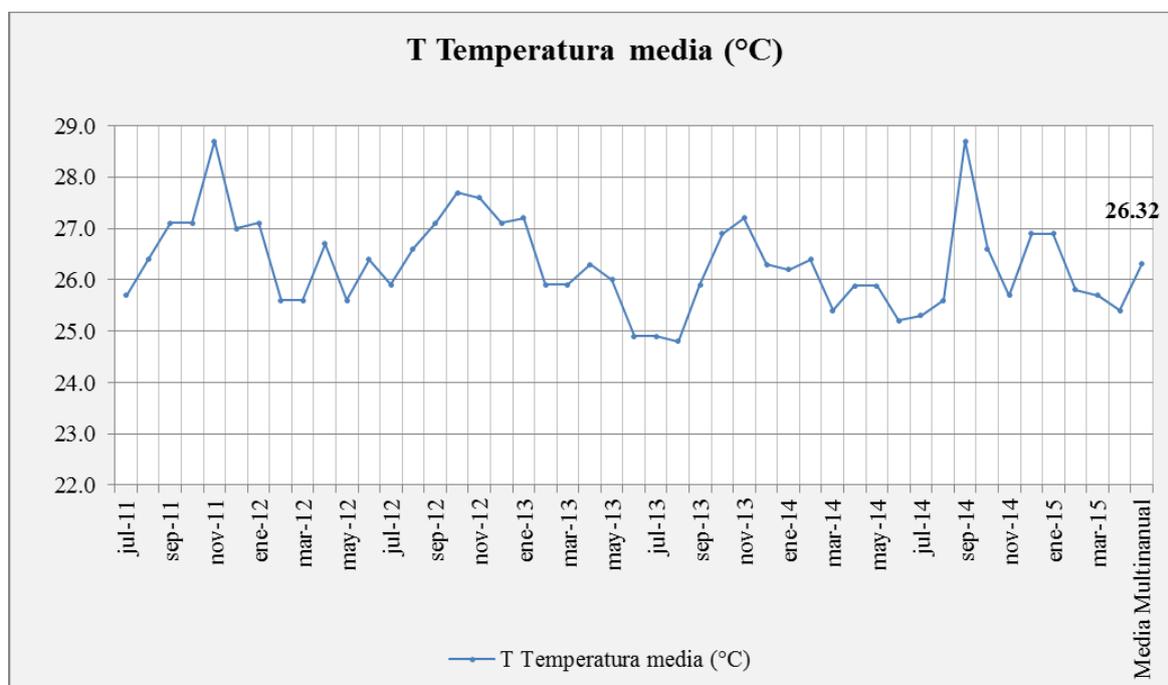
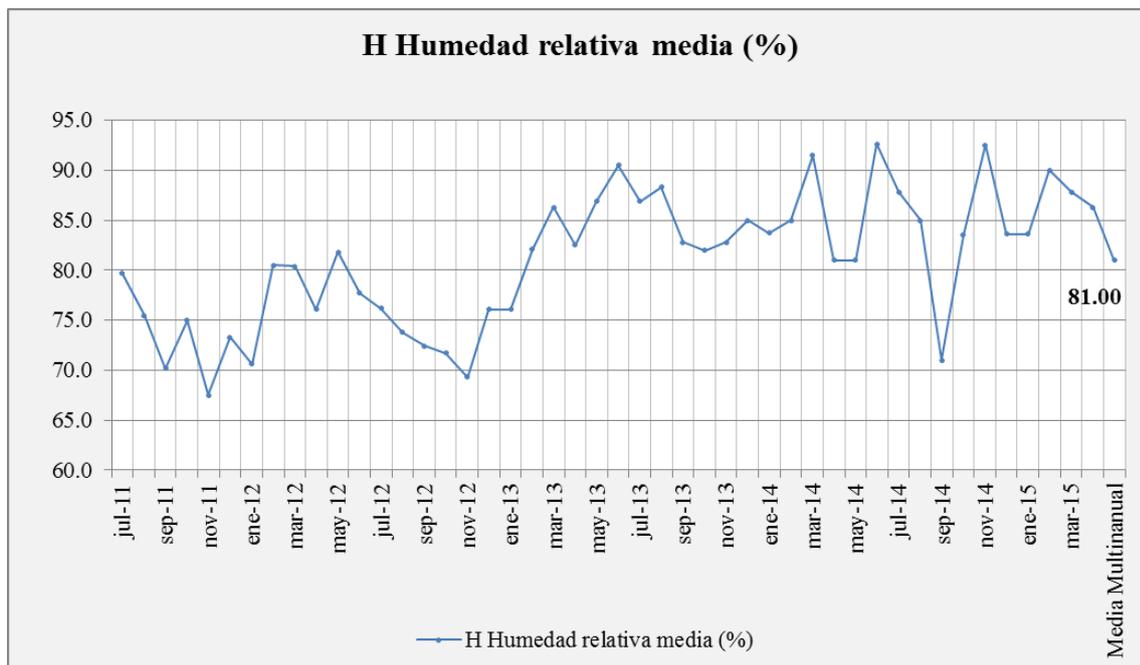


Ilustración 10 Estación Coca - Aeropuerto Humedad Relativa %



3.1 Presentación y análisis de resultados

Facilidades Analizadas.

La radiación térmica fue calculada para las 6 facilidades identificada en la muestra, 3 facilidades de producción y 3 facilidades de inyección de agua de formación, se analizó los resultados con dos enfoques:

- **Afectación a equipos contiguos;** se calculó la radiación térmica del equipo contiguo más cercano a la fuente (incendio en tanque atmosférico o recipiente a presión), ésta distancia corresponde a la información levantada en campo y se compara con los límites o valores tolerables de acuerdo con las tablas presentadas en el marco teórico.
- **Afectación a los trabajadores;** se calculó la radiación térmica emitida por la fuente (incendio en tanque atmosférico o recipiente a presión) y su incidencia sobre las áreas de actividades administrativas o edificios contiguos, ésta distancia corresponde a la información levantada en campo y se compara con los límites o valores tolerables de acuerdo con las tablas presentadas en el marco teórico.

a) **Facilidad Analizada Facilidad de Producción 1**

La Facilidad de Producción 1 es una estación de producción de petróleo su principal función es recibir crudo en emulsión petróleo, agua y gas; separar la emulsión mediante procesos físico – mecánicos y direccionar cada uno de los fluidos por diferentes tuberías; ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, además cuenta con sistema fijo de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 14 Facilidad de Producción 1 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
Tanque SCI	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua sistema contra incendio	7.22	3.85
T-134	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-141	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-143	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-144	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-130	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo en etapa intermedia de deshidratación, presencia de agua.	7.22	3.85
T-133	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo en etapa intermedia de deshidratación, presencia de agua.	7.22	3.85
T-101	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo en etapa intermedia de deshidratación, presencia de agua.	7.22	3.85
T-128	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo en etapa intermedia de deshidratación, presencia de agua.	7.22	3.85
T-139	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
T-140	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
T-125	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-126	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
TD-01	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
BO-178	Bota de Gas - Recipiente a presión	500000 SCFD 4500 BFPD	Gas con asociado a la producción, con partículas de fluido suspendido	9.30	0.91
BO-182	Bota de Gas - Recipiente a presión	500000 SCFD 4500 BFPD	Gas con asociado a la producción, con partículas de fluido suspendido	9.30	0.91
V-181	Separador Trifásico - Recipiente a presión	10000 BOPD 10000 BWPD 3'000000 SCFPD	Crudo emulsión de petróleo, agua y gas asociado	9,45	2.13
V-136	Separador Trifásico - Recipiente a presión	5000 BOPD 5000 BWPD 1'500000 SCFPD	Crudo emulsión de petróleo, agua y gas asociado	6.40	1.83
V-175	Scrubber - Recipiente a presión	500000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	3.20	0.91
V-176	Scrubber - Recipiente a presión	500000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	3.20	0.91
T-D	Tanque atmosférico	200 bbl	Diesel combustible	7.26	3.85

Fuente: Andrés Maya – Levantamiento de Campo

Los fluidos que ingresan a la Facilidat de Producción 1 tienen el siguiente proceso:

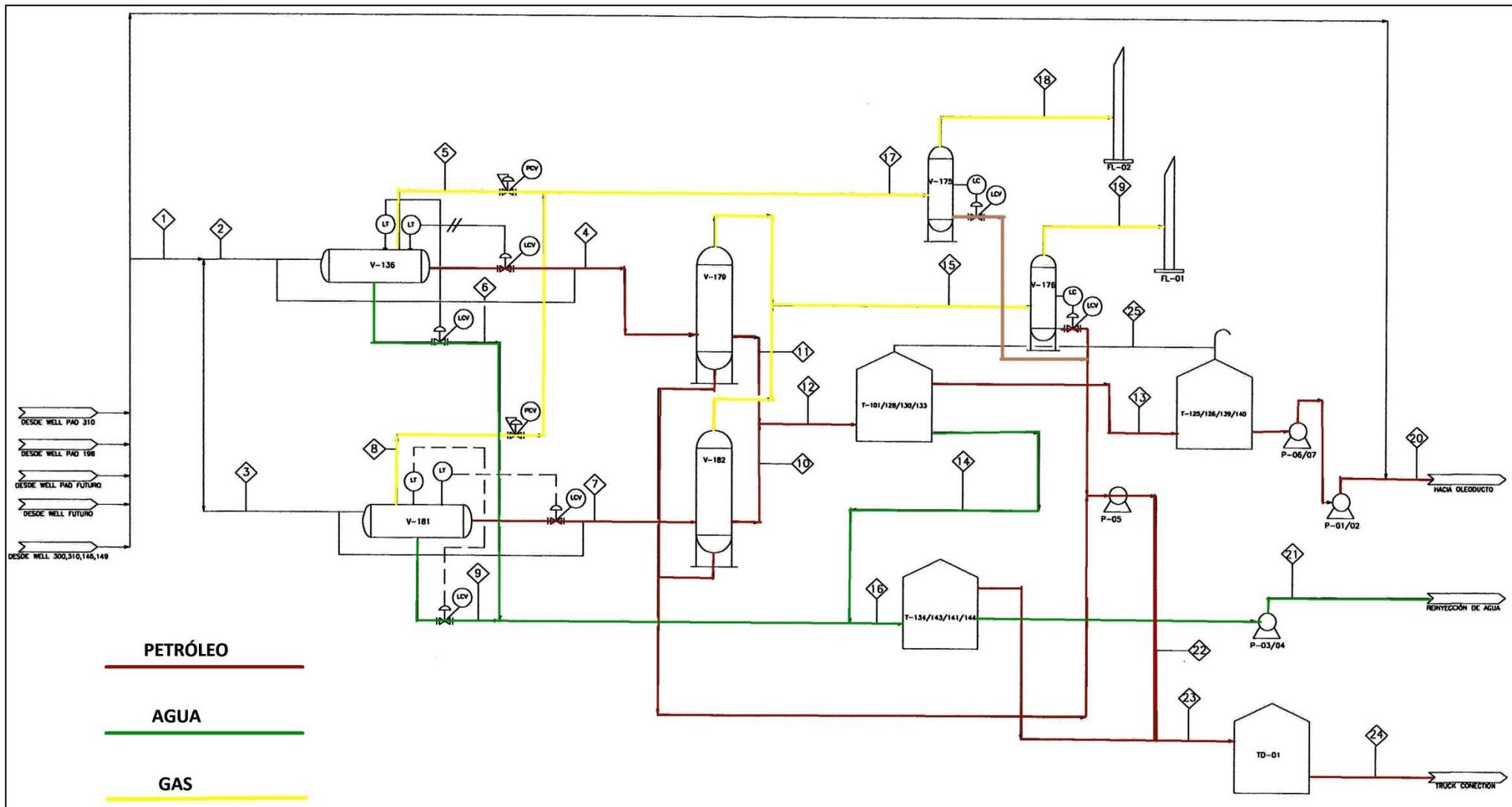
- Crudo, ingresa a los separadores trifásicos V-181y V-136, donde se separa el gas, petróleo y agua de formación, los fluidos son direccionados internamente a diferentes tuberías de salida.
- El petróleo es evacuado por la parte media de los separadores, y conducido las botas de gas BO-178 y BO-182 donde se separa los remanentes de gas asociado al petróleo, luego es conducido a los tanques de reposo T-130, T-133, T-101, T-128, donde se separa el remanente de agua por diferencia de densidades; finalmente es almacenado en los tanques crudo deshidratado T-139, T-140, T-125 y T-126 de donde se succiona para la transferencia al oleoducto.
- El agua se evacuada por la parte inferior de los separadores, y almacenada en los tanques T-134, T-141, T-143 y T-144, a éstos tanques también llega el agua

proveniente del fondo de los tanques de reposo y finalmente transferido al sistema de reinyección de agua de formación.

