

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y DEL
COMPORTAMIENTO HUMANO**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO Y PROPUESTA DE UN
SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA
MINIMIZAR EL RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN”**

Realizado por:

STALIN RICARDO MOLINA CHÁVEZ

Director Temático

ING. ALONSO ARIAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, STALIN RICARDO MOLINA CHÁVEZ, con cédula de identidad # 1714234000, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a 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.

Stalin Ricardo Molina Chávez

C.C.: 1714234000

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO Y PROPUESTA DE UN
SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA
MINIMIZAR EL RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN”**

Realizado por:

STALIN RICARDO MOLINA CHÁVEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

ha Sido dirigido por el profesor

ING. ALONSO ARIAS

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Ing. Alonso Arias

DIRECTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado por completo a los seres que dan luz a mi vida,
mis hijos Mateo, Pamela, Mía y Ricardo, quiénes supieron comprender y
sacrificaron parte de nuestro tiempo juntos para que este logro se hiciera realidad

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a Criss por ser quién siempre me ha impulsado a ser mejor y me brindó su apoyo para retomar mi proceso de educación y aguantó conmigo esas malas noches para obtener este logro.

También agradezco a mi madre por ser siempre ese ejemplo de esfuerzo y superación a seguir.

A Alonso Arias por ser un excelente guía y apoyo en este proceso.

RESUMEN

El presente trabajo pretende determinar cuál es el nivel de riesgo de incendio y explosión del patio de tanques de almacenamiento de GLP compuesto por dos tanques horizontales para lo cual se realiza un análisis de cumplimiento del sistema contra incendios instalado actualmente con normativas internacionales aplicables a este tipo de facilidades, elaboración de curvas de radiación térmica en el caso de un incendio que involucre uno de los tanques de almacenamiento de GLP, elaboración de curvas de sobrepresión para el caso de explosión de uno de los tanques, con estas herramientas más información estadística de este tipo de accidentes se llega a determinar cuál es el nivel de riesgo dependiendo de la probabilidad de ocurrencia de este tipo de eventos y la consecuencia en términos de pérdida de vidas humanas, daños materiales y daños al medio ambiente, para de esta manera poder sustentar el diseño de un nuevo sistema contra incendios (detección, alarma y extinción) que se diseñe apegado a parámetros internacionales para una adecuada protección que tendrá como consecuencia una disminución en el nivel de riesgo de los tanques de almacenamiento de GLP.

De igual manera este trabajo pretende ser la justificación y la base para la implementación del sistema contra incendios, para lo cual se establece un presupuesto referencial para establecer un cronograma de trabajo real que permita implementar el sistema contra incendios.

ABSTRACT

This document aims to determine the level of risk of fire and explosion of the tank farm storage of LPG consists of two horizontal tanks, to do this analysis the following is performed: compliance of the fire protection system currently installed with international applicable standards to this type of facilities, elaborate heat radiation curves in the case of a fire involving one of the LPG storage tanks, make overpressure curves for the case of explosion of one of the tanks, with these tools more statistical information such accidents get to determine the level of risk depending on the likelihood of such events and the consequences in terms of loss of life, property damage and environmental damage, it will support the design of a new fire protection system (detection, alarm and extinguishing) in compliance with international standards for adequate protection that will result in a decrease in the risk level of LPG storage tanks.

Likewise this work aims to be the justification and basis for the implementation of the fire protection system, for which a reference budget is set to establish a schedule for actual work that allows implement the fire protection system.

PALABRAS CLAVES

Análisis de Riesgo de Incendio y Explosión

Protección de Tanques de GLP

Gas Licuado de Petróleo.

Sistema Contra Incendio para Tanques de GLP

Curvas de Radiación

Curvas de Sobrepresión

Sistema de Diluvio

Detección de Gas.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.1 Planteamiento del Problema	2
1.1.2 Objetivo General.....	4
1.1.3 Objetivos Específicos.....	5
1.1.4 Justificaciones	5
1.2 MARCO TEÓRICO.....	6
1.2.1 Glosario de Términos	12
1.2.2 Estado actual del conocimiento sobre el tema.....	18
1.2.2.1 Fuegos tipo chorro (jet) vertical.....	21
1.2.2.1.1 LONGITUD DE LLAMA DEL CHORRO.....	21
1.2.2.1.2 RADIACIÓN TÉRMICA.....	26
1.2.2.2 RADIACIÓN TÉRMICA POR BLEVE.....	27
1.2.2.3 MODELO DE EXPLOSIÓN.....	28
1.2.2.3.1 MODELO DE EXPLOSIÓN BAKER-STREHLOW	30
1.2.3 Adopción de una perspectiva teórica.....	31
1.2.4 Hipótesis.....	32
1.2.5 Identificación y caracterización de variables.....	32
CAPITULO II.....	34
MÉTODO.....	34
2.1 NIVEL DE ESTUDIO.....	34
2.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	35
2.3 MÉTODO.....	35
2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
2.5 SELECCIÓN INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	36
2.6 HERRAMIENTAS.....	37
CAPITULO III.....	38
RESULTADOS.....	38
3.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS.....	38
3.1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	38
3.1.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP.....	39

3.2	PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
3.2.1	ANALISIS DE RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN ACTUAL.....	44
3.3	APLICACIÓN PRÁCTICA.....	58
3.3.1	SISTEMA DE CONTROL DE INCENDIOS.....	58
3.3.2	SISTEMA DE DETECCION Y ALARMA DE INCENDIOS.....	61
3.3.3	MEMORIA TÉCNICA.....	67
3.3.4	SOPORTERIA ESTRUCTURAL.....	73
3.3.5	DISEÑO MECÁNICO – HIDRÁULICO	79
3.3.6	PROPUESTA ECONÓMICA.....	86
	CAPITULO IV.....	88
	DISCUSIÓN.	88
4.1	Conclusiones.....	88
4.2	Recomendaciones.	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	ANEXOS.....	92
	ANEXO A. CURVAS DE RADIACIÓN Y SOBREPRESIÓN.....	92
	ANEXO B. CALCULOS HIDRAULICOS AUTOSPRINK.....	92
	ANEXO C. HOJAS TECNICAS DE EQUIPOS Y MATERIALES	92
	ANEXO D. LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES	92
	ANEXO E. PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancias mínimas desde el área útil de almacenamiento de GLP a zonas externas a la planta (m)	7
Tabla 2. Distancias mínimas desde el área útil de almacenamiento de GLP a otras áreas de la planta (m)	7
Tabla 3. Distancias mínimas del área de almacenamiento de GLP a tanques de oxígeno o hidrógeno (m)	7
Tabla 4. Reserva mínima de agua para incendios	9
Tabla 5. Nivel de Probabilidad vs. Estadísticas de Eventos Similares	45
Tabla 6. Valores de Sobrepresión vs. Daños Esperados.....	47
Tabla 7. Valores de Radiación Térmica vs. Daños Físicos Esperados.....	54
Tabla 8. Niveles de Consecuencia.	56
Tabla 9. Niveles de Riesgo	56
Tabla 10. Matriz de Evaluación de Riesgo	57
Tabla 11. Lista De Equipos De Detección Por Ubicación.....	65
Tabla 12. Lista De Equipos De Detección.....	66
Tabla 13. Detalle Informativo De Tanque De GLP.	67
Tabla 14. Detalle De Sprays Parte Superior Y Tapas De Tanque GLP.	72
Tabla 15. Detalle De Sprays Parte Inferior.....	73
Tabla 16. Altura máxima de los soportes	77
Tabla 17. Distancia entre soportes	77
Tabla 18. Resumen Hidráulico Riser Principal.....	82
Tabla 19. Niveles de Consecuencia para Riesgo Residual.	85
Tabla 20. Niveles de Riesgo para Riesgo Residual	85
Tabla 21. Matriz de Evaluación de Riesgo Residual	86
Tabla 22. Resumen de Costos de Implementación del SCI.....	87

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del Problema.....	2
Figura 2. Perturbación de la Presión en el Tiempo.....	29
Figura 3. Curva de Sobrepresión vs. Tiempo	29
Figura 4. Implantación de la Planta de Almacenamiento de GLP	38
Figura 5. Certificado de Conformidad de Fabricación de los tanques de almacenamiento de GLP.....	39
Figura 6. Dimensiones de los Tanques de Almacenamiento de GLP.....	41
Figura 7. Bomba Contra Incendios	42
Figura 8. Tubería del Sistema Contra Incendios	42
Figura 9. Sistema Actual de Rociadores de Tanques de GLP	43
Figura 10. Almacenamiento de agua (Piscina) del Sistema Contra Incendio	43
Figura 11. Información del GLP.....	50
Figura 12. Información Meteorológica de la Zona	50
Figura 13. Niveles de Preocupación de Sobrepresión	51
Figura 14. Niveles de Preocupación de Radiación Térmica	51
Figura 15. Curvas de Sobrepresión.....	52
Figura 16. Curvas de Radiación Térmica.....	54
Figura 17. Protección Con Boquillas Tipo Spray	59
Figura 18. Esquema De Spray Tipo D3	69
Figura 19. Esquema De Operación De Spray Tipo D3.....	70
Figura 20. Tanques Actuales.....	71
Figura 21. Diseño Con Sprays D3 100% Cobertura Áreas Expuestas	71
Figura 22. Soporte Columna Tubería 8”	74
Figura 23. Detalle De Soporte U Bold 8”	74
Figura 24. Detalle De Soporte Columna 6”	75
Figura 25. Detalle De Soporte U Bold 6”	75
Figura 26. Detalle De Soporte Columna 4”	76
Figura 27. Detalle De Soporte U Bold 4”	76
Figura 28. Detalle De Soporte Línea De Boquillas	78

Figura 29. Detalle De Soporte Para Línea De Boquillas.....	78
Figura 30. Vista General del Sistema Contra Incendios.....	80
Figura 31. Vista Flujo En Líneas del SCI.....	80
Figura 32. Vista Presión En Líneas del SCI.....	81
Figura 33. Vista de Pérdidas de Presión del SCI.....	81
Figura 34. Sistema de Rociadores.....	82
Figura 35. Grafica del SCI para Protección de Tanques de GLP.....	83
Figura 36. Grafica Resumen del SCI para Protección de Tanques de GLP.....	83

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN.