- El gas se evacúa por parte superior de los separadores, llevado a los scrubber V-175 donde se condensan el crudo pulverizado que fue arrastrado conjuntamente con el gas, finalmente el gas es enviado a la tea de alta para la quema del gas asociado.
- En las botas de gas, el crudo se separa del gas remanente, de allí es conducido hacia el scrubber V-176 donde se condensan el crudo pulverizado que fue arrastrado conjuntamente con el gas, finalmente el gas es enviado a la tea de baja para la quema del gas asociado.
- De la parte inferior de las botas de gas, de los scrubber y de la parte intermedia de los tanques de agua de formación, el petróleo es almacenado en el tanque de drenaje TD-01, para su evacuación mediante un camión de succión para su reproceso en otra estación.
- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la Facilidad de Producción 1

Ilustración 11 Facilidad de Producción 1 diagrama de procesos de fluidos



a1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 1, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15 Facilidad de Producción 1 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-134	Petróleo - agua	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-141	Petróleo - agua	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-143	Petróleo - agua	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-144	Petróleo - agua	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-130	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-133	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-101	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-128	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-139	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-140	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
T-125	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-126	Petróleo	2	35.10	40	37.5	N/A	SI
TD-01	Petróleo	3	35.10	40	37.5	N/A	SI
BO-178	Gas Natural	3	10.93	40	37.5	N/A	SI
BO-182	Gas Natural	3	10.93	40	37.5	N/A	SI
V-181	Petróleo	3	33.84	40	37.5	N/A	SI
V-136	Petróleo	3	22.22	40	37.5	N/A	SI
V-175	Gas Natural	3	10.93	40	37.5	N/A	SI
V-176	Gas Natural	3	10.93	40	37.5	N/A	SI
T-D	Diesel combustible	5	19.50	40	37.5	N/A	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

a2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 1, y comparándolas con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación y a las construcciones o edificaciones contiguas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16 Facilidad de Producción 1 Afección al personal o edificaciones contiguas

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Radiación en área de camper u oficinas	Radiación máxima en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exposición de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exposición personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-134	Petróleo	69.25	0.31	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-141	Petróleo	63.40	0.45	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-143	Petróleo	69.31	0.45	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-144	Petróleo	63.47	0.45	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-130	Petróleo	50.55	0.59	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-133	Petróleo	44.70	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-101	Petróleo	50.64	0.59	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-128	Petróleo	44.80	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-139	Petróleo	40.85	0.75	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-140	Petróleo	35.00	0.90	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-125	Petróleo	40.96	0.75	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-126	Petróleo	35.13	0.90	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
TD-01	Petróleo	41.07	0.75	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Radiación en área de camper u oficinas	Radiación máxima en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exposición de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exposición personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²
BO-178	Gas Natural	28.00	0.35	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
BO-182	Gas Natural	28.16	0.35	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
V-181	Petróleo	25.00	3.47	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
V-136	Petróleo	27.00	1.94	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
V-175	Gas Natural	25.96	0.35	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
V-176	Gas Natural	26.57	0.35	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-D	Diesel combustible	85.00	0.18	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

b) **Facilidad Analizada Facilidad de Producción 2**

La Facilidad de Producción 2 es una mini-estación de producción de petróleo, su principal función es recibir crudo en emulsión petróleo, agua y gas, separar la emulsión mediante proceso físico – mecánicos y direccionar cada uno de los fluidos por diferentes tuberías; ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, sin embargo, NO cuenta con sistema fijo de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 17 Facilidad de Producción 2, Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-10	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
T-20	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
BO-10	Bota de Gas - Recipiente a presión	500000 SCFD 4500 BFPD	Gas con asociado a la producción, con partículas de fluido suspendido	9.30	0.91
SC-01	Scrubber - Recipiente a presión	500000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	2.20	0.91
SC-02	Scrubber - Recipiente a presión	500000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	3.20	0.91
V-MTU	Separador Trifásico - Recipiente a presión	5000 BOPD 5000 BWPD 1'500000 SCFPD	Crudo emulsión de petróleo, agua y gas asociado	6.40	1.83
T-D	Tanque atmosférico	200 bbl	Diesel combustible	4.80	2.70

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

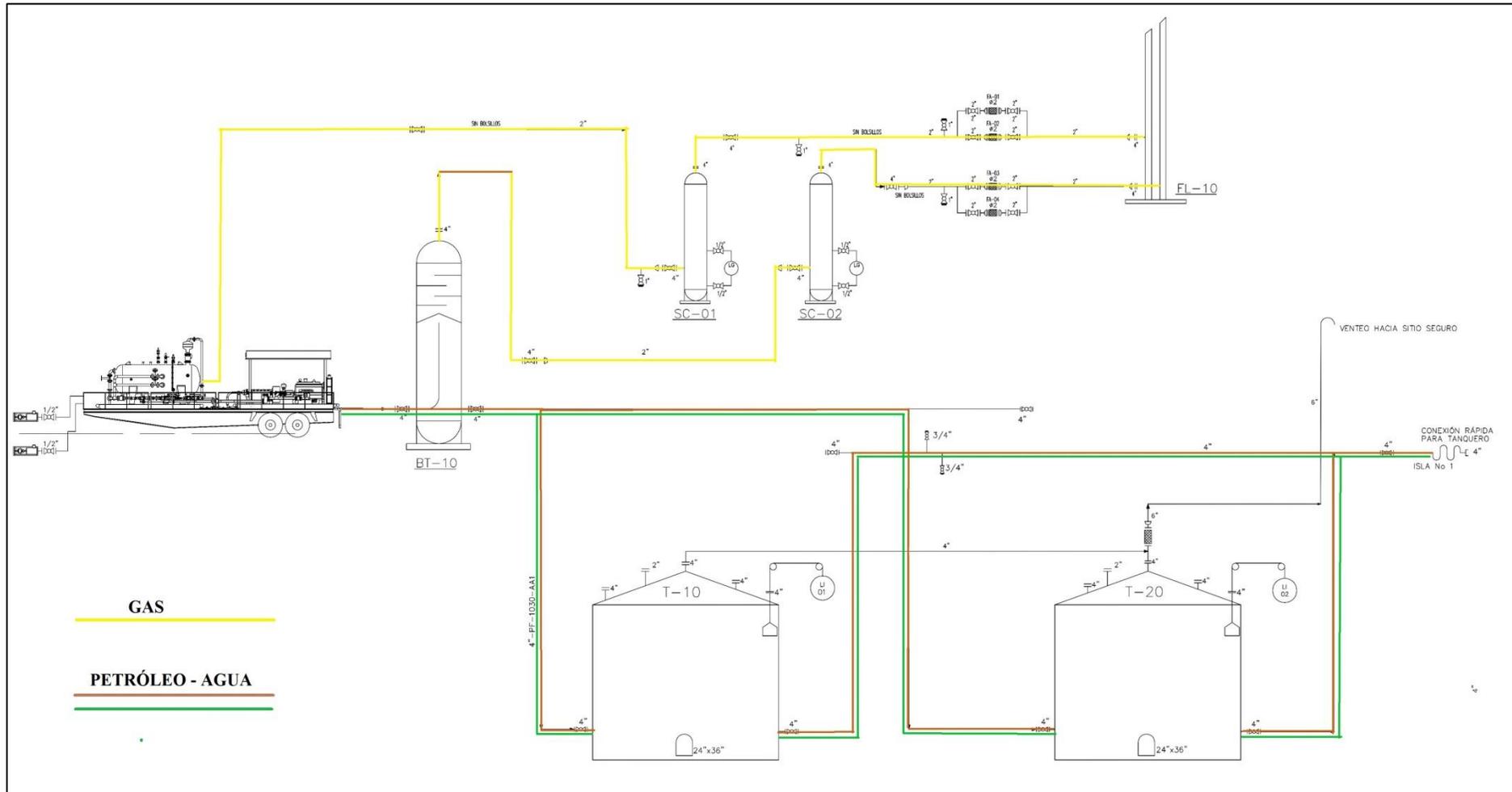
Los fluidos que ingresan a la Facilidad de Producción 2 tienen el siguiente proceso:

- Crudo, ingresa al separador bifásico V-MTU, donde se separa el gas, petróleo y agua de formación, los fluidos son direccionados internamente a diferentes tuberías de salida.

- El petróleo y agua es evacuado por la parte baja del separador, y conducido a la bota de gas BO-10 donde se separa los remanentes de gas asociado al petróleo, luego es conducido a los tanques de almacenamiento T-10 y T-20, el crudo es succionado desde estos tanques mediante camión vacuum para su separación agua – petróleo en otra estación.
- El gas se evacúa por parte superior del separador, llevado al scrubber SC-01 donde se condensan el crudo pulverizado que fue arrastrado conjuntamente con el gas, finalmente el gas es enviado a la tea de alta para la quema del gas asociado.
- En las botas de gas, el crudo se separa del gas remanente, de allí es conducido hacia el scrubber SC-02 donde se condensan el crudo pulverizado que fue arrastrado conjuntamente con el gas, finalmente el gas es enviado a la tea de baja para la quema del gas asociado.
- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la Facilidad de Producción 2

Ilustración 12 Facilidad de Producción 2 diagrama de procesos de fluidos



b1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 2, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18 Facilidad de Producción 2 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-10	Petróleo - agua	3	27.56	40	37.5	8	NO
T-20	Petróleo - agua	3	27.56	40	37.5	8	NO
BO-10	Gas Natural	3	10.96	40	37.5	8	NO
SC-01	Gas Natural	3	10.96	40	37.5	8	NO
SC-02	Gas Natural	3	10.96	40	37.5	8	NO
V-MTU	Petróleo	40	1.87	40	37.5	8	SI
T-D	Diesel	8	10.93	40	37.5	8	NO

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

b2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 2, y comparándolas con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 19 Facilidad de Producción 2 Afección al personal o edificaciones contiguas

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Rad en área de camper u oficinas	Rad máx en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exp de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exp personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-10	Petróleo	67.46	0.58	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-20	Petróleo	70.46	0.58	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
BO-10	Petróleo	73.46	0.06	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
SC-01	Petróleo	76.46	0.06	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
SC-02	Petróleo	126.46	0.06	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
V-MTU	Petróleo	44.00	1.36	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-D	Petróleo	59.46	0.18	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

c) Facilidad Analizada Facilidad de Producción 3

La Facilidad de Producción 3 es una mini-estación de producción de petróleo, su principal función es recibir crudo en emulsión petróleo, agua y gas, separar la emulsión mediante proceso físico – mecánicos y direccionar cada uno de los fluidos por diferentes tuberías; ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, sin embargo, NO cuenta con sistema fijo de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 20 Facilidad de Producción 3 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-151	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
T-153	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
T-149	Tanque atmosférico	501 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
TD-05	Tanque atmosférico	500 bbl	Petróleo deshidratado, con capa delgada de agua en el fondo del tanque	7.26	3.85
BT-10	Bota de Gas - Recipiente a presión	3500 BFPD	Gas con asociado a la producción, con partículas de fluido suspendido	9.14	0.61
BT-11	Bota de Gas - Recipiente a presión	3500 BFPD	Gas con asociado a la producción, con partículas de fluido suspendido	9.14	0.61
SC-02	Scrubber - Recipiente a presión	50000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	3.20	0.91
SC-03	Scrubber - Recipiente a presión	50000 SCFD	Gas con asociado a la producción, con fluido condensado	3.20	0.91

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

Los fluidos que ingresan a la Facilidad de Producción 3 tienen el siguiente proceso:

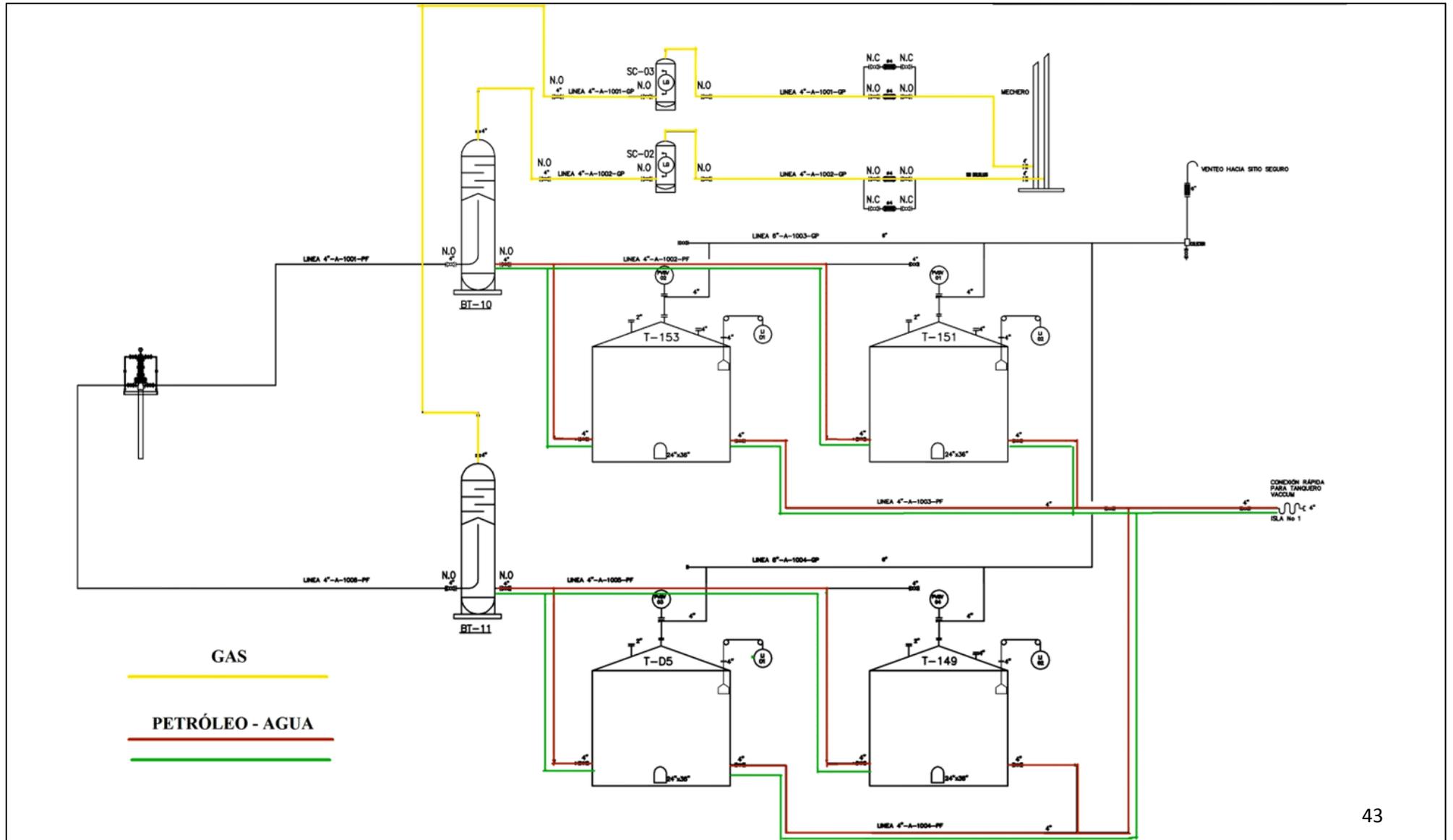
- Crudo, ingresa a las botas de gas BT-10 y BT-11 donde se separa el gas asociado al petróleo; el crudo es conducido a los tanques de almacenamiento T-

151, T-153, T-149 y TD-05, el crudo es succionado desde estos tanques mediante camión vacuum para su separación agua – petróleo en otra estación.

- El gas se evacúa por parte superior de las botas y llevado a los scrubber SC-02 y SC-03 donde se condensan el crudo pulverizado que fue arrastrado conjuntamente con el gas, finalmente el gas es enviado a las tea para la quema del gas asociado.
- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

A continuación se presenta el diagrama de proceso de la Facilidad de Producción 3

Ilustración 13 Facilidad de Producción 3 diagrama de procesos de fluidos



c1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 3, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 21 Facilidad de Producción 3 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-151	Petróleo - agua	1.5	36.11	40	37.5	8	NO
T-153	Petróleo - agua	1.5	36.11	40	37.5	8	NO
T-149	Petróleo - agua	1.5	36.11	40	37.5	8	NO
TD-05	Petróleo - agua	1.5	36.11	40	37.5	8	NO
BT-10	Gas Natural	4.0	7.79	40	37.5	8	SI
BT-11	Gas Natural	4.0	7.79	40	37.5	8	SI
SC-02	Gas Natural	2.5	16.06	40	37.5	8	NO
SC-03	Gas Natural	2.5	16.06	40	37.5	8	NO

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

c2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Producción 3, y comparándolas con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 22 Facilidad de Producción 3 Afección al personal o edificaciones contiguas

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Rad en área de camper u oficinas	Rad máx en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exp de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exp personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-151	Petróleo	30.00	1.91	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-153	Petróleo	33.00	1.40	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-149	Petróleo	31.50	1.41	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
TD-05	Petróleo	34.00	1.40	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
BT-10	Gas	37.50	0.21	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
BT-11	Gas	41.50	0.14	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
SC-02	Gas	57.72	0.07	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
SC-03	Gas	60.22	0.07	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

d) Facilidad de Inyección 1

La Facilidad de Inyección 1 es una estación de inyección de agua de formación su principal función es almacenar agua para que sea inyectada mediante bombas a los pozos inyectoras, ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, sin embargo, NO cuenta con sistema de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 23 Facilidad de Inyección 1 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-01	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-02	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-03	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-04	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-D	Tanque atmosférico	200 bbl	Diesel combustible	7.26	3.85

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

Los fluidos que ingresan a la Facilidad de Inyección 1 tienen el siguiente proceso:

- El agua de formación es bombeada de estaciones productoras del campo, el agua ingresa a la estación y es almacenada a los tanques T-01, T-02, T-03 y T-04, esta agua tiene trazas de crudo que debido al reposo en los tanques y a la diferencia de densidades, se acumula en la superficie, formando una delgada capa de petróleo; succionado de los tanques mediante camiones de succión vacuum, sin embargo, dentro de los tanques siempre está presente las trazas de petróleo.
- El agua es succionada de los tanques y reinyectada a una formación apta para la recepción del agua de formación.
- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

d1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 1, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24 Facilidad de Inyección 1 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-01	Fina capa de petróleo - agua	2.0	35.19	40	37.5	8	NO
T-02	Fina capa de petróleo - agua	2.0	35.19	40	37.5	8	NO
T-03	Fina capa de petróleo - agua	2.0	35.19	40	37.5	8	NO
T-04	Fina capa de petróleo - agua	2.0	35.19	40	37.5	8	NO
T-D	Diesel	3.0	27.46	40	37.5	8	NO

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

d2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 1, y comparándolos con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación, edificaciones o construcciones contiguas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 25 Facilidad de Inyección 1 Afección al personal o edificaciones contiguas

Facilidad de Inyección 1 Afección al personal o edificaciones contiguas								
Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Rad en área de camper u oficinas	Rad máx en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exp de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exp personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-01	Fina capa de petróleo - agua	15.0	5.41	12.6	4.0	4.7	1.7	NO
T-02	Fina capa de petróleo - agua	16.1	3.62	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-03	Fina capa de petróleo - agua	19.0	3.57	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-04	Fina capa de petróleo - agua	23.1	2.99	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-D	Diesel	42.2	0.92	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

e) **Facilidad de Inyección 2**

La Facilidad de Inyección 2 es una estación de inyección de agua de formación su principal función es almacenar agua para que sea inyectada mediante bombas a los pozos inyectoras, ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, sin embargo, NO cuenta con sistema de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 26 Facilidad de Inyección 2 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-RW1	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-RW2	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-RW3	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-D	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

Los fluidos que ingresan a la Facilidad de Inyección 2 tienen el siguiente proceso:

- El agua de formación es bombeada de estaciones productoras del campo, el agua ingresa a la estación y es almacenada a los tanques T-RW1, T-RW2 y T-RW3, esta agua tiene trazas de crudo que debido al reposo en los tanques y a la diferencia de densidades, se acumula en la superficie, formando una delgada capa de petróleo; succionado de los tanques mediante camiones de succión vacuum, sin embargo, dentro de los tanques siempre está presente las trazas de petróleo.
- El agua es succionada de los tanques y reinyectada a una formación apta para la recepción del agua de formación.
- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

e1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 2, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 27 Facilidad de Inyección 2 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-RW1	Fina capa de petróleo - agua	2.5	34.49	40	37.5	8	NO
T-RW2	Fina capa de petróleo - agua	2.5	34.49	40	37.5	8	NO
T-RW3	Fina capa de petróleo - agua	2.5	34.49	40	37.5	8	NO
T-D	Fina capa de petróleo - agua	10.0	6.90	40	37.5	8	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

e2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 2, y comparándolos con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28 Facilidad de Inyección 2 Afección al personal o edificaciones contiguas

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Rad en área de camper u oficinas	Rad máx en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exp de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exp personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-RW1	Fina capa de petróleo - agua	43.0	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-RW2	Fina capa de petróleo - agua	43.5	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-RW3	Fina capa de petróleo - agua	45.3	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-D	Fina capa de petróleo - agua	50.7	0.73	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

f) **Facilidad de Inyección 3**

La Facilidad de Inyección 3 es una estación de inyección de agua de formación su principal función es almacenar agua para que sea inyectada mediante bombas a los pozos inyectoras, ésta estación cuenta con extintores de 20 lbs y 150 lbs PQS – ABC, sin embargo, NO cuenta con sistema de protección contra incendios, por lo que los valores tolerables a continuación se presenta el listado de los tanques y recipientes a presión con las que cuenta esta facilidad.

Tabla 29 Facilidad de Inyección 3 Lista de recipientes a presión y tanques atmosféricos

Equipo	Tipo	Capacidad	Tipo de fluido contenido	Altura - Longitud	Diámetro
				m	m
T-A45-1	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-A45-2	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-A45-3	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-A45-4	Tanque atmosférico	500 bbl	Agua de formación, con presencia de una capa delgada de petróleo	7.22	3.85
T-D	Tanque atmosférico	200 bbl	Diesel combustible	4.80	2.70

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

Los fluidos que ingresan a la facilidad de inyección 1 tienen el siguiente proceso:

- El agua de formación es bombeada de estaciones productoras del campo, el agua ingresa a la estación mediante tuberías y es almacenada a los tanques T-A45-1, T-A45-2, T-A45-3 y T-A45-4, esta agua tiene trazas de crudo que debido al reposo en los tanques, a la diferencia de densidades y a la poca solubilidad del petróleo en el agua, se acumula en la superficie, formando una delgada capa de petróleo; ésta capa es removida de los tanques mediante camiones de succión vacuum, sin embargo, dentro de los tanques siempre está presente las trazas de petróleo.
- El agua es succionada de los tanques y reinyectada a una formación apta para la recepción del agua de formación.

- Adicionalmente se cuenta con un tanque de almacenamiento de combustible diesel que sirve para abastecer a los motores de combustión interna utilizados en la locación.

f1) Enfoque Afección a equipos contiguos

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 3, y comparándolas con los valores tolerables, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 30 Facilidad de Inyección 3 Afección a equipos contiguos

Equipo	Producto modelado	Distancia al equipo más cercano	Radiación térmica recibida por el equipo más cercano	Radiación máxima NTP 326	Radiación máxima Guía Zonas...	Radiación máxima Equipos sin protección	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-A45-1	Fina capa de petróleo - agua	3.0	34.49	40	37.5	8	NO
T-A45-2	Fina capa de petróleo - agua	3.0	27.56	40	37.5	8	NO
T-A45-3	Fina capa de petróleo - agua	3.0	27.56	40	37.5	8	NO
T-A45-4	Fina capa de petróleo - agua	3.0	27.56	40	37.5	8	NO
T-D	Fina capa de petróleo - agua	4.0	19.95	40	37.5	8	NO

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

f2) Enfoque Afección a personal

De los cálculos realizados de acuerdo a la implantación de la Facilidad de Inyección 3, y comparándolos con los valores tolerables relacionados con la posible afección al personal que labora en la locación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 31 Facilidad de Inyección 3 Afección al personal o edificaciones contiguas

Equipo	Producto modelado	Distancia al área de camper u oficinas	Rad en área de camper u oficinas	Rad máx en edificaciones contiguas Guía Zonas...	Exp de personas desprotegidas NTP 426	Tiempo máximo de exposición 30 s (quemaduras primer grado) Guía Zonas...	Exp personas sin tener consecuencias Guía Zonas...	Inferior a lo tolerable
		m	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	KW/m ²	SI / NO
T-A45-1	Fina capa de petróleo - agua	38.3	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-A45-2	Fina capa de petróleo - agua	42.2	0.75	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-A45-3	Fina capa de petróleo - agua	41.3	0.75	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-A45-4	Fina capa de petróleo - agua	45.2	0.74	12.6	4.0	4.7	1.7	SI
T-D	Fina capa de petróleo - agua	53.1	0.22	12.6	4.0	4.7	1.7	SI

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

3.1.1 Análisis de resultados

Para analizar los resultados, se deben tomar en cuenta los siguientes datos:

- Dimensiones del equipo
- Implantación del equipo en el campo
- Modelación matemática de la radiación térmica
- Distancias mínimas dispuestas por normativa nacional, regulaciones internacionales o recomendaciones de organismos técnicos o empresas internacionales.

A continuación se presentan un análisis, para las 6 facilidades detalladas en el presente trabajo 3 de producción y 3 de reinyección, se obtuvieron los resultados descritos a continuación.