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo conlleva peligros y riesgos, debido a las propiedades físico-químicas altamente combustibles y explosivas. Por lo tanto, en cada una de las actividades y tareas relacionadas con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las Plantas con GLP (Gas Licuado de Petróleo), se deben extremar las acciones y medidas de tal manera que, el aprovechamiento del producto se logre minimizando los riesgos o peligros para las personas, ambiente e instalaciones. Todas estas acciones y medidas se traducen en el llamado Requerimiento Mínimo de Seguridad que deben cumplirse en este tipo de instalaciones para lograr el objetivo propuesto. A fin de cumplir con estos requerimientos, el área de almacenamiento de GLP en las Plantas de Llenado a nivel nacional deben implementar Normas Técnicas, Resoluciones que aplican, o en su defecto normas técnicas extranjeras, en aquellos aspectos no cubiertos por las Normas Nacionales.

Una de las Normas Técnicas que se debe cumplir es aquella referente a la protección contra incendios de los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, la misma que debe tomarse en cuenta durante las fases de: diseño, instalación y montaje, pruebas de comisionamiento, programas de mantenimiento del sistema y protocolos de operación del sistema contra incendios.

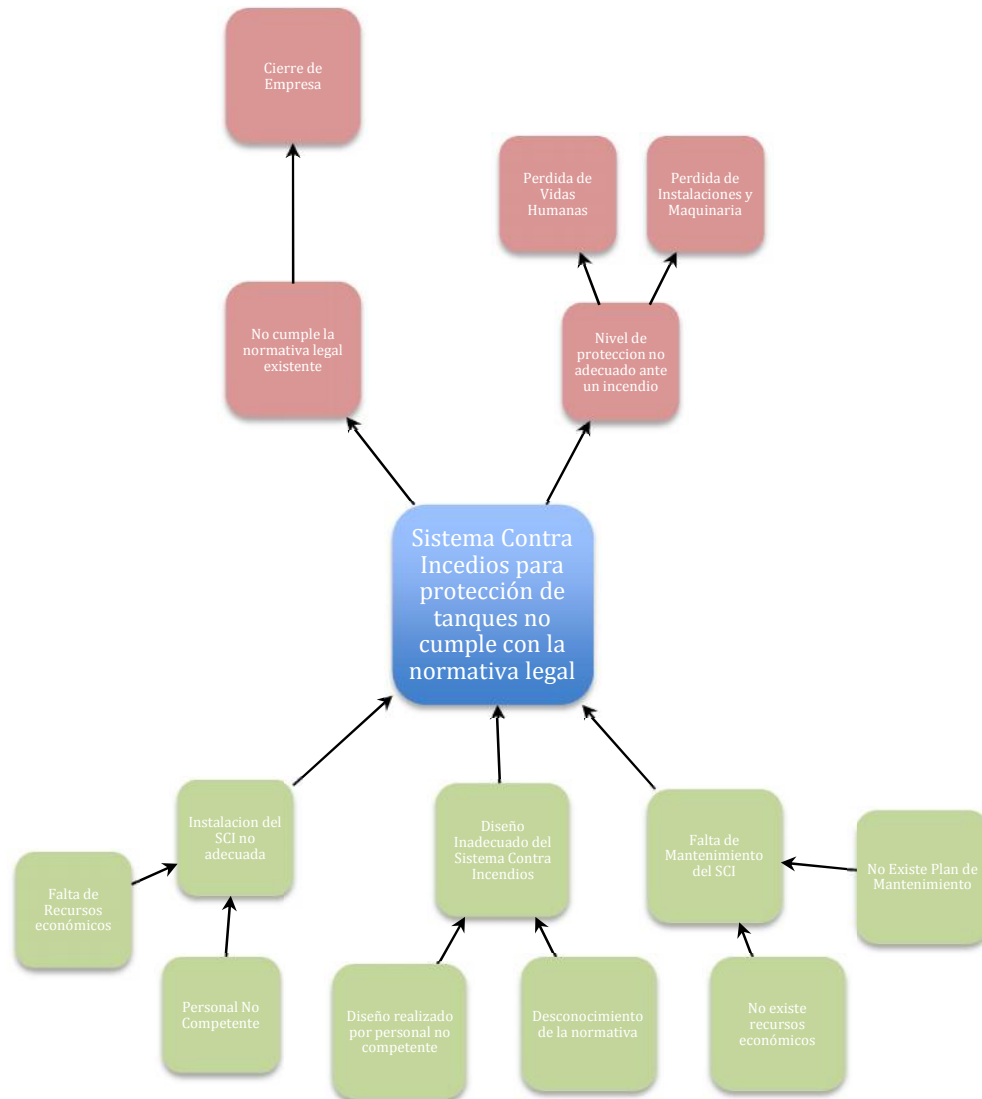
Actualmente existe una planta de almacenamiento y distribución de Gas Licuado de Petróleo en la ciudad de Ventanas en la provincia del Guayas, esta planta dispone de un Sistema Contra Incendios instalado que tiene como parte de su propósito el proteger el almacenamiento de la planta, que actualmente está compuesto por dos tanques de almacenamiento horizontales con una capacidad de 215 m³ cada uno. Sin embargo no se dispone de información referente

diseño, planos de instalación, pruebas de comisionamiento o pruebas de funcionamiento periódicas de este sistema contra incendios, registros de mantenimiento de los componentes principales.

1.1.1 Planteamiento del Problema

¿El Sistema Contra Incendios que actualmente se encuentra instalado con el fin de proteger los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo cumple con los requerimientos establecidos por la normativa nacional o internacional aplicable?

Figura 1. Árbol del Problema



(Autor: Stalin Molina)

1.1.1.1 Diagnóstico

Para poder determinar de una manera más clara las causas por las cuales se presenta el problema objeto del presente estudio se realizará una comparación de la situación actual del sistema contra incendios de los tanques de almacenamiento de GLP con criterios que establecen las normativas nacionales e internacionales, en puntos clave como son el diseño conceptual e ingeniería de detalle del sistema,

verificación de la instalación y montaje de los diferentes componentes del sistema, así como también la integridad de la tubería, registro de desempeño de los diferentes componentes del sistema como son almacenamiento de agua contra incendios, bombas contra incendios, dispositivos de distribución y dispositivos de descarga.

1.1.1.2 Pronóstico

Si uno o varios de los puntos clave indicados anteriormente no cumplen con las exigencias mínimas establecidas por las normativas, en el futuro esto podría traer efectos como son el no cumplimiento de aspectos legales por parte de la compañía y lo que sería más grave que el nivel de protección ante un incendio no sea el adecuado, lo que podría causar grandes pérdidas de maquinarias o de las instalaciones y hasta el fallecimiento de trabajadores y/o personas que se encuentren cerca de las instalaciones, lo que generaría un impacto social negativo importante para la empresa que podría causar el cierre de la misma.

1.1.1.3 Control del Pronóstico

Para poder determinar las acciones que se deben realizar para evitar que suceda efectos fatales como son la pérdida de vidas humanas o el cierre de la empresa por la falta de protección contra incendios de los tanques de almacenamiento de GLP se debe realizar en primera instancia una evaluación del sistema actual la cual se debe comparar con los requerimientos que establece la diferentes normativas, y de ser necesario se debe realizar un nuevo diseño del sistema para asegurar una adecuada protección en el caso de un incendio, y además generar un protocolo de operación o respuesta de emergencias ante un incidente.

1.1.2 Objetivo General

Determinar el nivel de riesgo y proponer el diseño de un Sistema Contra Incendios que cumpla los requerimientos de normativas internacionales para la protección de los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

1.1.3 Objetivos Específicos

Evaluar el nivel de riesgo actual de los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

Determinar parámetros de diseño del Sistema Contra Incendios para cumplir con las normativas internacionales aplicables y la normativa legal.

Determinar los controles operativos aplicables al almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

Evaluar el riesgo residual presente en la zona de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo luego de implementar el control operativo propuesto.

Proponer un programa de mantenimiento de los sistemas diseñados.

1.1.4 Justificaciones

Es de suma importancia el llegar a determinar si se dispone de un sistema contra incendios que cumpla con la normativa legal para de esta manera poder minimizar las consecuencias en caso de que ocurriese un evento fuera de control, llámese incendio o explosión, el sistema contra incendios no cumpliría con su objetivo si se detecta que no se ha realizado una adecuada instalación y montaje del sistema contra incendios debido a falta de recursos o debido a que la misma no fue realizada por personal competente, otra de las causas es el diseño inadecuado del sistema ya que pudo haber sido elaborado por personal no calificado que desconoce la normativa aplicable, y finalmente el sistema contra incendios debe disponer de un plan de mantenimiento específico para el sistema que incluya pruebas periódicas y que se destine un presupuesto real para la realización del mismo.

Los efectos que pudiese causar el no disponer de un sistema contra incendios adecuado podrían ser tan nefastos como el de causar pérdida de vidas humanas del personal que labora dentro de las instalaciones y de personas que

viven en zonas pobladas que se ubican cerca de la planta fuera de las instalaciones, pérdida de la imagen institucional de la empresa y hasta el cierre de la empresa por pérdida de instalaciones o maquinaria.

1.2 MARCO TEÓRICO

El determinar el nivel de riesgo de incendio y explosión para los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo ha sido de interés para organismos nacionales e internacionales debido a que las consecuencias de un incidente que involucre incendio y explosión podría traer efectos perjudiciales para la propiedad y el ambiente, es por esto que existe estudios relacionados a la evaluación del riesgo y también estudios para minimizar los efectos de un accidente de estos mediante sistemas de extinción.

Algunas de las fuentes que se utilizarán para el desarrollo de están investigación son:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 536:98 (Segunda Revisión) – Prevención De Incendios. Requisitos de Seguridad en Plantas de Almacenamiento y Envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP); en esta normativa se establecen parámetros mínimos que se deben tomar en cuenta para el diseño del sistema contra incendios, sin embargo es importante ya que constituye una normativa legal ecuatoriana.

En esta normativa encontramos parámetros referentes a distancias de seguridad a considerar como son los descritos en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3

Tabla 1. Distancias mínimas desde el área útil de almacenamiento de GLP a zonas externas a la planta (m)

Capacidad total almacenada (m ³)	TANQUES SOBRE EL TERRENO				TANQUES ENTERRADOS*
	a edificaciones próximas	a calles, carreteras y vías férreas	a lugares de concentración pública	a subestaciones de energía eléctrica	a edificaciones próximas
hasta 100	30	30	45	100	15
sobre 100 a 260	50	40	60	150	15
sobre 260 a 500	90	80	120	150	15
sobre 500 a 2 000	130	120	180	150	15
más de 2 000	150	140	210	150	15

* Para tanques enterrados no se establecen distancias mínimas a otras instalaciones externas, pero deben ser determinadas por las autoridades competentes en cada caso particular.

(INEN)

Tabla 2. Distancias mínimas desde el área útil de almacenamiento de GLP a otras áreas de la planta (m)

Capacidad total almacenada (m ³)	Distancia mínima entre tanques adyacentes	TANQUES SOBRE EL TERRENO						TANQUES ENTERRADOS*	ESTAC. DE CARGA Y DESC.
		A surtidores de GLP	A oficinas propias**	A sala de bombas y compresoras	A generadores transformadores	A talleres, fuegos abiertos, calderos, quemadores	Caminos internos	Distancias mínimas entre tanques contiguos***	A sala de bombas y área de envasado
hasta 100	1	10	15	10	25	15	8	1	6
sobre 100 a 260	*	15	18	20	30	20	10	3	8
sobre 260 a 500	*	15	20	20	30	20	10	3	10
sobre 500 a 2000	*	20	25	30	30	25	15	3	12
más de 2 000	*	25	30	30	35	30	15	3	15

* 0,25 veces la suma de los diámetros de tanques adyacentes.
 ** Con instalaciones eléctricas contra explosión, obligatorias.
 *** Para tanques enterrados no se establecen distancias mínimas a otras instalaciones externas, pero deben ser determinadas por las autoridades competentes en cada caso particular.

(INEN)

Tabla 3. Distancias mínimas del área de almacenamiento de GLP a tanques de oxígeno o hidrógeno (m)

Capacidad total almacenada (m ³)	A tanques de oxígeno de capacidad hasta			A tanques de hidrógeno de capacidad hasta		
	11 m ³	11 a 570 m ³	más de 570 m ³	11 m ³	11 m ³ a 85 m ³	más de 85 m ³
hasta 4,5	ninguna	6	7,5			
más de 4,5	ninguna	6	15			
hasta 2				ninguna	3	7,5
más de 2				ninguna	7,5	15

(INEN)

Esta normativa adicionalmente establece parámetros generales para prevención de incendios referente que se indican a continuación:

- a) No se debe permitir llamas abiertas y otras fuentes de ignición en toda el área de peligro de la planta.
- b) Todas las plantas de almacenamiento y envasado de GLP requieren de pararrayos, ubicados de conformidad con los planos de construcción debidamente aprobados.
- c) Para prevenir la corrosión electrolítica, debe procederse a proveer a las instalaciones de la protección necesaria.
- d) Dentro de las áreas de peligro no deben permitirse las llamas abiertas, inclusive las operaciones de corte y soldadura, herramientas eléctricas portátiles y extensiones eléctricas capaces de producir chispas, a menos que los dispositivos hayan sido totalmente drenados de GLP y bajo condiciones controladas, con servicio para extinción de incendios a mano.
- e) Debe establecerse la prohibición de fumar, y la señalización adecuada se colocará en las entradas a cada área en particular, con señales y rótulos en conformidad con la NTE INEN 439.

En lo referente al sistema contra incendios los requerimientos que establece la NTE INEN 1 536 son:

- a) Para prevenir y combatir posibles flagelos, los lugares de almacenamiento y de envasado de GLP contarán con sistemas de agua a presión por red y anhídrido carbónico como agente ignífugo.
- b) Debe instalarse un número suficiente de hidrantes para combatir, desde cualquier ángulo, un eventual incendio.

c) Las bombas de agua contra incendio contarán con dos fuentes independientes de alimentación de energía.

d) La reserva mínima de agua destinada a combatir un posible flagelo, siempre que no haya alimentación externa, debe ajustarse a la Tabla 4.

Tabla 4. Reserva mínima de agua para incendios

Capacidad de los tanques de GLP (m ³)		Reserva de agua (m ³)
de	hasta	
	100	25
101	200	100
201	300	200
301	500	250
501	700	300
701	900	350
901	1 100	400
1 101	1 300	450
1 301	1 500	500
1 501	2 000	600

(INEN)

e) Las tomas de agua deben reunir las siguientes características:

e.1) Estar ubicadas a una distancia no mayor de 50 m una de otra, de tal forma que cubran con los chorros de sus mangueras el área de almacenamiento y/o envasado.

e.2) Estar provistas de mangueras cuya longitud sea de 10 a 20 m, equipadas convenientemente para su correcto funcionamiento en el momento que se requiera. Las mangueras estarán ubicadas en su cubículo correspondiente.

f) Cada instalación debe planificarse aisladamente; los planos de la instalación contra incendios se confeccionarán de acuerdo a la NTE

INEN 1 469.

g) Las tomas de agua para hidrantes, extintores y otros equipos de lucha contra incendios, deben señalarse de acuerdo a la NTE INEN 1 470, así como las vías de escape en caso de emergencia, de acuerdo a la NTE INEN 439.

h) Además, se debe disponer de extintores portátiles o montados sobre ruedas del tipo de polvo químico, localizados en lugares de fácil acceso.

i) Es conveniente utilizar aislamiento resistente para recubrir el metal de los tanques contra el fuego.

j) Las empresas que almacenan GLP debe contar con un plan de emergencia (contingencia).

k) Las instalaciones que almacenen GLP deben disponer de una brigada de emergencia contra incendios, que puede estar formada por personal de la misma planta. La organización, entrenamiento, magnitud y equipo de dicha brigada, deben establecerse conforme a las instrucciones impartidas por el Cuerpo de Bomberos local. Las brigadas deben efectuar prácticas por lo menos una vez al mes.

l) Se debe disponer en cada planta de un programa de mantenimiento preventivo para todos los equipos y para los tanques, que debe observarse rigurosamente sobre todo en cuanto se refiere a fugas de GLP líquido o gaseoso. El programa de mantenimiento debe estar a cargo de personal calificado.

m) De acuerdo al tipo de instalación, deben llevarse a cabo las inspecciones necesarias para prevenir explosiones, por parte de la

autoridad competente.

n) Además, las instalaciones de tuberías y accesorios deben cumplir los requisitos de la Norma NFPA 58, hasta cuando el INEN expida la norma nacional correspondiente.

- National Fire Protection Association NFPA 24: Normas para instalación de tuberías para servicio privado de incendios y sus accesorios, En el cual se establece criterios básicos para el diseño de la red que transportará el agua para combate de incendio y protección de los tanques de almacenamiento de GLP como son tubería enterrada y aérea, y demás equipos de la planta y de los componentes mínimos que deberá tener, como son la fuente de almacenamiento de agua, válvulas, hidrantes, casetas de manguera.

- National Fire Protection Association NFPA 15: Diseño de Sistemas Fijos a base de boquillas tipo Sprays, en esta normativa se establece requerimientos referente a instalación y diseño de rociadores del tipo abiertos para protección de riesgos puntuales como son los tanques de almacenamiento de GLP.

- National Fire Protection Association NFPA 59: Código de plantas de GLP, donde podemos encontrar información valiosa respecto a distancias de separación, componentes de plantas de GLP que deben ser tomados en cuenta para la instalación y el funcionamiento de este tipo de facilidades.

- National Fire Protection Association NFPA 20: Norma para instalación de bombas estacionarias para protección contra incendios, en este documento se establece información importante para determinar las características y especificaciones del tipo de bomba contra incendios que debe ser seleccionada, así como también los requerimientos de desempeño e instalación que las bombas contra incendio debe cumplir.