3.1.2 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 1

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 32 Facilidad de Producción 1 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Diámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuatorador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa Nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-134	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI

Equipo	Producto modelado	Diámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa Nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-141	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-143	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-144	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-130	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-133	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-101	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-128	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-139	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-140	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-125	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
T-126	Petróleo	3.85	2	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
TD-01	Petróleo	3.85	3	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
BO-178	Gas Natural	0.91	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
BO-182	Gas Natural	0.91	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI

Equipo	Producto modelado	Diámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa Nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
V-181	Petróleo	2.13	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
V-136	Petróleo	1.83	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
V-175	Gas Natural	0.91	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
V-176	Gas Natural	0.91	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
T-D	Diesel combustible	3.85	5	1.93	1.28	1.93	1.28	1.50	SI	SI
OF	Oficina / Camper	N/A	25	N/A	15.00	15.00	2.00	N/A	SI	SI

Fuente: Andrés Maya

3.1.3 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 2

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 33 Facilidad de Producción 2 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Díámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa Nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-10	Petróleo - agua	3.85	3	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-20	Petróleo - agua	3.85	3	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
BO-10	Gas Natural	0.90	3	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	NO
SC-01	Gas Natural	0.90	2.50	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	NO
SC-02	Gas Natural	0.90	2.50	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	NO
V-MTU	Petróleo	3.85	40	1.93	1.28	15	1.28	1.93	SI	SI
T-D	Diesel	3.85	8	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
OF	Oficina / Camper	N/A	67.46	N/A	15.00	30	2.00	N/A	SI	SI

* Dato referencial emitido por grupo técnico - NO considerado como normativa

Fuente: Andrés Maya

3.1.4 Facilidad de Producción Facilidad de Producción 3

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias

mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 34 Facilidad de Producción 3 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Díámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-151	Petróleo	3.85	1.5	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-153	Petróleo	3.85	1.5	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-149	Petróleo	3.85	1.5	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
TD-05	Petróleo	3.85	1.5	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
BT-10	Gas	0.90	4.0	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
BT-11	Gas	0.90	4.0	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	SI
SC-02	Gas	0.90	2.5	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	NO
SC-03	Gas	0.90	2.5	N/A	2.50	15	N/A	1.50	SI	NO
OF	Oficina / Camper	N/A	30.00	N/A	15	30	2.00	N/A	SI	SI

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

3.1.5 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 1

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 35 Facilidad de Inyección 1 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Diámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-01	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-02	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-03	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-04	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-D	Diesel	2.70	3.0	1.35	0.90	1.35	0.90	1.35	SI	NO
OF	Oficina / Camper	N/A	15	N/A	15.00	30	2.00	N/A	SI	NO

* Dato referencial emitido por grupo técnico - NO considerado como normativa

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

3.1.6 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 2

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 36 Facilidad de Inyección 2 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Díámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-RW1	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-RW2	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-RW3	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-D	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	SI
OF	Oficina / Camper	N/A	30.00	N/A	15.00	30	2.00	N/A	SI	SI

* Dato referencial emitido por grupo técnico - NO considerado como normativa

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

3.1.7 Facilidad de Inyección Facilidad de Inyección 3

En la siguiente tabla se resume los resultados de cumplimiento o no de las distancias de seguridad, comparándolos con radiación térmica del tanque o recipiente a presión hacia el equipo u oficina más cercana, también se resume en la misma tabla las distancias mínimas exigidas en normativa nacional, internacional (Perú y España) y las recomendaciones de los organismos técnicos descritos en la tabla expuesto en el marco teórico del presente trabajo.

Tabla 37 Facilidad de Inyección 3 Comparativa de Distancias por normativa y radiación térmica

Equipo	Producto modelado	Díámetro	Distancia al equipo más cercano	Distancia por RO 1215	Distancia por PEMEX*	Distancia por IRI*	Distancia Norma Petroecuador Distancia Reglamentación Perú	Distancias por Real Decreto 379	Distancia cumple por Normativa nacional	Cumple por Radiación Térmica según Recomendaciones Internacionales
		m	m	m	m	m	m	m	SI / NO	SI / NO
T-A45-1	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-A45-2	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-A45-3	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-A45-4	Fina capa de petróleo - agua	3.85	2.0	1.93	1.28	1.93	1.28	1.93	SI	NO
T-D	Fina capa de petróleo - agua	2.70	2.0	1.35	0.90	1.35	0.90	1.35	SI	NO
OF	Oficina / Camper	N/A	38.30	N/A	15.00	30	2.00	N/A	SI	SI

* Dato referencial emitido por grupo técnico - NO considerado como normativa

Fuente: Andrés Maya – levantamiento de campo

3.2 Aplicación Práctica

Dentro de este punto es importante también identificar cual es el radio de afectación por radiación térmica de los tanques atmosféricos y recipientes a presión analizados como equipos individuales de tal manera que se pueda tener las distancias mínimas referencias para diferentes equipos, con diferentes productos y diámetros típicos de los equipos.

Se evaluó la sensibilidad del modelo a la variación y combinación de los parámetros climáticos de la Estación Aeropuerto Orellana, correspondiente al período tomado de julio 2011 a abril 2015:

- Humedad Relativa - Media multianual 81.00 %.
- Humedad Relativa - Máxima multianual 92.50 %.
- Humedad Relativa - Mínima multianual 67.50 %.
- Temperatura Media - Media multianual 26.32 %.
- Temperatura Media - Máxima multianual 28.70 %.
- Temperatura Media - Mínima multianual 24.80 %.

Tabla 38 Sensibilidad del modelo con relación a la Humedad y Temperatura media máxima y mínima en el Oriente Ecuatoriano Modelación matemática por Radiación Térmica calculada a 1 m

Equipo	Tipo de variable	Humedad	Temp ambiente	Radiación a 1 m	Variación de Radiación vs media
		%	°C	KW/m ²	%
Tanque Atmosférico Crudo	Media (Control)	81.00	26.32	37.46	0.00%
Tanque Atmosférico Diesel		81.00	26.32	46.1	0.00%
Bota a Gas		81.00	26.32	38.05	0.00%
Separador Trifásico		81.00	26.32	37.63	0.00%
Tanque Atmosférico Crudo	Humedad mínima Temperatura mínima	67.50	24.80	38.28	2.19%
Tanque Atmosférico Diesel		67.50	24.80	47.11	2.19%
Bota a Gas		67.50	24.80	38.88	2.18%
Separador Trifásico		67.50	24.80	37.18	-1.20%

Equipo	Tipo de variable	Humedad	Temp ambiente	Radiación a 1 m	Variación de Radiación vs media
		%	°C	KW/m ²	%
Tanque Atmosférico Crudo	Humedad máxima Temperatura mínima	92.50	24.80	37.21	-0.67%
Tanque Atmosférico Diesel		92.50	24.80	45.79	-0.67%
Bota a Gas		92.50	24.80	37.8	-0.66%
Separador Trifásico		92.50	24.80	37.38	-0.66%
Tanque Atmosférico Crudo	Humedad mínima Temperatura máxima	67.50	28.70	37.48	0.05%
Tanque Atmosférico Diesel		67.50	28.70	46.13	0.07%
Bota a Gas		67.50	28.70	38.08	0.08%
Separador Trifásico		67.50	28.70	37.66	0.08%
Tanque Atmosférico Crudo	Humedad máxima Temperatura máxima	92.50	28.70	36.44	-2.72%
Tanque Atmosférico Diesel		92.50	28.70	44.84	-2.73%
Bota a Gas		92.50	28.70	37.07	-2.58%
Separador Trifásico		92.50	28.70	36.61	-2.71%
Variación Promedio					-0.49%

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

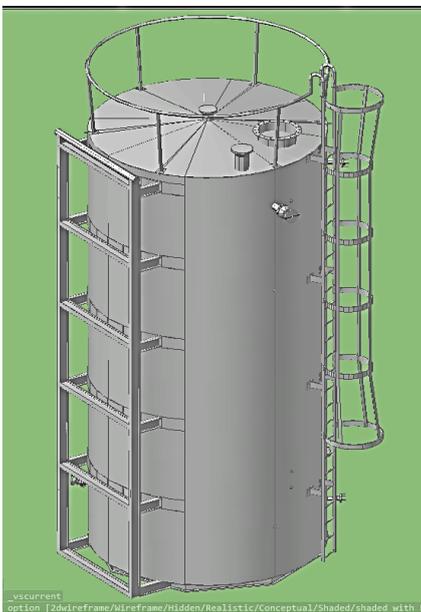
Considerando que los modelos de dispersión térmica son poco sensibles a las variables de temperatura media ambiente y a la humedad relativa; es posible generar tablas de distancias por radiación térmica; estas tablas se limitan o son solo aplicables a las condiciones ambientales de Oriente Ecuatoriano y a las dimensiones y producto almacenado.

Las siguientes tablas pueden servir de guía de distancias mínimas de seguridad para la implantación de facilidades tempranas que utilicen los equipos descritos en los siguientes puntos.

3.2.1 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para crudo 500 BBL

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 39 Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para petróleo 500 BBL

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Tanque Atmosférico para Petróleo
	Diámetro	3.85 metros
	Altura	7.26 metros
	Capacidad	500 BBL
	Radio a 40 KW/m²	0.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.00 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	7.70 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	11.60 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	15.50 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	34.00 metros

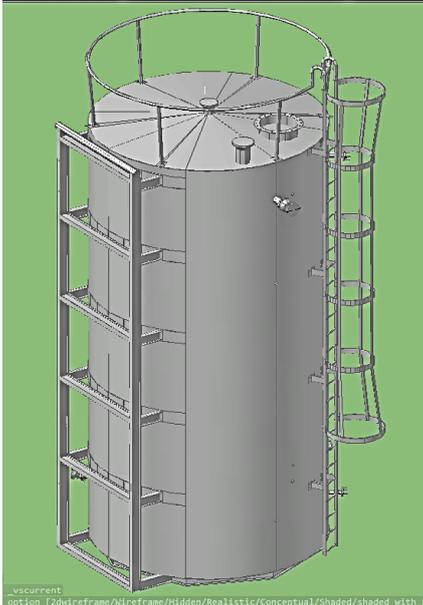
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a un tanque atmosférico de 500 bbl para almacenamiento de crudo es de 11.6 m.

3.2.2 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para agua oleosa 500 BBL

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 40 Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para agua oleosa 500 BBL

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Tanque Atmosférico para Agua oleosa
	Díámetro	3.85 metros
	Altura	7.26 metros
	Capacidad	500 BBL
	Radio a 40 KW/m²	0.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.00 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	7.70 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	11.60 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	15.50 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	34.00 metros

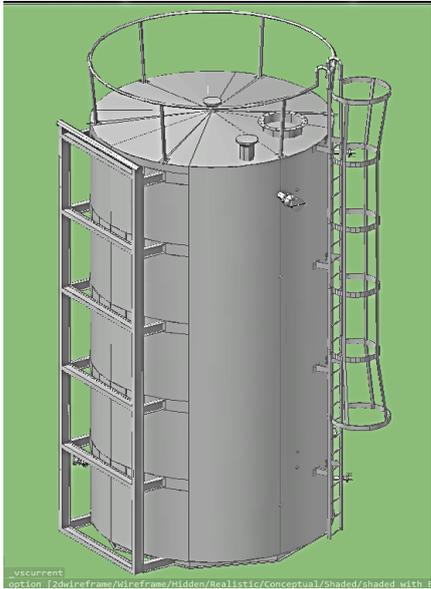
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a un tanque atmosférico de 500 bbl para almacenamiento de aguas oleosas es de 11.6 m.

3.2.3 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para diesel 500 BBL

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 41 Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para diesel 500 BBL

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Tanque Atmosférico para Diesel
	Diámetro	3.85 metros
	Altura	7.26 metros
	Capacidad	500 BBL
	Radio a 40 KW/m²	2.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	2.80 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	7.80 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	11.60 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	15.50 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	34.00 metros

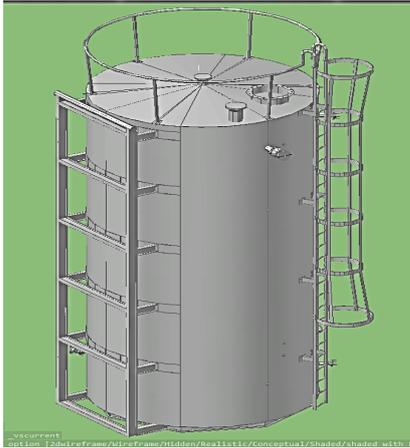
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a un tanque atmosférico de 500 bbl para almacenamiento de diesel atmosférico es de 11.6 m, siendo éste el producto más riesgoso desde el punto de vista de radiación térmica a corta distancia.

3.2.4 Radiación térmica de un Tanque atmosférico para diesel 200 BBL

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 42 Tabla de radiación térmica - Tanque Atmosférico para diesel 200 BBL

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Tanque Atmosférico para Diesel
	Diámetro	2.70 metros
	Altura	4.80 metros
	Capacidad	200 BBL
	Radio a 40 KW/m²	1.76 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	2.10 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	5.50 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	8.20 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	12.00 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	24.50 metros

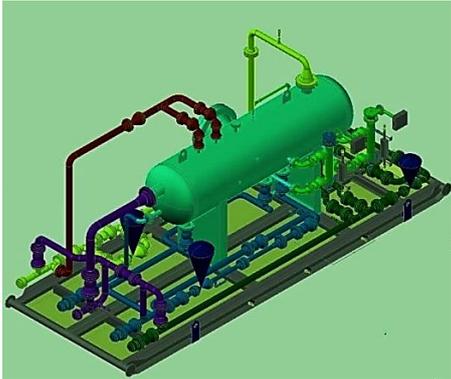
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a un tanque atmosférico de 200 bbl para almacenamiento de diesel atmosférico es de 8.2 m, siendo éste el producto más riesgoso desde el punto de vista de radiación térmica a corta distancia.