- National Fire Protection Association NFPA 70: Código Eléctrico Nacional. Documento que determina requerimientos de instalación para todo el sistema de detección y alarma y demás componentes eléctricos del sistema.
- National Fire Protection Association NFPA 72: Código Nacional de Alarma de Incendios y Señalización.
- American Petroleum Institute API 2030: Sistemas Fijo de Spray de agua para protección contra incendios de la industria petrolera y petroquímica
- American Petroleum Institute API 2001: Protección Contra Incendios en Refinerías.
- American Petroleum Institute API 2510: Consideraciones de diseño y operación de sistemas contra incendios para facilidades de GLP.
- HANDBOOK – NFPA. Libro de Protección Contra Incendios NFPA.
- The Risk Management Plan (RMP) – EPA
- Federal Standard 49 CFR 193.2057 for LNG Facilities
- Federal Emergency Management Agency, FEMA

1.2.1 Glosario de Términos

Incendio: Es una ocurrencia de fuego no controlada que puede abrasar algo que no está destinado a quemarse. Puede afectar a estructuras y a seres vivos. La exposición de los seres vivos a un incendio puede producir daños muy graves hasta la muerte.

Explosión: Una explosión es la liberación simultánea de energía calórica, lumínica y sonora (y posiblemente de otros tipos) en un intervalo temporal ínfimo. De esta forma, la potencia de la explosión es proporcional al tiempo requerido y su orden de magnitud ronda los gigavatios.

Reactividad: La reactividad de combustible es una medida de la propensión del frente de llama en una mezcla inflamable dado para acelerar y crear sobrepresiones o potencialmente experimentar una transición de deflagración a-detonación

Área(s) peligrosa(s): Son aquellas áreas, en cuya atmósfera hay o puede haber presencia de elementos combustibles o explosivos en cantidades que puedan originar explosión o fuego.

Área(s) cerrada(s) (lugar, espacio, edificio o cuarto): Espacio tridimensional, cerrado en más de 2/3 partes de la superficie del área del plano proyectado, de tamaño suficiente para el acceso de personal autorizado.

Área(s) no peligrosa (s). En las instalaciones de extracción y bombeo de crudo, existen áreas en que la liberación de sustancias inflamables ocurre tan raramente en algunas operaciones, que no se justifica considerarlas como áreas peligrosas y son las siguientes:

- Áreas libremente ventiladas en las que se tengan las sustancias inflamables dentro de sistemas cerrados de tubería, y que estén formados únicamente por los tubos, conexiones, bridas, medidores y válvulas pequeñas, siempre y cuando se proporcione un mantenimiento adecuado. En áreas en donde pueda tenerse un mantenimiento deficiente debe considerarse a las conexiones, bridas, medidores y válvulas pequeñas como fuentes de peligro.

- Áreas con ventilación restringida, en las que los sistemas de tubería para las sustancias inflamables no tengan válvulas, conexiones, bridas ni otros accesorios.
- Áreas donde existen permanentemente fuentes de ignición, tales como calentadores de fuego directo o quemadores, entre otros.

Densidad de gas(es) o vapor(es): Es el peso de un volumen de vapor o gas puro, comparado con el peso de igual volumen de aire seco, a la misma presión y temperatura.

Fuente de peligro: Punto en el cual un gas, vapor o líquido inflamable, puede ser liberado al exterior, pudiendo provocar una explosión, incendio o una atmósfera tóxica.

Mezcla(s) explosiva(s) o inflamable(s): Es la mezcla de oxígeno con gases inflamables, vapores de sustancias inflamables o combustibles, polvos combustibles o fibras dispersas en el aire de fácil ignición, que en ciertas proporciones, en contacto con una fuente calorífica, ocasiona una explosión o fuego.

Temperatura de ignición: Es la temperatura más baja que aplicada a una mezcla explosiva, puede producir el encendido de dicha mezcla, ocasionando una explosión o fuego continuo.

Temperatura de evaporación: Es la temperatura mínima en la que un líquido explosivo genera suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con el aire que entra en contacto.

Gases más ligeros que el aire: Se considerarán como gases o vapores más ligeros que el aire únicamente aquellos cuya densidad sea menor de la densidad del aire, bajo condiciones normales. Los gases o vapores que tengan

una densidad mayor de este vapor, deben considerarse como productos más pesados que el aire.

Líquidos combustibles: Se consideran líquidos combustibles aquellos que tengan una temperatura de ignición mayor o igual a 37,8°C (100°F).

Los líquidos combustibles se subdividen de la siguiente forma:

CLASE II: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 37,8°C (100°F) y menor a 60°C (140°F)

CLASE IIIA: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 60°C (140°F) y menor a 93,3°C (200°F)

CLASE IIIB: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 93,3°C (200°F)

Líquidos inflamables: Son aquellos que tienen una temperatura de ignición menor de 37,8°C (100°F) bajo una presión absoluta de vapor que no exceda de 40PSI a una temperatura de 37,8°C (100°F).

Los líquidos inflamables se subdividen en la siguiente forma:

CLASE I: Son aquellos cuyo punto de inflamación es menor a 37,8°C (100°F)

CLASE IA: Líquidos con punto de inflamación es menor a 22,8°C (73°F) y punto de ebullición menor a 37,8°C (100°F)

CLASE IB: Líquidos con punto de inflamación menor a 22,8°C (73°F) y punto de ebullición igual o mayor a 37,8°C (100°F)

CLASE IC: Líquidos con punto de inflamación mayor o igual a 22,8°C (73°F) y menor a 37,8°C (100°F).

Evaluación: Verificar el cumplimiento de los diferentes equipos y sistemas contra incendios actualmente instalados con los requerimientos de normativa NFPA y buenas prácticas de ingeniería, y realizar las recomendaciones de mejora donde sea aplicable.

Diagnóstico: Análisis de la información recolectada para descubrir problemas y causas que originan dichos problemas.

Simulación: Representación de un evento o fenómeno por medio de sistemas de cómputo, modelos físicos o matemáticos u otros medios, para facilitar su análisis.

Riesgo mayor por incendio: El escenario que demanda la mayor cantidad de recursos de agua, espuma y materiales en caso de siniestro.

Velocidad nominal: La velocidad para la cual la bomba contra incendio está listada y aparece en la placa de la misma.

Bomba contra incendio: Bomba que proporciona flujo líquido y presión dedicados a la protección contra incendios.

Casa de bombas: Caseta donde se ubican las bombas contra incendios y la configuración de válvulas y tuberías de succión y descarga.

Sistema fijo contra incendios: Es el instalado de manera permanente para el combate de incendios.

Red de agua contra incendios: Conjunto de líneas de tubería, dispositivos y equipos de bombeo para salida de agua que formando anillos o circuitos sirven exclusivamente para distribuir y conducir respectivamente el agua contra incendios.

Rociador: Dispositivo conectado a un ramal de tubería, por medio del cual se logra la aspersión del agua o solución de espuma, conocido en inglés como “sprinkler”.

Monitor: Dispositivo portátil o fijo diseñado para direccionar una corriente de agua o espuma que puede alimentarse por medio de mangueras o tuberías de distribución de agua o solución de espuma.

Sistema de agua pulverizada: Consiste en un conjunto de tuberías conectadas a un suministro confiable de agua y equipadas con número suficiente de boquillas para la descarga de agua en forma de neblina, sobre el equipo protegido.

Toma de agua: Punto de conexión para mangueras contra incendio.

Hidrante: Dispositivo de suministro de agua para el combate de incendios, conectado a la red contra incendio o acueducto y situado en áreas estratégicas de dominio público o privado.

Presión residual: Es la presión existente en un determinado punto de la red de agua contra incendios en condiciones de flujo en la red. Se determina mediante un manómetro, debiendo mencionarse el valor del caudal y el punto de medición.

Ramal de tubería: Son tramos de tubería conectados a la tubería principal de agua contra incendio.

Tasa de aplicación. Es la cantidad de agua descargada por unidad de tiempo y unidad de área, expresada en (gpm/ft²).

Boquillas Tipo Sprays: Las boquillas tipo Spray son boquillas abiertas (no automáticas) con descarga direccional y se destinan a los sistemas fijos de agua pulverizada para la protección contra incendios. Son boquillas con o sin deflector externo que producen una descarga cónica llena y uniforme con gotitas de agua a media velocidad.

Hidrante: Dispositivo de suministro de agua para el combate de incendios, conectado a la red contra incendio o acueducto y situado en áreas estratégicas de dominio público o privado.

Listado: Según NFPA, Equipo, materiales o servicios incluidos en una lista publicada por una organización que sea aceptable para la Autoridad con Jurisdicción y concerniente a la evaluación de productos o servicios, que mantienen una inspección periódica de la producción de los equipos o materiales listados. Este listado indica que el equipo, material o servicio cumple con la normativa apropiada o ha sido probado y se ha encontrado como satisfactoria para un propósito específico.

UNIDADES

El sistema de unidades utilizado es en sistema Inglés.

Caudal:	gpm
Presión:	psi
Longitud:	pie-pulgada
Velocidad giro:	rpm
Volumen:	gal
Temperatura:	°C

1.2.2 Estado actual del conocimiento sobre el tema.

El conocimiento actual de el tema es extenso a nivel internacional, por lo tanto existen normativas específicas que buscan disminuir la probabilidad de ocurrencia de un accidente o el impacto que pudiese causar in accidente que involucre el incendio o la explosión de tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

Sin embargo en el Ecuador el conocimiento respecto al nivel de afectación que podría provocar un accidente que involucre un incendio o explosión de tanques de almacenamiento de GLP no tiene un sustento teórico, es por esto que

es de suma importancia el desarrollo de este proyecto; de igual manera los lineamientos en el país para un adecuado diseño, instalación y mantenimiento del sistema contra incendios no tienen el suficiente detalle para asegurar su óptimo desempeño durante un incendio.