3.2.5 Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico 20000 BDFD

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 43 Tabla de radiación térmica – Separador Bifásico o Trifásico 20000 BDFD

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Separador Trifásico o bifásico
	Diámetro	2.13 metros
	Altura	9.45 metros
	Capacidad	10000 BOPD 10000 BWPD 3'000000 SCFPD
	Radio a 40 KW/m²	0.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.00 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	10.50 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	15.20 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	21.00 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	40.00 metros

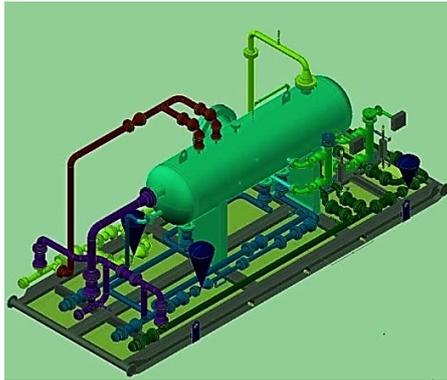
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a separador de 20000 BDFD es de 15.2 m.

3.2.6 Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico 10000 BDFD

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 44 Tabla de radiación térmica – Separador Bifásico o Trifásico 10000 BDFD

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Separador Trifásico o bifásico
	Diámetro	1.83 metros
	Altura	6.40 metros
	Capacidad	5000 BOPD 5000 BWPD 1'500000 SCFPD
	Radio a 40 KW/m²	0.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.00 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	7.70 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	11.60 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	15.50 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	34.00 metros

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a separador de 10000 BDFD es de 11.6 m.

3.2.7 Radiación térmica de un Separador Trifásico o Bifásico MTU 10000 BDFD

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 45 Tabla de radiación térmica – Separador MTU 10000 BDFD

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Separador MTU
	Diámetro	1.83 metros
	Altura	6.40 metros
	Capacidad	5000 BOPD 5000 BWPD 1'500000 SCFPD
	Radio a 40 KW/m²	0.50 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.00 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	7.70 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	11.60 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	15.50 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	34.00 metros

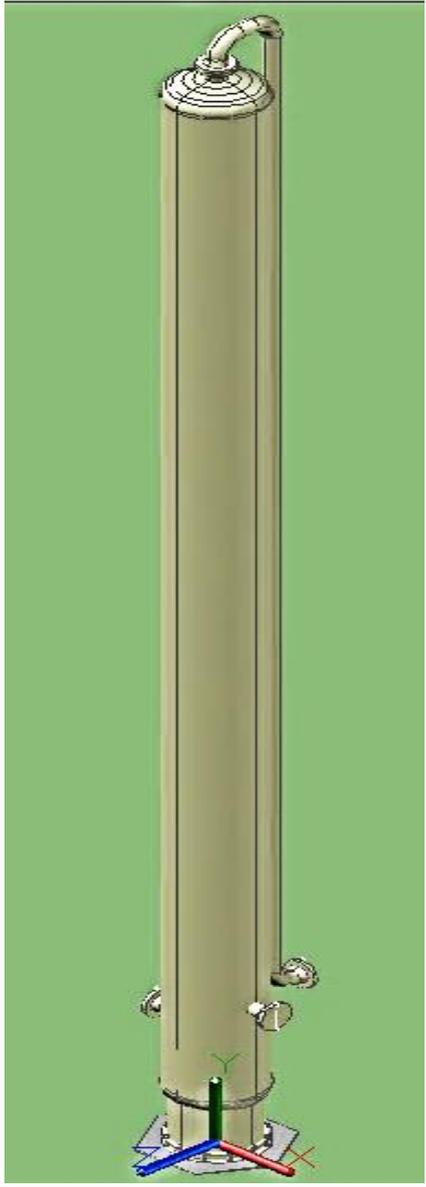
Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a separador de 10000 BDFD en una MTU es de 11.6 m.

3.2.8 Radiación térmica de una Bota de Gas 500000 SCFD y 4500 BFPD

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 46 Tabla de radiación térmica – Bota de Gas 500000 SCFD y 4500 BFPD

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Bota de Gas
	Diámetro	0.91 metros
	Altura	9.30 metros
	Capacidad	500000 SCFD 4500 BFPD
	Radio a 40 KW/m²	0.90 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.20 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	2.75 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	3.70 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	6.40 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	11.40 metros

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a una bota de gas de Bota de Gas 500000 SCFD y 4500 BFPD es de 3.7 m.

Radiación térmica de un Scrubber 500000 SCFD

En la siguiente tabla se presenta los radios de afectación por radiación térmica para el equipo analizado.

Tabla 47 Tabla de radiación térmica – Scrubber 500000 SCFD

Ficha de afectación por Radiación Térmica		
	Equipo	Scrubber
	Diámetro	0.91 metros
	Altura	3.20 metros
	Capacidad	500000 SCFD
	Radio a 40 KW/m²	0.90 metros
	Radio a 37.5 KW/m²	1.20 metros
	Radio a 12.6 KW/m²	2.75 metros
	Radio a 8.0 KW/m²	3.70 metros
	Radio a 4.7 KW/m²	6.40 metros
	Radio a 1.7 KW/m²	11.40 metros

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En facilidades que carecen de sistemas de combate de incendios que permitan el enfriamiento de equipos aledaños, la distancia prudencial para la implantación de equipos cercanos a una bota de gas de Bota de Gas 500000 SCFD es de 3.7 m.

A continuación se presenta una tabla comparativa, en la que se identifica si las distancias de seguridad dispuestas normativa nacional o recomendadas Internacionales, son suficientes para disminuir los riesgos por radiación térmica en el caso de un incendio en un tanque atmosférico o recipiente a presión, esta comparación se lo realiza bajo dos enfoques, de protección a Equipos Contiguos y enfoque de protección por afectación al Personal

Enfoque de protección a Equipos contiguos

Tabla 48 Comparativa de distancias contempladas normativa nacional y Recomendaciones internacionales vs radios de la radiación térmica - enfoque de protección a Equipos contiguos

Aplicación	Tanque Atmosférico 500 bbl para Petróleo o Agua Oleosa	Tanque 500 bbl Atmosférico para Diesel	Tanque Atmosférico 200 bbl para Diesel	Separador Trifásico o bifásico 20,000 BDFD	Separador Trifásico o bifásico 10,000 BDFD	Bota de Gas 500000 SCFD 4500 BFPD	Scrubber 500000 SCFD
Radio a 40 KW/m ²	0.50 m	2.50 m	1.76 m	0.50 m	0.50 m	0.90 m	0.90 m
Radio a 37.5 KW/m ²	1.00 m	2.80 m	2.10 m	1.00 m	1.00 m	1.20 m	1.20 m
Radio a 8.0 KW/m ²	11.60 m	11.60 m	8.20 m	15.20 m	11.60 m	3.70 m	3.70 m
Distancia Según 1215	1.93 m	1.93 m	1.35 m	N/A	N/A	N/A	N/A
Distancia según Norma Petroecuador	1.28 m	1.28 m	0.90 m	N/A	N/A	N/A	N/A
Distancia según Ministerio de Energía y Minas Perú	1.28 m	1.28 m	0.90 m	N/A	N/A	N/A	N/A
Distancia Según Decreto Real 379	1.93 m	1.93 m	1.35 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m
Según IRI	1.93 m	1.93 m	1.36 m	15 m	15 m	15 m	15 m

Aplicación	Tanque Atmosférico 500 bbl para Petróleo o Agua Oleosa	Tanque 500 bbl Atmosférico para Diesel	Tanque Atmosférico 200 bbl para Diesel	Separador Trifásico o bifásico 20,000 BDFD	Separador Trifásico o bifásico 10,000 BDFD	Bota de Gas 50000 SCFD 4500 BFPD	Scrubber 50000 SCFD
Distancia según Norma Petroecuador	2 m	2 m	2 m	N/A	N/A	N/A	N/A
Distancia según Ministerio de Energía y Minas Perú	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m
Distancia Según Decreto Real 379	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Según IRI	76 m	76 m	76 m	30 m	30 m	30 m	30 m
Según PEMEX	76 m	76 m	76 m	30 m	30 m	30 m	30 m

Fuente: Andrés Maya – modelación matemática

En la siguiente tabla se presenta la normativa nacional, internacional o las recomendaciones cuyas distancias de seguridad, permitan disminuir el riesgo por radiación térmica en un tanque o recipiente a presión, ya sea con enfoque de protección a equipos o para edificaciones,

Tabla 50 Normativa o recomendaciones cuyas distancias disminuyen el riesgo por radiación.

Aplicación	Tanque Atmosférico 500 bbl para Petróleo o Agua Oleosa	Tanque 500 bbl Atmosférico para Diesel	Tanque Atmosférico 200 bbl para Diesel	Separador Trifásico o bifásico 20,000 BDFD	Separador Trifásico o bifásico 10,000 BDFD	Bota de Gas 50000 SCFD 4500 BFPD	Scrubber 50000 SCFD
Radio a 40 KW/m ² Límite permisible para acero	Todas	Ninguna	Ninguna	Todas	Todas	Todas	Todas

Aplicación	Tanque Atmosférico 500 bbl para Petróleo o Agua Oleosa	Tanque 500 bbl Atmosférico para Diesel	Tanque Atmosférico 200 bbl para Diesel	Separador Trifásico o bifásico 20,000 BDFD	Separador Trifásico o bifásico 10,000 BDFD	Bota de Gas 50000 SCFD 4500 BFPD	Scrubber 50000 SCFD
Radio a 37.5 KW/m² Para tanques de la almacenamiento de productos inflamables	Todas	Ninguna	Ninguna	R.D o PEMEX	R.D o PEMEX	R.D o PEMEX	R.D o PEMEX
Radio a 12.6 KW/m² Edificaciones contiguas	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú	PEMEX, IRI o Min Perú
Radio a 8.0 KW/m² Equipos sin protección	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Radio a 4.7 KW/m² Tiempo máximo de exposición 30s (quemaduras de primer grado)	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI	Ninguna	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI
Radio a 1.7 KW/m² Exposición de personas sin tener consecuencias	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI	Ninguna	Ninguna	PEMEX, IRI	PEMEX, IRI

Fuente: Andrés Maya

Todas

- RAOHE Ministerio de Energía y Minas Ecuador Norma Petroecuador SI-006 Distancia Mínimas de Seguridad...
- PEMEX Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos...
- Industrial Risk Insurers IRI
- Ministerio de Energía y Minas - Reglamento de Seguridad para el almacenamiento de Hidrocarburos Perú
- Real Decreto 379/2001 - Ministerio de Ciencia y Tecnología Reglamento de almacenamiento de productos químicos

R.D o PEMEX

- PEMEX Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios
- Real Decreto 379/2001 - Ministerio de Ciencia y Tecnología Reglamento de almacenamiento de productos químico

PEMEX, IRI

- PEMEX Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios
- Industrial Risk Insurers IRI

Ninguna

- Ninguna norma contempla este punto o cubre el riesgo por radiación térmica para la condición expuesta

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones.

- En forma general las distancias que existentes entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertepcet S.A., cumplen con la normativa nacional, pero NO son suficientes para disminuir el riesgo por radiación térmica debido al efecto dominó que se podría presentar en equipos aledaños a la fuente.
- Las distancias que existentes entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertepcet S.A., SI cumplen con lo contemplado en la normativa Ecuatoriana.
- En forma general las distancias que existentes entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertepcet S.A., permiten tener radiación térmica inferior al máximo permisible contemplado en la NTP 326 y la Guía Zonas de Planificación para Accidentes Graves de Tipo Térmico.
- Las distancias que existentes entre los tanques atmosféricos y recipientes a presión 5 de las 6 facilidades analizadas de Sertepcet S.A. en las que no se cuenta con sistema fijo de combate a incendio, éstas no permiten reducir el riesgo por radiación térmica para efecto dominó de acuerdo al Real Decreto 1196.
- En las Facilidades Analizadas, y la radiación térmica emitida por los taques atmosféricos o recipientes a presión, tiene un cumplimiento de la normativa nacional tanto por el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador como por las normas de Petroecuador; pero al compararla con las recomendaciones internacionales, relacionadas con la radiación térmica cumplen de manera parcial; esto dependiendo de la normativa con la que se esté comparando.

- Desde el punto de vista de radiación térmica (exclusivamente), el diesel es el producto que presenta mayor riesgo por radiación térmica hacia los equipos más cercanos.
- Con respecto a las distancias mínimas de separación contempladas en la legislación nacional e internacional, así como las recomendaciones emitidas por organismos o empresas internacionales se concluye:
 - Algunas de las normativas son suficientes para disminuir el riesgo por radiación térmica para equipos y edificaciones contiguas que se encuentren protegidas mediante un sistema fijo contra incendio.
 - Ninguna de las normativas analizadas cuenta con distancias de seguridad suficiente para disminuir el riesgo por radiación para equipos o edificaciones que carezcan de sistema fijo contra incendio.
 - Algunas de las normas analizadas cuenta con distancias de seguridad suficientes para protección al personal y a edificaciones contiguas.

4.2 Recomendaciones

- En implantación y construcción de nuevas facilidades es recomendable, que se consideren las distancias de seguridad por radiación térmica para tanques de almacenamiento y recipientes a presión expuestas en el punto 3.2 del presente trabajo para:
 - a. 37.5 KW/m^2 entre tanques para tanques de almacenamiento de productos inflamables, pero nunca inferior a la normativa nacional.
 - b. 12.6 KW/m^2 para edificaciones contiguas, pero nunca inferior a la normativa nacional.
 - c. 8.0 KW/m^2 para cuando se instalen equipos en facilidades que no van a contar con protección de un sistema fijo contra incendios.
- Al ser el diesel es el producto que presenta mayor riesgo por radiación térmica hacia los equipos más cercanos, es recomendable que los tanques de almacenamiento de este producto se ubiquen en áreas distantes, separados de los tanques de crudo, recipientes a presión, área de proceso y área de oficinas o cuartos de control.
- Debido a que 5 de las 6 facilidades analizadas carecen de sistema fijo de combate a incendios, las recomendaciones están encaminadas principalmente reducir la probabilidad de que se produzcan incendios o explosiones:
 - a. Contar áreas de uso restringido de equipos eléctricos y electrónicos no clasificados (exposion proof), es decir que se debe contar con áreas

clasificadas en las locaciones, según norma API 500 Práctica recomendados para Clasificación de emplazamientos Instalaciones Eléctricas en Instalaciones de Petróleo Clasificado como Clase 1 , División 1 y División 2 , con el fin de evitar fuentes de ignición de tipo eléctrica (American Petroleum Institute API-500, 1997):

- **Área Clase I División I:** Lugar en el que en condiciones normales de funcionamiento, puede haber concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables, o en el que frecuentemente, debido a operaciones de reparación o mantenimiento o a fugas, pueda haber concentraciones combustibles de dichos gases o vapores, o en el que la rotura o funcionamiento defectuoso de equipos o procesos pueda liberar concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables y simultáneamente se pueda producir una avería en el equipo eléctrico de una forma en que se pueda causar directamente que el equipo se convierta en una fuente de ignición (Código Eléctrico Nacional CPE INEN 019, 2001).
 - **Área Clase I División II:** lugar en el que en el que se manipulan, procesan o utilizan líquidos volátiles inflamables o gases inflamables pero en el que dichos líquidos, vapores o gases están normalmente dentro de contenedores cerrados o en sistemas cerrados de los que pueden salir sólo por rotura accidental o avería de dichos contenedores o sistemas o si funcionan mal los equipos; o en los que normalmente se evita la concentración combustible de gases o vapores mediante ventilación mecánica forzada y que se puede convertir en peligrosos por la falla o funcionamiento anormal del equipo de ventilación; o adyacente a un lugar de la Clase I División 1 y al que en consecuencia puedan llegar concentraciones combustibles de gases o vapores, a menos que dicha posibilidad se evite mediante un sistema de ventilación forzada desde una fuente de aire limpio y medidas de seguridad eficaces contras las posibles fallas de la ventilación (Código Eléctrico Nacional CPE INEN 019, 2001).
- b. Contar con un robusto sistema aprobación y auditado de Permisos de Trabajo en los cuales estén identificados los diferentes tipos de actividades y tareas a realizar, cuyo requerimiento previo sea el monitoreo de Límite inferior e explosividad LIL:
- **Trabajo Caliente**, trabajo o actividad que por su naturaleza genera superficie caliente, chispas, llama abierta o cualquier otra fuente de ignición dentro de un área clasificada.
 - **Trabajo Frío**, trabajo o actividad que por su naturaleza no genera superficies calientes, chispas, llama abierta o cualquier otro tipo de fuente de ignición.

- c. Contar con sistema de inspecciones preventivas rutinarias que formen parte de los registros de gestión de la empresa, considerando:
 - Orden y Limpieza y condiciones físicas de lugar de trabajo.
 - Extintores de manera mensual cumpliendo la normativa nacional (NTE INEN 0739: Extintores portátiles. Inspección, mantenimiento y recarga, 1987)
 - Herramientas Portátiles
 - Almacenamiento de Químicos y combustibles, cumpliendo la normativa nacional (NTE INEN 2266, 2013)

- d. Contar con un programa de inspecciones especiales con personal calificado bajo normativa nacional o internacional, con el objetivo de disminuir la probabilidad de falla de los tanques atmosféricos y recipientes a presión ya sea en servicio normal o sometidos a radiación térmica durante un incendio, así:
 - **Tanques de Almacenamiento:** Inspección general con una frecuencia anual cumplimiento con el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador D.E 1215 (RAOHE Ministerio de Energía y Minas, 2001), una inspección externa por personal calificado cada 5 años, ultrasonido cada 5 años; la inspección interna dependerá de la tasa de corrosión interna que puede ser determinada en función de la experiencia con otros tanques similares que almacenen fluidos con las mismas características; pero jamás podrá ser inferior a los 20 años, sin embargo si se desconoce la tasa de corrosión, la inspección interna no podrá exceder el período de 10 años, cumpliendo con las recomendaciones del Estándar API 653 Inspección de Tanques, Reparación, Alteración y Reconstrucción (American Petroleum Institute API-653, 2003)
 - **Recipientes a presión** Inspección externa cada 5 años e interna cada 10 años, sin embargo si existe una tasa de corrosión alta, se deberá disminuir la frecuencia de inspección interna; cumpliendo con las recomendaciones del Estándar API 510 Código de Inspección de Recipientes a Presión: Mantenimiento, Inspección, Calificación, Reparación y Alteración (American Petroleum Institute API-510, 2006)

- Contar con un Plan de Respuesta a Emergencias que permita una rápida actuación del personal antes situaciones imprevistas, este plan debe contemplar entre otros, pero sin limitarse a, los siguientes puntos:
 - a. Planificación
 - b. Organización
 - c. Comunicación, incluyendo contactos de organismos estatales de combate a incendios
 - d. Guías de actuación
 - e. Capacitación
 - f. Entrenamiento

- g. Simulacros, incluyendo manejo de extintores y ataque a fuego real
 - h. Evacuación
-
- En las facilidades tempranas que carecen de sistema fijo de combate a incendios, se recomienda evaluar económicamente la posibilidad de instalar un sistema automático de extinción de fuego mediante polvo químico seco o contar con un sistema mínimo de combate a incendio en base a agua – espuma.
 - Realizar un estudio de puesta a tierra de todas las facilidades, de tal manera que se verifique que los tanques o recipientes a presión están protegidos contra descargas estáticas, garantizando una puesta a tierra con una resistividad inferior a 5Ω de acuerdo a lo recomendado en la norma IEEE 142 Práctica recomendada para sistemas de energía comerciales y puesta a tierra de industrias. (IEEE Power systems Engineer Comittee, 1991)

Bibliografía

- NTE INEN 0739: Extintores portátiles. Inspección, mantenimiento y recarga. (1987). Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
- Código Eléctrico Nacional CPE INEN 019. (2001). *Ambientes Especiales*. Quito, Pichincha, Ecuador: Normas INEN.
- American Petroleum Institute API-500. (Noviembre de 1997). Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class 1, Division 1 and Division 2. Washington, Estados Unidos: American Petroleum Institute.
- American Petroleum Institute API-510. (Junio de 2006). Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration. Washington, Estados Unidos: API Publishing Services.
- American Petroleum Institute API-653. (Septiembre de 2003). Tank Inspection, Rep'air, Alteration and Reconstruction . Washington, Estados Unidos: American Petroleum Institute.
- C. Delvosalle. (Septiembre de 1996). Domino effects phenomena definition, First European Symp. Leuven, Belgica.
- Departamento de Ingeniería Química Universidad de Murcia. (2002). *Zonas de Planificación para Accidentes Graves de Tipo Térmico (en el ámbito del Real Decreto 1254/99 (Seveso II))*. Murcia: Dirección General de Protección Civi Mministerio del Interior.
- El Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud ISTAS es una fundación técnico-sindical de Comisiones Obreras CC.OO. (s.f.). *istas.ccoo.es*. Obtenido de http://www.istas.ccoo.es/descargas/gverde/INCENDIO_EXPLOSION.pdf
- Estación Coca Aeropuerto. (Junio de 2015). *Tu tiempo. net*. Obtenido de http://www.tutiempo.net/clima/EL_COCA_AEROPUERTO/840990.htm
- Grupo Universitario de Investigación Analítica de Riesgos (GUIAR) Departamento de Química Analítica de la Universidad de Zaragoza. (2015). *Accidentes graves con materias*

peligrosas - Efecto Dominó. Obtenido de http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Efec_domino.htm#DeRef2

IEEE Power systems Engineer Comittee. (9 de diciembre de 1991). Recommended Practice for Commercial Power Systems Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. Estados Unidos: American National Standards Institute .

Industrial Risk Insurers IRI. (1991). *Plant Layout and Spacing for Oil Chemical Plants*. Connecticut: Industrial Risk Insurers.

Instituto Mexicano del Petróleo. (9 de diciembre de 2014). *Instituto Mexicano del Petróleo*. Obtenido de <http://www.imp.mx/petroleo/?imp=tipos>

Luis Luna Osorio, L. (11 de Noviembre de 2013). *Presupuesto General del Estado*. Obtenido de Presupuesto General del Estado: http://www.aebe.com.ec/data/files/noticias/Noticias2013/2doSemestre/LEELO63_PR ESUP2014.pdf

Manual de Operación de la Franquicia PEMEX. (2008). Operación, Mantenimiento, Seguridad y Protección al Ambiente. *Definiciones*. Mexico D.F., Mexico.

Mesa de Estadísticas laborales (BLS) del Departamento de Trabajo de Estados Unidos. (Abril 2010). *Informe de Lesiones Ocupacionales Fatales y No Fatales - Industrial del Gas y Petróleo*. Estados Unidos: Departamento del Trabajo.

Norma Petroecuador SI-006 Distancia Mínimas de Seguridad que deben contemplarse en instalaciones petroleras. (25 de Junio de 2002). Distancia Mínimas de Seguridad que deben contemplarse en instalaciones petroleras. Quito, Pichincha, Ecuador: Unidad de Relaciones Institucionales - Petroecuador.

NTE INEN 2266. (29 de Enero de 2013). Transporte, Almacenamiento y Manejo de Materiales Peligrosos - Requisitos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN.

PEMEX Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios . (2013). *Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales*. México: PEMEX.

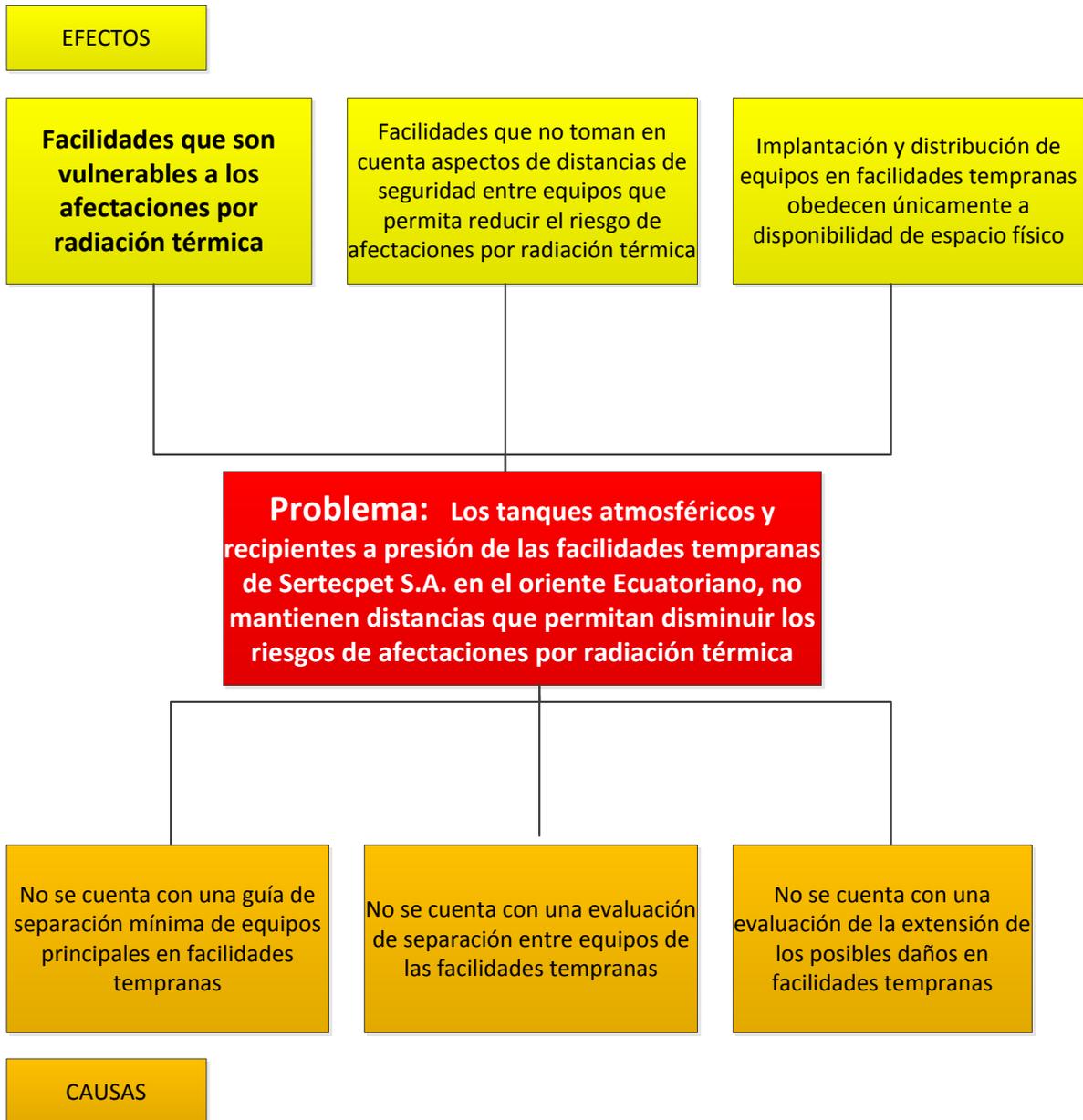
Perú, Ministerio de Energía y Minas - Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos. (16 de 11 de 1993). D.S. No 052-93-EM Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos . *Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos*. Lima, Perú Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

Petroecuador. (2004). Compendio de Normas de Seguridad e Higiene Industrial. Quito, Pichincha, Ecuador: Unidad de Relaciones Institucionales de Petroecuador.