Referente al análisis de riesgo de incendio y explosión, la normativa ecuatoriana no determina que se debe realizar este tipo de estudios para una planta de almacenamiento de GLP. Sin embargo esto es de suma importancia ya que nos ayuda a determinar las principales zonas afectadas, tanto para la propiedad como para las personas en el caso de que llegue a suscitarse un evento de incendio o explosión.

Para el caso de una explosión se debe identificar los niveles de sobrepresión, es decir el incremento de la presión atmosférica que sucede como consecuencia de una explosión, existen varios modelos matemáticos para la evaluación de las consecuencias, entre estos podemos mencionar:

- Método de Equivalencia a TNT (trinitrotolueno)

Es el método más empleado y se basa en la hipótesis de la equivalencia en efectos explosivos entre una masa determinada de materia inflamable y otra de TNT, básicamente es una correlación estadística con el tamaño de la liberación o estimación de la nube inflamable al daño que genera la explosión.

Este método utiliza las bases de dato de explosión de: U.S. Army y U. K. Health and Safety Executive (HSE).

$$L = 17 * \left(0.1 * mf * \frac{Hc}{Hctnt} \right)^{1/3}$$

Donde:

L = Distancia para 1 psig, (m)

Mf = Masa Inflamable, (kg)

H_c = Calor de Combustión, (kj/kg)

H_{cTNT} = Calor de Combustión para el TNT, 4680 (kj/kg)

- Método Multi-energía TNO.

Es similar al método TNT, sin embargo en este se utiliza el diferencial de energía que existe entre el TNT y el del producto o materia que está siendo analizada. Y tiene ventajas como una mejor estimación del daño producido por la explosión, mejor aproximación en lo correspondiente al comportamiento de la nube y puede estimar daños de nubes confinadas o no confinadas.

- Método Baker-Strehlow.

Este modelo sigue una metodología básica, ha sido diseñado para explosiones de nube de vapores, tiene la ventaja de poder modelar múltiples sub nubes, y se puede introducir más variables en el análisis como son la reflexión de la explosión contra el suelo, variar la fuerza de la explosión, densidad de obstáculos presentes en el área de análisis.

Para el caso de incendios lo que se pretende es predecir la exposición de diferentes niveles de radiación térmica, tomando en cuenta un escenario real para cada situación que se esté analizando, para lo cual se puede representar diferentes escenarios tales como:

- BLEVE
- Incendios de piscinas confinadas
- Incendios de piscinas no confinadas
- Incendios verticales tipo Jet (por ejemplo ruptura de líneas, o teas)

Actualmente en el Ecuador la normativa vigente exige el disponer de un sistema de protección para los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, sin embargo, no establece parámetros de diseño específicos, motivo por el cual para el diseño del sistema de protección se debe adoptar normas internacionales para el efecto.

Los sistemas contra incendios constituyen una herramienta eficaz a la hora de minimizar pérdidas de vidas, ambientales y materiales en instalaciones industriales, donde los procesos y sustancias generan altos niveles de riesgos por explosiones e incendios.

La adecuada protección de los procesos, mediante sistemas contra incendios diseñados bajo las recomendaciones de normativas como NFPA, API, ASME, y buenas prácticas de ingeniería, garantizará un nivel razonable de prevención y control de riesgos de incendios y explosiones a los ocupantes de estas instalaciones, así como también reducir el impacto generado producto de un evento no deseado. Para garantizar la operatividad bajo los parámetros de diseño es necesario realizar además una continua inspección, diagnóstico, auditoría y pruebas de dichos sistemas y la corrección de desviaciones que se presenten durante las mismas.

1.2.2.1 Fuegos tipo chorro (jet) vertical

El modelo de radiación de incendios de chorro vertical predice la longitud visible, el diámetro aproximado y la distancia de despegue de las llamas a reacción gaseosas verticales resultantes de accidentes de gasoductos de alta presión en el que se encendió el gas inflamable que se está escapando. También calcula los niveles de flujo de radiación térmica en un máximo de diez distancias especificadas por el usuario. El procedimiento de cálculo se describe en las siguientes secciones.

1.2.2.1.1 LONGITUD DE LLAMA DEL CHORRO

El modelo seleccionado asume que la forma de llama del chorro es cilíndrica. También el modelo supone que el gas obedeció la ley del gas ideal y que el flujo era isentrópico. Un gas de peso molecular, M_n se supone que fluye de

un reservorio a presión P_n y T_n temperatura a través de un agujero de diámetro D , con un coeficiente efectivo de descarga, C_d , a otro depósito a presión P_a y la temperatura T_a . Para una ruptura total de la tubería, se utilizó el diámetro de la tubería. Para la simulación de accidentes de campo, una forma rectangular se asumió con a' y b' siendo las dimensiones cortas y largas de la apertura. En este caso, el diámetro equivalente del orificio se estimó a partir de:

$$d_e = \sqrt{\frac{4 a' b'}{\pi}}$$

El tipo de flujo (ej., subsónico) fue determinado. El flujo podría ser sonico (es decir, a velocidad de salida sónica) si la siguiente correlación se cumple:

$$\frac{P_a}{P_n} < \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Donde:

P_n = presión en la boquilla (Pa)

P_a = presión atmosférica (Pa)

γ = relación de calores específicos del combustible

La tasa de flujo de masa inicial de flujo subsónico se estimó a partir de la siguiente ecuación:

$$Mass \ Flow \ rate = C_d \left(\frac{\pi}{4} \right) \sqrt{2 P_n \rho_n \left(\frac{\gamma}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{P_a}{P_n} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_a}{P_n} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]}$$

Donde:

C_d = coeficiente de descarga efectiva

d = diámetro del orificio (m)

ρ_n = densidad del combustible a la presión y la temperatura dentro de la tubería (kg / m³)

Mediante la combinación de las dos ecuaciones anteriores, la tasa de flujo

de masa de flujo estrangulado fue dada por la siguiente ecuación

$$\text{Mass Flow rate} = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{P_n \rho_n \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

Para flujo sónico, el chorro se expande a la presión atmosférica aguas abajo de la boquilla. Para el flujo subsónico, el número de Mach de chorro, Ma_j , se puede calcular a partir de la siguiente ecuación

$$Ma_j = \left(\frac{(1 + 2(\gamma-1)E^2)^{1/2} - 1}{\gamma-1} \right)^{1/2}$$

Donde

$$E = 3.6233 \times 10^5 \frac{F}{d^2} \sqrt{\frac{T_s}{\gamma M_k}}$$

y M_k = kilogramo de peso molecular de combustible, kg / g-mol

La temperatura de estancamiento, T_s , puede estimarse a partir de la siguiente ecuación

$$T_s = T_n \left(1 + Ma_n^2 \frac{(\gamma-1)}{2} \right)$$

Donde:

Ma_n = número de Mach de combustible en la salida

Para flujo estrangulado, el número Mach de chorro, el Ma_j se puede calcular mediante la siguiente ecuación

$$Ma_j = \left(\frac{(\gamma+1) \left(\frac{P_c}{P_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 2}{\gamma-1} \right)^{1/2}$$

Donde:

$$P_c = 3.6713 \frac{F}{d^2} \sqrt{\frac{T_n}{\gamma M_k}}$$

Donde:

F = caudal másico (kg / s)

Mk = peso molecular del combustible (kg / mol)

Tn = temperatura estática del combustible en el plano de salida de la tubería (K)

El diámetro fuente de combustión, d_s puede calcularse a partir de la siguiente ecuación

$$d_s = d_j \left(\frac{\rho_j}{\rho_a} \right)^{1/2}$$

Para el flujo subsónico, d_j es el mismo que el diámetro de la tubería, d , mientras que para flujo sónico, es el diámetro d_j virtual que se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$d_j = \left(3.6233 \times 10^5 \frac{F}{M_j} \sqrt{\frac{T_j}{\gamma M_k}} \right)^{1/2}$$

La temperatura del chorro, T_j , se puede encontrar a partir de la ecuación utilizada anteriormente para calcular la temperatura de estancamiento mediante la sustitución de la temperatura y el número de Mach del combustible en la tubería con la temperatura y el número de Mach del chorro después de la expansión a la presión atmosférica

$$T_j = \frac{2 T_s}{2 + (\gamma - 1) Ma_j^2}$$

La densidad del chorro después de la expansión a la presión atmosférica, ρ_j está dada por

$$\rho_j = \frac{273 \rho_g^0}{T_j}$$

Donde

ρ_g = densidad del combustible en condiciones normales (kg / m³)

La siguiente ecuación propuesta por Kalghatgi entonces fue utilizada para determinar la altura de la llama, H, con aire en calma:

$$\left(\frac{2.85 d_s}{H e_1} \right)^{2\beta} = 0.2 + 0.024 \left(\frac{g}{d_s^2 u_j^2} \right)^{1/\beta} H$$

Donde

e_1 = fracción de masa estequiométrica del combustible en el aire.