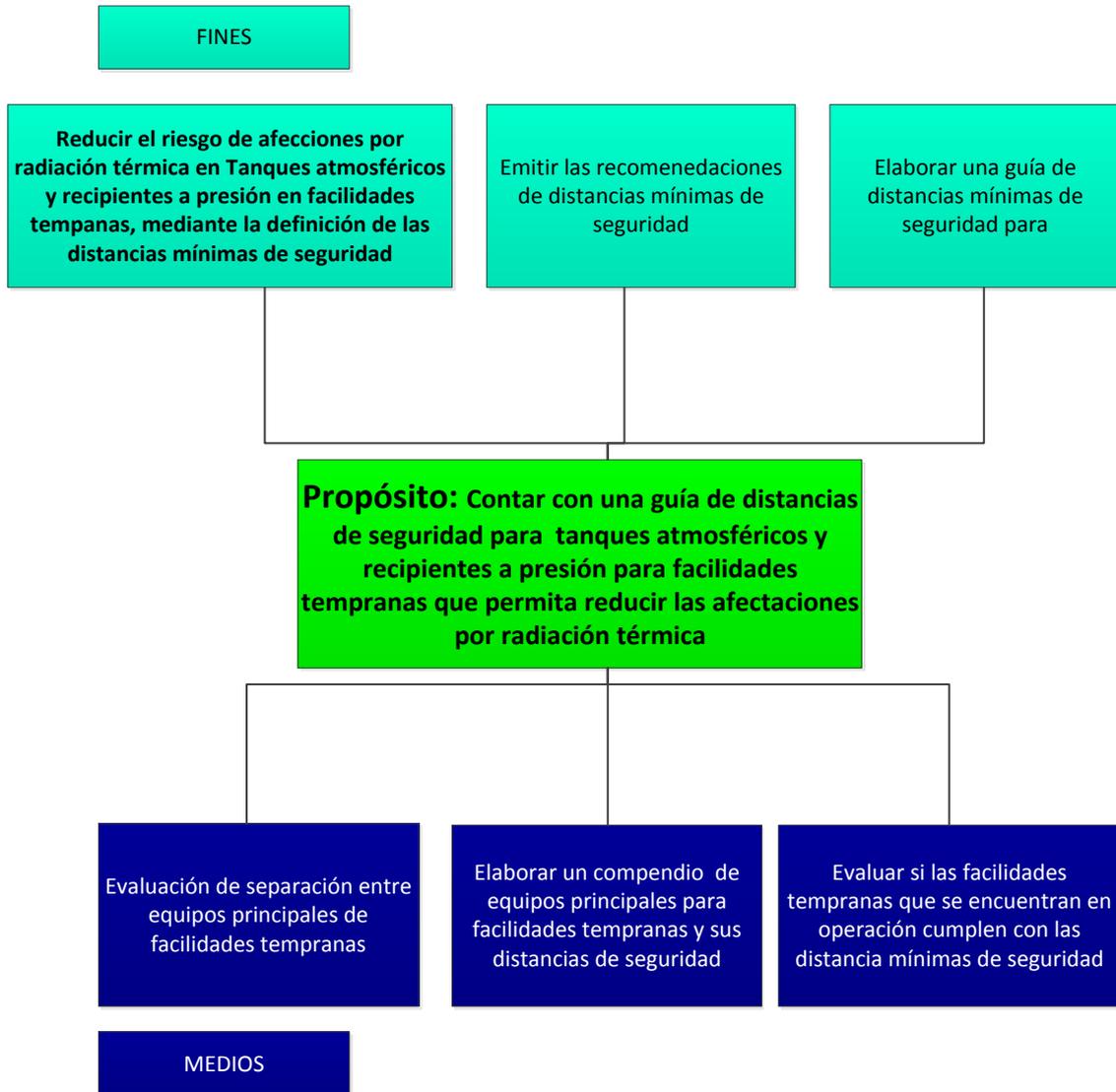
- RAOHE Ministerio de Energía y Minas. (13 de Febrero de 2001). D.E. 1215 Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial.
- Real Decreto 1196. (2003). *Real Decreto 1196*. Madrid: Ministerio del Interior - España. Obtenido de Documentación-GUIAR: http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Efec_domino.htm
- Real Decreto 379/2001 - Ministerio de Ciencia y Tecnología Reglamento de almacenamiento de productos químicos. (6 de 4 de 2001). Reglamento de almacenamiento de productos químicos. *Reglamento de almacenamiento de productos químicos*. Madrid, España.
- Sertecpet S.A. (2014). *Áreas de Negocio Sertecpet S.A.* Obtenido de Exploración y Producción de Gas y Petróleo: <http://www.sertecpet.net/business-areas>
- Sierra, E. T. (1991). NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Sierra, E. T. (1991). NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- www.petroleonet.com. (s.f.).
- Zemansky, M. (1981). *Calor y Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.

ANEXOS

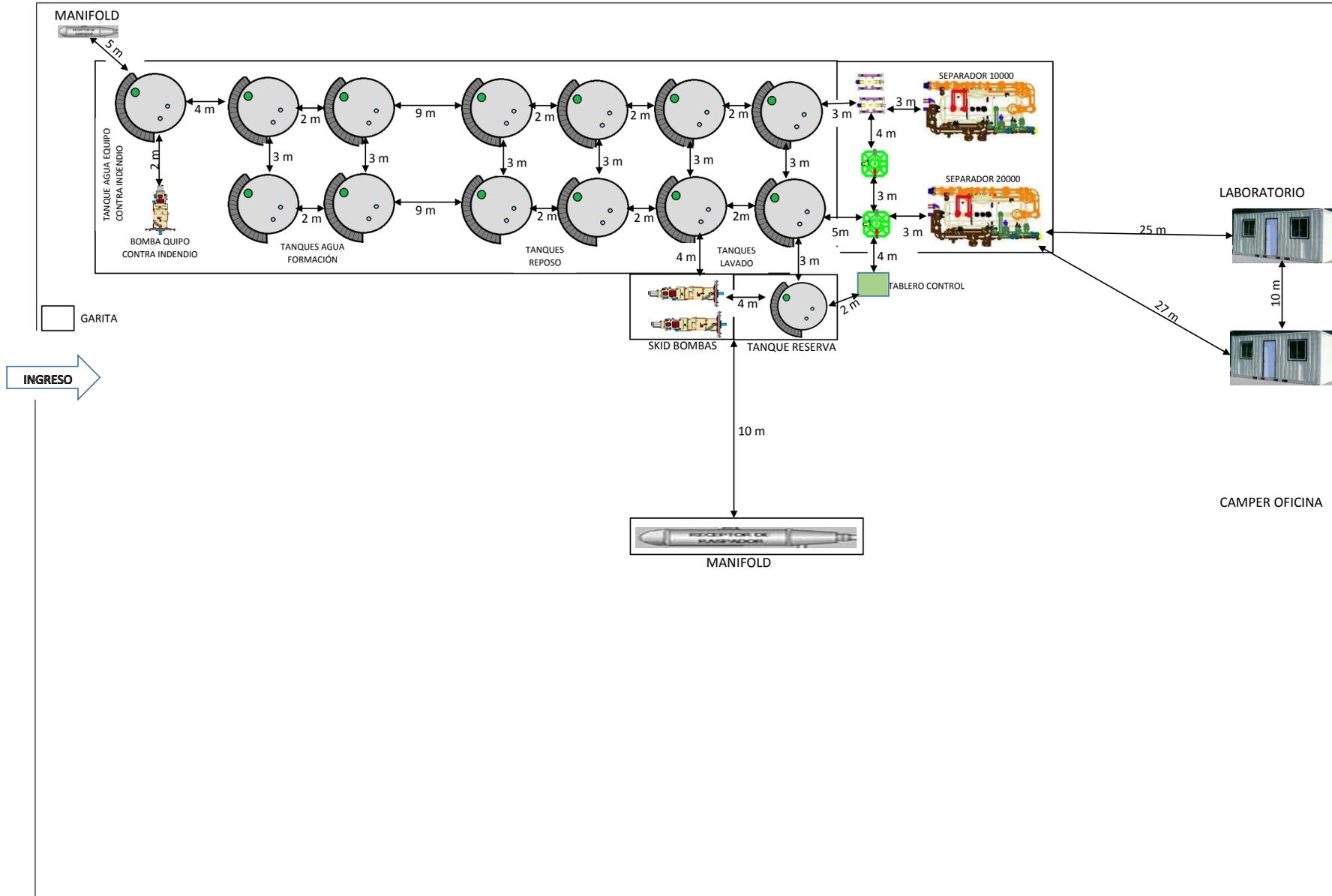
Anexos A Árbol de Problemas “Evaluación de distancias de seguridad por radiación térmica en tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertcpet S.A.”



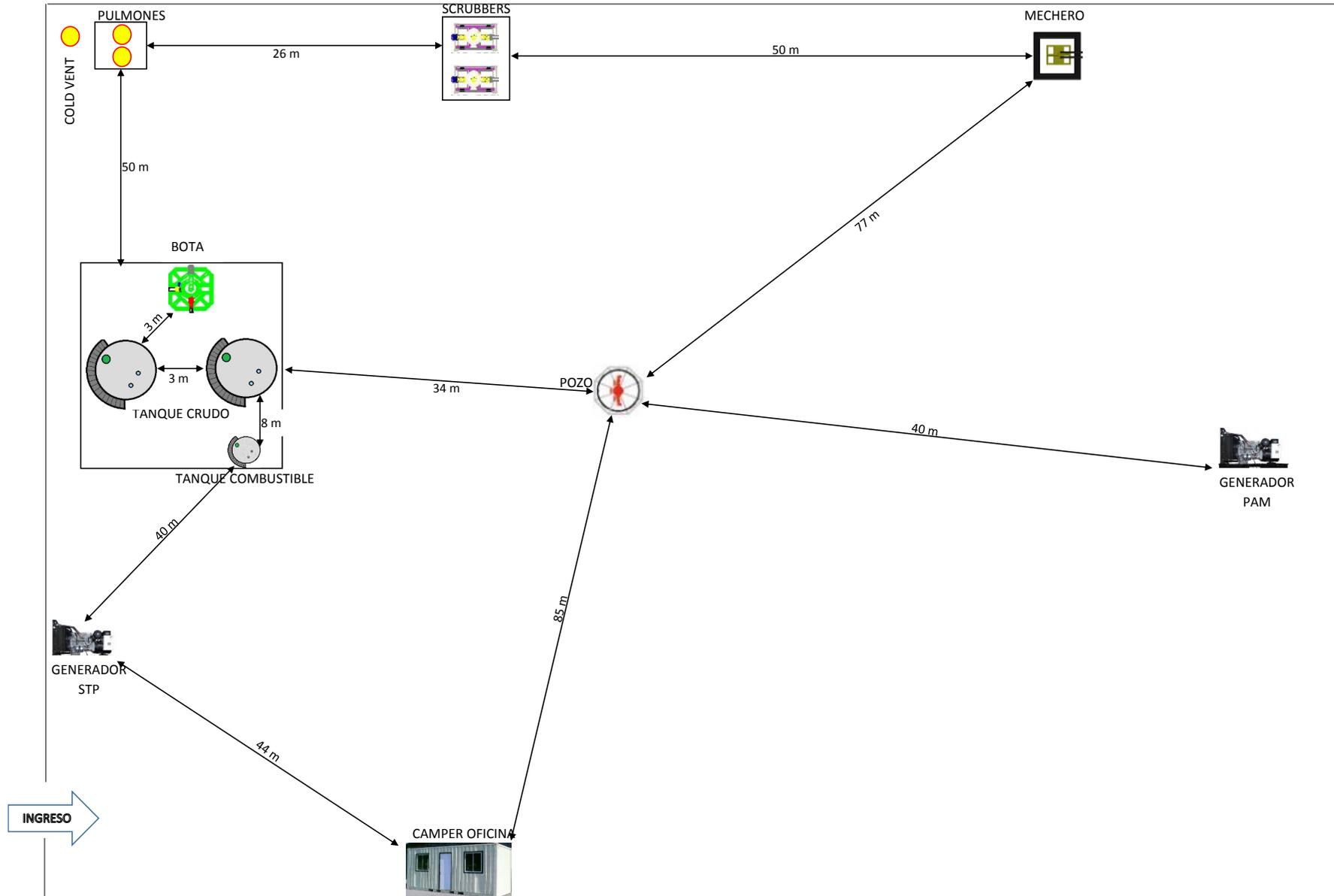
Anexos B Árbol de Objetivos “Evaluación de distancias de seguridad por radiación térmica en tanques atmosféricos y recipientes a presión de las facilidades tempranas de Sertcpet S.A.”



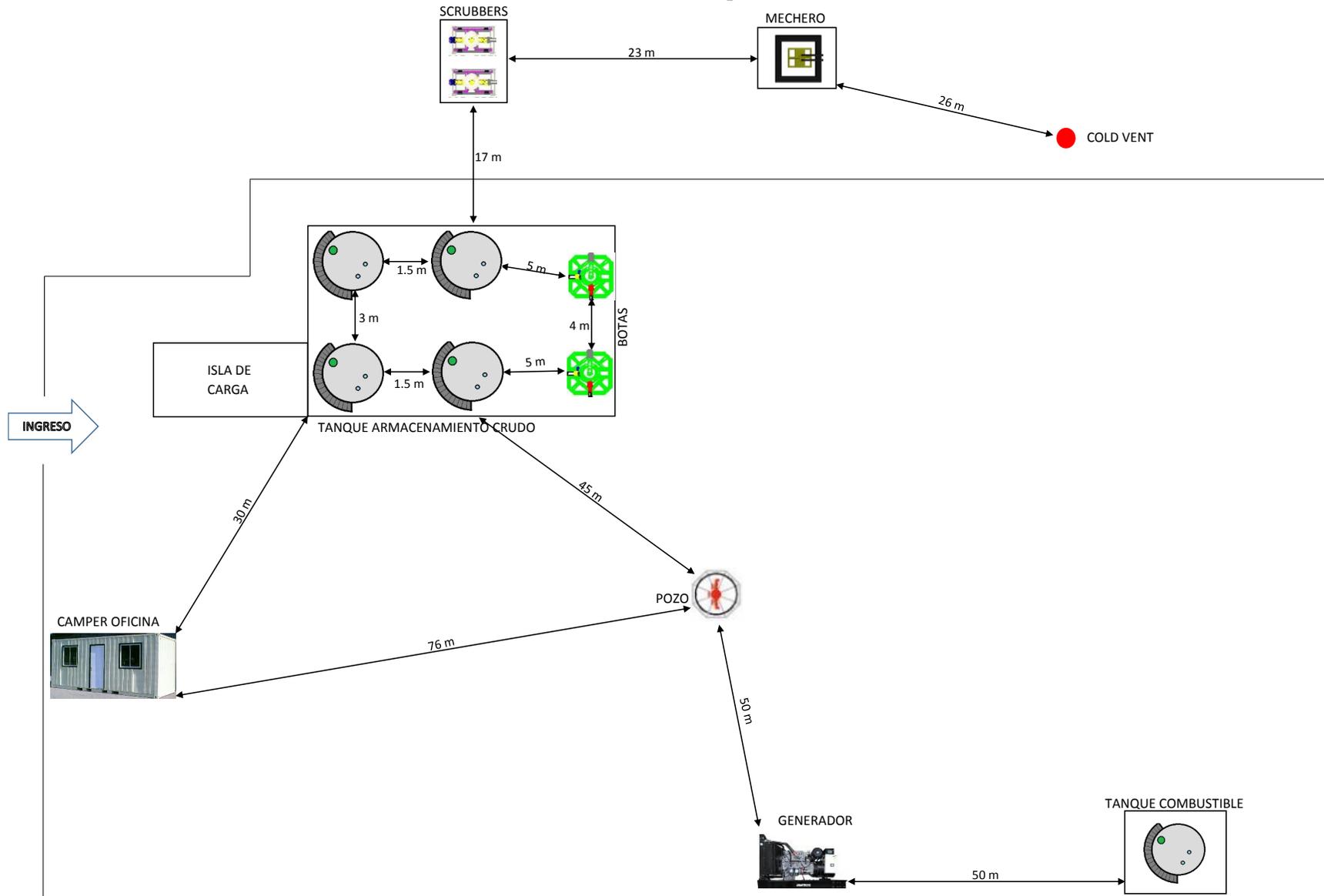
Anexos C Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 1



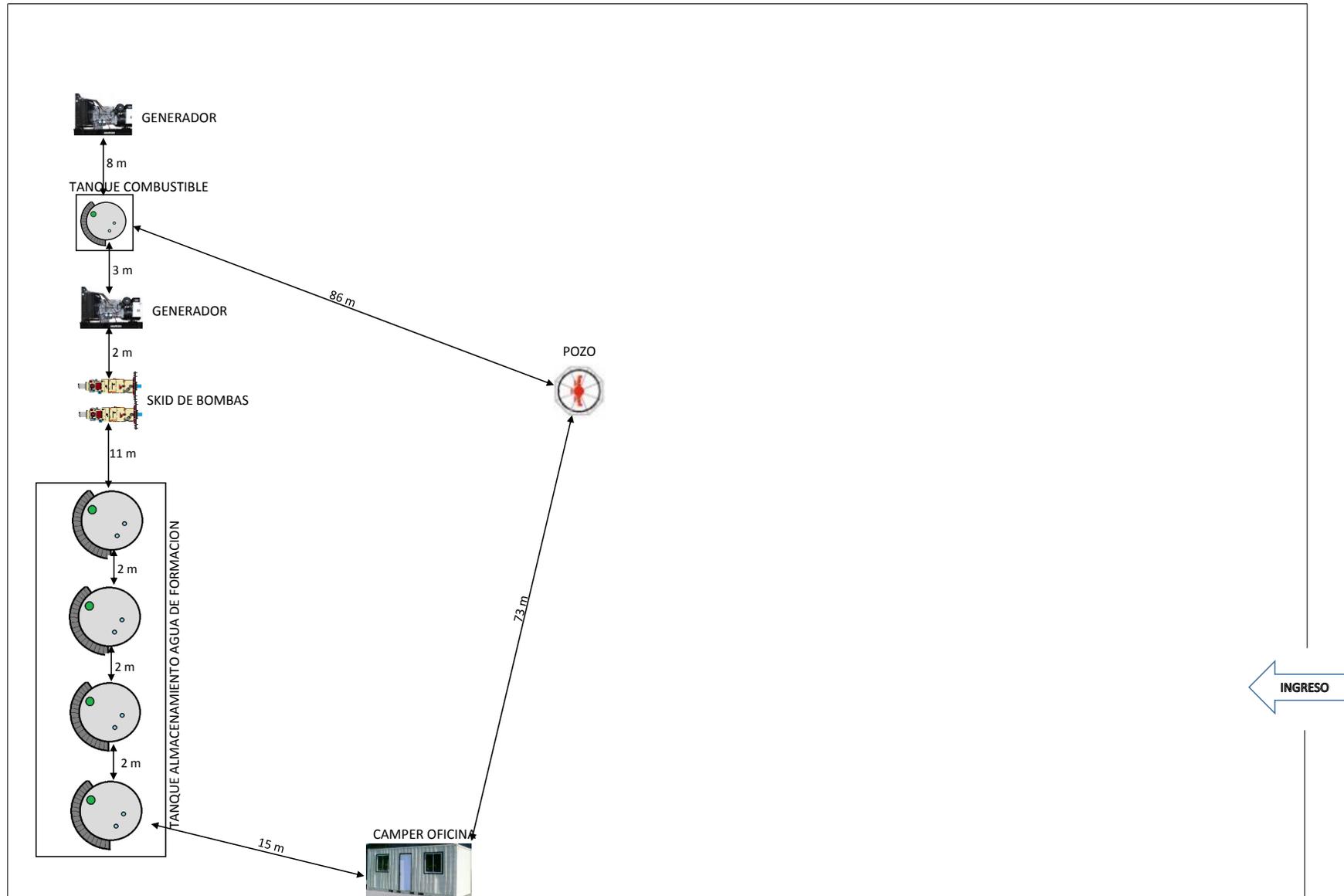
Anexos D Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 2



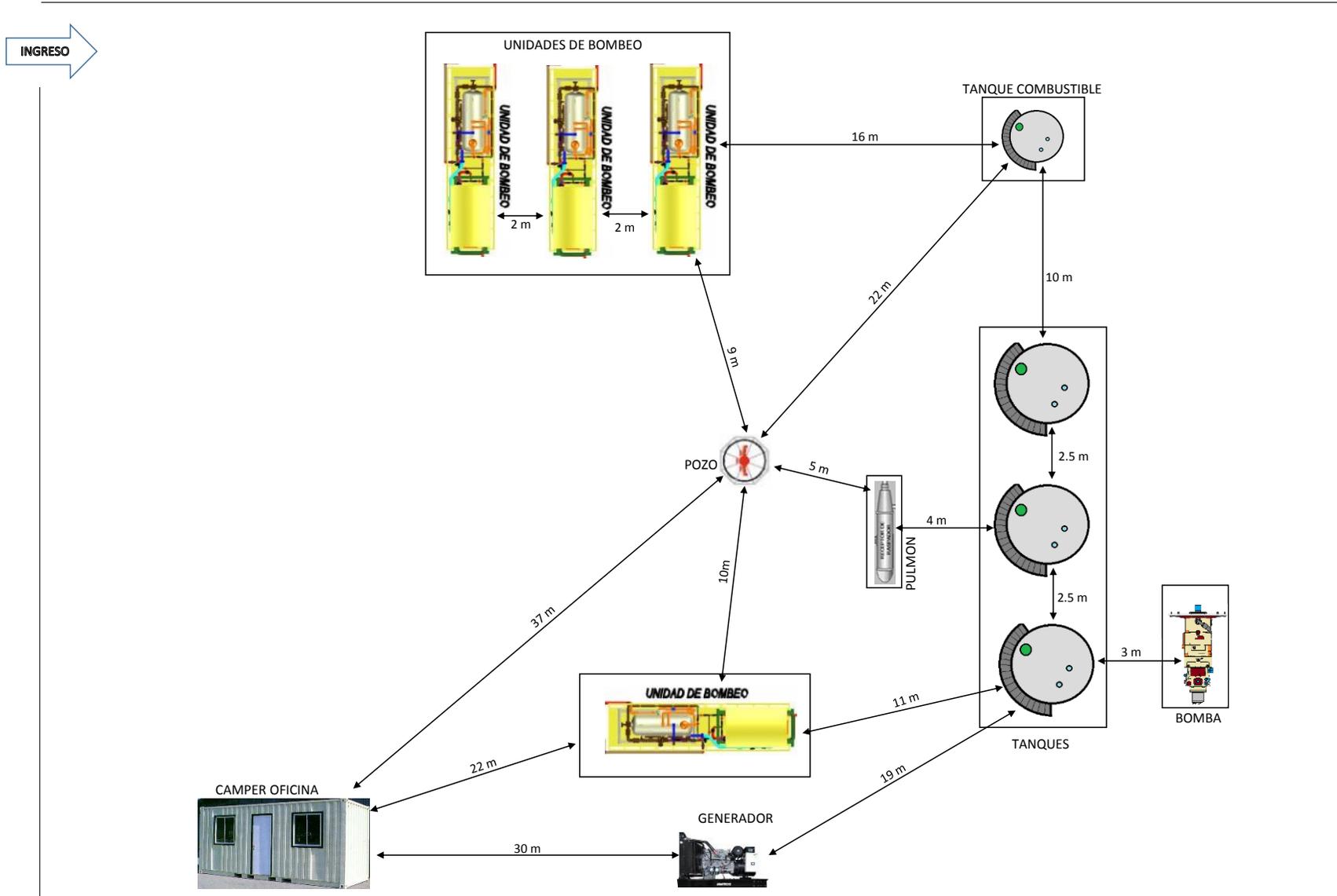
Anexos E Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Producción 3



Anexos F Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección 1



Anexos G Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección 2



Anexos H Levantamiento de distancias de implantación Facilidad de Inyección 3