El diámetro fuente, d_s , está dada por la siguiente ecuación:

$$d_s = d_e \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_a}}$$

y la velocidad del chorro, u_j , está dada por la siguiente ecuación:

$$u_j = Ma_j \sqrt{\frac{\gamma R T_j}{M_k}}$$

Donde R es la constante universal de los gases = 8,314 J / mol ° K

La altura de la llama en viento cruzado, L_B , está dada por la siguiente ecuación:

$$L_B = H \left[0.51 e^{0.4v} + 0.49 \right] \left[1 - 0.00607 (\theta_{jv} - 90) \right]$$

Donde:

v = velocidad del viento (m / s)

θ_{jv} = ángulo entre el eje del orificio y el vector de viento en el plano que contiene el eje del orificio, eje de la llama y del vector viento

Entonces la siguiente ecuación fue utilizada para determinar el diámetro, D , de la llama de chorro:

$$D = L_B (0.18e^{-1.5r} + 0.31) (1 - 0.47e^{-25r})$$

Donde

r = relación entre la velocidad del viento a la velocidad del chorro = v / u_j

La altura del jet en el aire todavía incluye la distancia de despegue de la llama. Por tanto, la parte visible de la llama se obtiene restando la llama de despegue desde la altura de la llama en el aire inmóvil. La distancia de despegue de la llama, b , se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$b = 0.141 \sqrt{G \rho_a}$$

Donde G es el flujo de chorro de impulso expandido dada por la siguiente ecuación:

$$G = \frac{\pi \rho_j u_j^2 d_j^2}{4}$$

1.2.2.1.2 RADIACIÓN TÉRMICA

La intensidad de la radiación térmica en cualquier punto dado se calcula como antes. El máximo factor de vista y transmisividad atmosférica se calculan usando las mismas ecuaciones que se utilizan para calculada flujo de radiación térmica de incendios confinados en piscina.

Como resultado de una buena mezcla dentro de la llama debido a la turbulencia, la superficie de emisión de energía es probable que sea mayor que la observada en los incendios de piscina. Dado que los valores conocidos de la superficie de potencia de emisión para un material tienden a basarse en

experimentos de fuego de piscina, es razonable utilizar un valor para la potencia de emisión de una llama de chorro que es el doble de este valor.

1.2.2.2 RADIACIÓN TÉRMICA POR BLEVE

BLEVE es el acrónimo inglés de "boiling liquid expanding vapour explosion" (explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido). Este tipo de explosión ocurre en tanques que almacenan gases licuados a presión y sobrecalentados, en los que por ruptura o fuga del tanque, el líquido del interior entra en ebullición y se incorpora masivamente al vapor en expansión. Diámetro de bola de fuego y duración, este se simulara considerando las siguientes ecuaciones.

Diámetro máximo de la bola de fuego al final de la fase de combustión (m):

$$D_c = 5,8 m_f^{1/3}$$

Duración de combustión:

$$t_c = 0.45 m_f^{1/3} \text{ para } m_f < 30.000 \text{ kg}$$

$$t_c = 2.60 m_f^{1/6} \text{ para } m_f > 30.000 \text{ kg}$$

donde m_f = masa de combustible (kg)

Utilizando el modelo de fuente puntual Hymes, radiación recibida por el receptor (W / m²):

$$q = \frac{2.2 \tau_a R H_c m_f^{0.67}}{4\pi L^2}$$

Dónde:

a = transmisividad atmosférica = 1

R = fracción radiante del calor de combustión

H_c = calor de combustión (J / kg)

L = Distancia del centro de la bola de fuego al receptor (m)

Hymes sugiere los siguientes valores para R :

$R = 0,3$ para los recipientes con presión de ruptura por debajo de la presión de la válvula de alivio

$R = 0,4$ para los recipientes con presión de ruptura por encima de la presión de la válvula de alivio.

Los EE.UU. EPA2 sugiere el uso de 0,4 como un supuesto conservador.

Dosis Térmica (W / m^2) $^{4/3} = t q$ $^{4/3}$

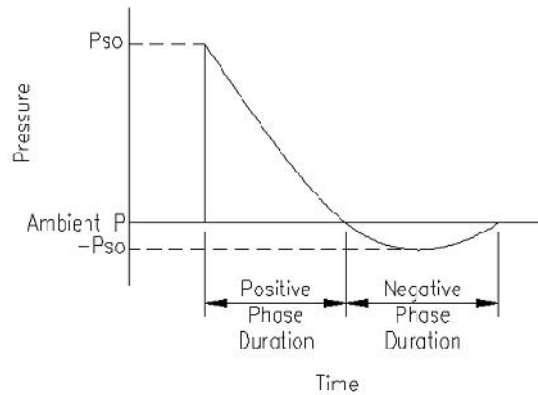
Dónde:

t = Duración de la exposición (s)

1.2.2.3 MODELO DE EXPLOSIÓN

Las explosiones se producen cuando un material explosivo, ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso, se detona. La detonación se refiere a la reacción química que progresa rápidamente, a velocidades supersónicas, a través del material explosivo. El material se convierte a una alta temperatura y alta presión de gas que se expande rápidamente para formar una onda de choque de alta intensidad. Estructuras en la trayectoria de la onda expansiva son totalmente engullidas por las presiones de choque. En cualquier ubicación lejos de la explosión, la perturbación de la presión tiene la forma según la figura 2:

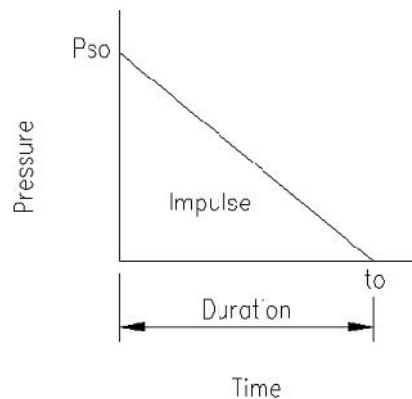
Figura 2. Perturbación de la Presión en el Tiempo



(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

Casi instantáneamente tras la explosión, la presión dentro del radio de la explosión se eleva a una sobrepresión pico, P_{so} , (incidente, o sobrepresión campo libre). La sobrepresión decae hasta la presión ambiente después de la duración de la fase positiva después de la cual se produce una fase negativa, donde la presión cae por debajo de la presión ambiente hasta un valor mínimo, $-P_{so}$. La fase de presión negativa de una onda de choque es por lo general significativamente menor y mayor duración que la fase positiva y por lo tanto generalmente se ignora en el diseño resistente a explosiones. Correspondientemente, una carga típica diseño de ráfaga está representado por una carga triangular con sobrepresión lateral en, P_{so} , y una duración, t_d , caracterizado por el gráfico de la figura 3:

Figura 3. Curva de Sobrepresión vs. Tiempo



(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

El área bajo la curva de presión-tiempo es el impulso.

1.2.2.3.1 MODELO DE EXPLOSIÓN BAKER-STREHLOW

Este modelo se basa en el trabajo de Baker y Strehlow. Se tiene en cuenta la variabilidad de la fuerza explosiva mediante la expresión de la explosión como un número de cargas de combustible y aire, cada uno con características individuales. Por lo tanto, la nube de explosión de vapor se modela como una serie de explosiones más pequeños, cada uno centrado en una sección limitada de la nube.

Para cada fuente de ignición confinado:

La energía de la explosión (J), $E = M_f H_f G$

Donde:

M_f = masa de combustible en la parte confinada de la nube (kg)

H_f = Calor de combustión (J / kg)

G = Factor de Reflexión de suelo.

$$\bar{R} = \frac{r P_0^{1/3}}{E^{1/3}}$$

Donde:

r = distancia del centro de la explosión (m)

P_0 = presión atmosférica (Pa).

La velocidad de la llama, M_w , se obtiene de las tablas de Baker-Strehlow,

tablas de Velocidad de Llama para las fuentes de ignición suaves, como una función de la expansión de la llama, reactividad del material y densidad de los obstáculos.

La velocidad de la llama se usa para seleccionar la curva de Baker-Strehlow adecuada, para determinar la sobrepresión adimensional \bar{P}_s , e impulso \bar{i} , correspondientes a \bar{R} .

Sobrepresión de la Explosión (Pa)

$$P = \bar{P}_s P_0$$

Impulso (Pa.s)

$$\bar{i} = \frac{\bar{i}_s P_0^{2/3} E^{1/3}}{A_0}$$

Donde A_0 = velocidad del sonido en el aire (m/s).

1.2.3 Adopción de una perspectiva teórica.

Luego de realizar un análisis de la situación real en la que se encuentra o van a estar expuestos los tanques de almacenamiento de GLP de la zona que está siendo objeto de esta investigación, se puede evidenciar que el modelo para obtener mejores resultados en cuanto a un análisis de sobrepresión (explosión) es el conocido como método de Baker-Strehlow, ya que este nos permite ingresar una mayor cantidad de variables que están presentes en el patio de tanques de almacenamiento de GLP; en lo referente a la simulación de incendio lo más conveniente es simular la situación de BLEVE y de Incendios Verticales tipo Jet ya que son los escenarios más probables para el área en análisis.

En lo referente al sistema de protección contra incendios, vamos a seguir

las recomendaciones de la normativa ecuatoriana, para este caso la llamada INEN 1536, y para lo referente al diseño del sistemas contra incendios para los tanques de almacenamiento de GLP propiamente dicho y los demás componentes principales de la red contra incendios las recomendaciones establecidas por NFPA y API.

1.2.4 Hipótesis.

Mediante la implementación de un sistema de protección contra incendios, diseñado de acuerdo a las recomendaciones de la normativa internacional aplicable y vigente, se podrá cumplir los estándares internacionales para el almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

1.2.5 Identificación y caracterización de variables

1.2.5.1 Variables Independientes

Condiciones climáticas: Como son temperatura, altura sobre nivel del mar (presión atmosférica) humedad relativa, dirección y velocidad del viento, son las condiciones climáticas ambientales de la zona en la cual se encuentran instalados los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

Características del Gas Licuado de Petróleo: propiedades químicas y físicas del producto que será almacenado en los tanques y que será objeto del análisis de riesgo de incendio y explosión.

Normativa Legal: Parámetros requeridos por la normativa ecuatoriana aplicable para protección contra incendios de tanques de almacenamiento de GLP.

El diseño actual de los tanques y si su estado actual.

1.2.5.2 Variables Dependientes.

Niveles de Preocupación: Se refiere a establecer valores específicos de radiación térmica para el caso de incendios y de sobrepresión para el caso de explosión para determinar zonas de alto, mediano y bajo riesgo de incidentes.

Situación actual del Sistema Contra Incendios: se refiere a los parámetros normativas y demás información que fue tomada en cuenta para realizar el diseño, instalación, montaje, arranque y mantenimiento del actual Sistema Contra Incendios, el mismo que será evaluado mediante el establecimiento de desviaciones de las recomendaciones de las diferentes normativas aplicables.

Distancias de Seguridad: Distancias entre el área de almacenamiento de GLP hacia las diferentes zonas o áreas que están dentro de las facilidades de almacenamiento y manejo de GLP, así como también las distancias a zonas exteriores a la planta.

Presupuesto para el Sistema Contra Incendio: Presupuesto final para que el Sistema Contra Incendios cumpla con las recomendaciones establecidas por la normativa aplicable.

Procedimientos de Operación y Mantenimiento: Cumplimiento de procedimientos de operación, mantenimiento y pruebas del sistema contra incendios, que deben ser socializados al personal.

Incendio y/o Explosión: Evaluar en términos económicos la cantidad de pérdidas probables como consecuencia de un incendio y/o explosión.

CAPITULO II.

MÉTODO.

En este capítulo se expondrá los medios que serán utilizados para poder determinar si el sistema contra incendios que actualmente protege los tanques de almacenamiento de GLP cumple con las normativas aplicables así como también establecer el nivel de afectación que puede causar un incendio y/o explosión a las personas que se encuentran dentro de la planta así como a las personas habitan a los alrededores de la planta, a las facilidades de la planta y que podrían llegar a tener como consecuencia la pérdida de imagen de la compañía o el cierre de la misma.

2.1 NIVEL DE ESTUDIO.

El tipo de estudio para la realización del presente proyecto es netamente Descriptivo, debido a que lo que se pretende es establecer claramente cuál es la situación actual del sistema contra incendios actual que pretende proteger los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo en una planta de distribución de GLP y los componentes de dicho sistema desde la cantidad de agua de almacenamiento, las bombas del sistema, red de tuberías y dispositivos de descarga de agua del sistema contra incendios para protección de los tanques de almacenamiento.

De igual manera para evaluar las zonas que pueden verse involucradas en un posible escenario de incendio y/o explosión se realizará un tipo de estudio descriptivo, ya que se detallara cuales son los componentes que están presentes en la zona de almacenamiento de GLP y que pueden tener influencia directa en las distancias de afectación a ser determinadas.

2.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.

La mayor parte de la información necesaria para realizar la investigación se la obtendrá del lugar mismo donde están actualmente instalados los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, por lo tanto esta investigación será De Campo, también conocida como investigación in situ.

Sin embargo es necesario tomar en cuenta que esta investigación será la base para la posterior implementación de un sistema contra incendios acorde a las normativas aplicables, así como también establecer un primer escalón para procedimientos de mantenimiento y operación del Sistema Contra Incendios.

2.3 MÉTODO.

Se utilizará el método Hipotético – Deductivo, debido a que este método nos permite partir desde la observación del fenómeno a estudiar, es decir podemos establecer cuáles son las condiciones reales del área de tanques de almacenamiento de GLP y del sistema contra incendios instalado actualmente y sobre la base de esta información podremos analizar la hipótesis planteada en el Capítulo II mediante la verificación o comprobación con normativas aplicables para el diseño de sistemas contra incendio para protección de tanques de almacenamiento de GLP.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

El estudio se lo realizará básicamente al área de almacenamiento de GLP que está compuesta por dos tanques horizontales con una capacidad de almacenamiento de 215 m³ cada uno, y adicionalmente al sistema contra incendios de la planta que protegen a los mencionados tanques, compuesto de fuente de suministro de agua, bombas contra incendios, red de tuberías y dispositivos de descarga de agua. Por tal motivo no aplica el establecer una población y muestra para realizar el presente estudio.

2.5 SELECCIÓN INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

El principal instrumento para realizar la investigación será la observación, debido a que mediante esta se podrá determinar la situación actual de los tanques de almacenamiento y posibles desviaciones que estos puedan tener y que incrementen la probabilidad de un accidente, el estado actual del sistema contra incendios para poder comparar con lo recomendado con la normativa internacional, y de igual manera mediante la observación se podrá determinar las personas, internas o externas, equipos y demás facilidades que pudiesen verse afectadas por un incendio y/o explosión de los tanques de almacenamiento. Para evaluar la posible afectación producida por un incendio y/o explosión de los tanques de almacenamiento se realizará la simulación de un escenario real con la ayuda de un software que nos permitirá realizar cambios en las variables para determinar la variación en los resultados finales y poder determinar cuál sería el “peor escenario real” como consecuencia de un incendio y/o explosión.

2.6 HERRAMIENTAS

Para la elaboración de las curvas de afectación que pretenden determinar el nivel de sobrepresión y radiación térmica a una distancia “x” medida desde la fuente, en este caso los tanques de almacenamiento de GLP, se utilizará un programa específico y certificado para el efecto llamado “BREEZE Incident Analyst desarrollado por la compañía Trynity Consultants.

De igual forma para realizar los cálculos hidráulicos en lo referente a densidad de descarga por cada rociador, presión de descarga por cada rociador y pérdidas de presión se lo realizará mediante la utilización de un programa denominado AUTOSPRINK, el cual está avalado por NFPA y que es desarrollado por la empresa M.E.P. Cad,

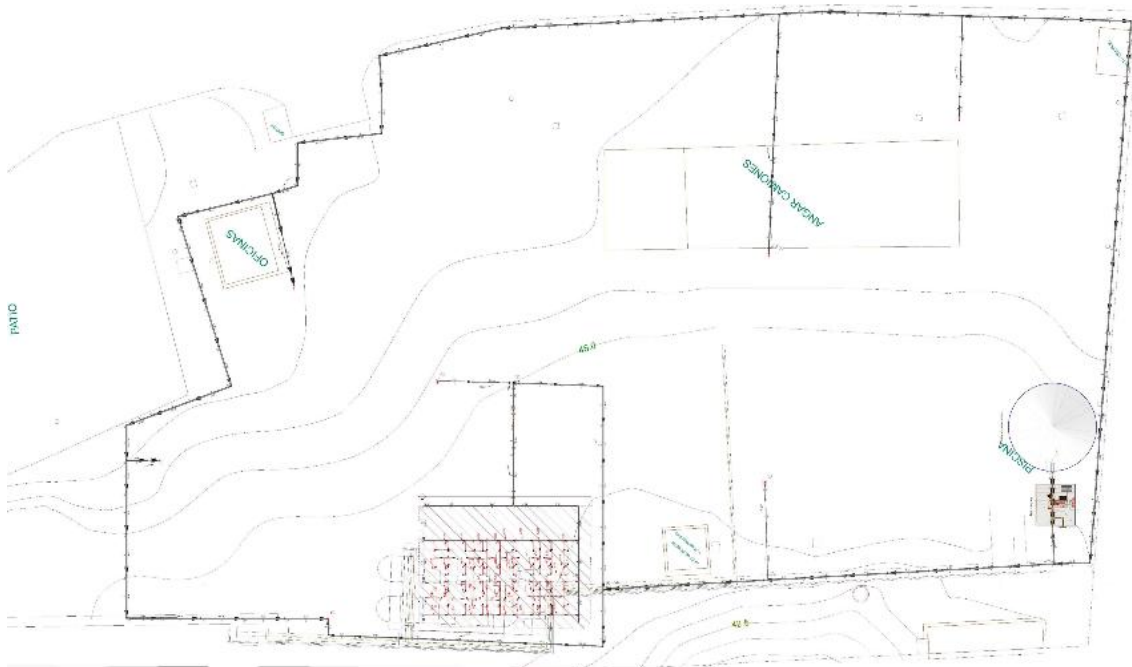
CAPITULO III. RESULTADOS.

3.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS

3.1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA

La planta de almacenamiento de GLP se encuentra ubicada en la ciudad de Ventanas, en la provincia de Los Ríos y actualmente se encuentra alejada de zonas pobladas, el lugar más cercano se encuentra a 200 metros del límite de la planta, es por esto que es importante determinar las zonas de afectación en caso de un incendio y/o explosión, y tiene una distribución de zonas como se muestra en la Figura 4

Figura 4. Implantación de la Planta de Almacenamiento de GLP




(Autor: Stalin Molina)

3.1.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP

La planta dispone de dos tanques de almacenamiento de GLP con una capacidad de almacenamiento de 215 m³ cada uno, y estos cuentan con el certificado de conformidad de fabricación según la norma INEN como se puede apreciar en la Figura 5

Figura 5. Certificado de Conformidad de Fabricación de los tanques de almacenamiento de GLP.




INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CON NORMA

No.: DC-CP-BP 2008- 543 (Dos originales)

PRODUCTO:	Tanque fijo horizontal para GLP, de 215,0 m ³ de capacidad nominal.
MARCA COMERCIAL:	N. A. (No aplicable)
SOLICITANTE:	C.E.M. AUSTROGAS, Panamericana Norte km 13,3 - Cuenca-Ecuador
FABRICANTE:	INDUSTRIA ACERO DE LOS ANDES, IAA, Panamericana Sur km 14 ^{1/2} , Quito Ecuador.
DESTINATARIO Y/O PROPIETARIO:	PETROCOMERCIAL, Quito - Ecuador.
IDENTIFICACIÓN DEL LOTE/ MUESTRA:	No.: TQ-644, fecha de fabricación 2003-09.
TAMAÑO DEL LOTE/ MUESTRA:	1 (uno).
NORMA(S) TECNICA(S) DE REFERENCIA:	NTE INEN 2261, Código ASME Sección VIII, División 1, NFPA 58.
INFORME(S) TECNICO(S):	IT DC 2008-787 – Memoria Técnica.
CARACTERISTICAS EVALUADAS:	NTE INEN 2261, Código ASME Sección VIII, División 1, NFPA 58.
CONCLUSIONES:	El tanque No. TQ-644, cumple con los requisitos especificados en las Normas Técnicas de Referencia
OBSERVACIONES:	Presiones de diseño: 1,72 MPa; de ensayo 2,24 MPa; material: del cuerpo SA 516 Gr-70 y de las cabezas SA 516 Gr-70, espesores: cuerpo 25,4 mm, cabezas 12,7 mm; temperatura de diseño: 65,6 °C. ESTE TANQUE TIENE ESTAMPE ASME
Lugar y fecha de emisión:	Quito-Ecuador, 2008-08-22



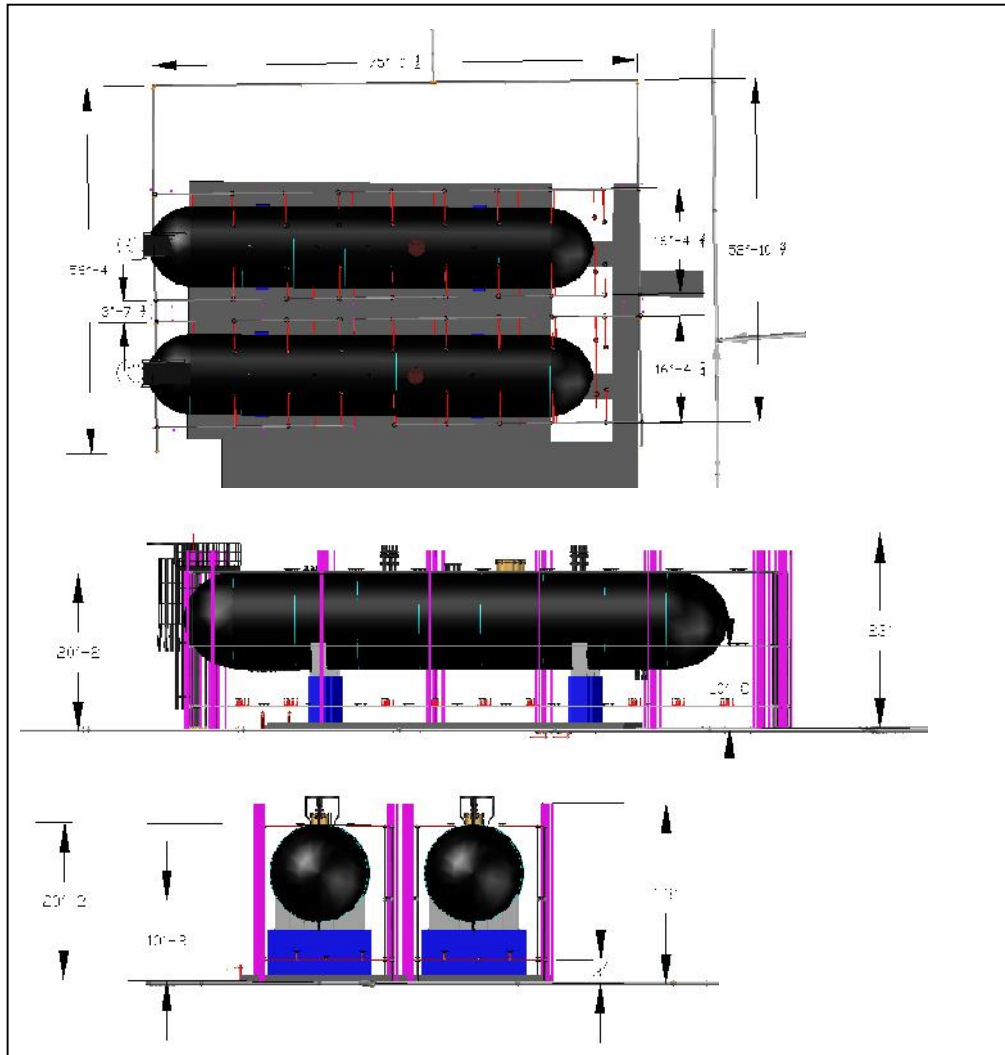
Dr. Ramiro Gallegos
DIRECTOR DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS

LAS CONDICIONES PARA EL USO DE ESTE CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CON NORMA, SE DETALLAN AL REVERSO.

Adicionalmente la unidad de Mantenimiento de la planta lleva un estricto control del Mantenimiento Preventivo de los tanques de almacenamiento y dispositivos de seguridad que disponen estos tanques, como son válvulas de alivio, válvulas de corte para ingreso y salida de GLP, dispositivos de medición, etc... y para complementar realizan tareas de mantenimiento predictivo mediante mediciones periódicas de espesores en tanques y tuberías así como ensayos no destructivos para disminuir la probabilidad de ocurrencia de una falla en los componentes del sistema.

Se realizó el levantamiento de información referente a las dimensiones de los tanques para poder realizar el análisis de incendio y explosión de una manera más confiable, así como también poder determinar el área superficial de los tanques que necesita ser cubierta para determinar la cantidad de flujo de agua necesaria, en la Figura 6 se muestran estas dimensiones.

Figura 6. Dimensiones de los Tanques de Almacenamiento de GLP



(Autor: Stalin Molina)

La planta dispone de un sistema contra incendios para protección de los tanques de GLP a base de monitores y rociadores de agua. Por lo tanto se realizó una revisión de este sistema considerando las recomendaciones de la normativa aplicable de NFPA, como son: NFPA 20, NFPA 13, NFPA 25, encontrándose las siguientes desviaciones:

Bomba de agua no cumple con los requerimientos mínimos para sistemas contra incendios (NFPA 20) y su capacidad de caudal y presión están muy por debajo del mínimo requerido por NFPA 15.

Figura 7. Bomba Contra Incendios



(Autor: Stalin Molina)

Tuberías principales de descarga de la red de rociadores es de 1" lo cual no permite descargar la cantidad de agua requerida para proteger los tanques. Además se observa desgaste por corrosión.

Figura 8. Tubería del Sistema Contra Incendios



(Autor: Stalin Molina)

Para una adecuada protección de los tanques de GLP se debe proteger el 100% del área y en la actualidad solo tiene rociadores en la parte superior del tanque, por lo que no es posible cubrir toda el área superficial de los tanques.

Figura 9. Sistema Actual de Rociadores de Tanques de GLP



(Autor: Stalin Molina)

La piscina de agua tiene una capacidad de aproximadamente 300 m³. Se requiere que al menos se logre una independencia de 4 horas. De acuerdo a los cálculos detallados más adelante se requiere una capacidad de al menos 2000 m³.

Figura 10. Almacenamiento de agua (Piscina) del Sistema Contra Incendio



(Autor: Stalin Molina)

La alimentación actual de la piscina de almacenamiento de agua es a través de un pozo ubicado en el interior de la planta de GLP. Este pozo de acuerdo a lo indicado por especialistas podría tener un tiempo de vida de al menos 5 años.

La cantidad y ubicación de monitores no permite proteger área de ingreso de auto tanques, área de oficinas, compresores y posible área de almacenamiento de cilindros de gas.

La estación no cuenta con un sistema de detección de gas e incendio en el área de los tanques de GLP.

3.2 PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 ANALISIS DE RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN ACTUAL.

3.2.1.1 EVALUACIÓN DE PROBABILIDAD DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

La probabilidad de ocurrencia de un accidente que involucre incendio y/o explosión para el caso de los tanques de almacenamiento de GLP se los podría analizar desde dos perspectivas, la primera sería la probabilidad de fallo de uno de los componentes de los tanques de almacenamiento así como de las líneas de ingreso y salida de GLP y sus componentes, los mismos que permitirían una fuga de GLP hacia el exterior y a su vez la probabilidad que esta fuga de GLP a concentraciones combustibles alcance una fuente de ignición que desencadene en un incendio; la segunda alternativa sería considerar las estadísticas de eventos similares sucedidos en el pasado.

Para analizar la primera perspectiva se lo ha realizado de manera cualitativa ya que se confirmó que existen protocolos de mantenimiento

predictivo y preventivo que minimizan la probabilidad de existencia de una fuga de GLP, sin embargo, se recomienda la instalación de un Sistema de Detección de Gases para que se emita una señal específica que alerte la existencia de una fuga de GLP en la zona de almacenamiento de GLP y de esta manera minimizar el riesgo de que esta nube alcance una fuente de ignición.

De cualquier manera y considerando la segunda perspectiva para analizar la probabilidad de ocurrencia de incendio y/o explosión causada por factores externos independientes, y que no se los puede controlar se ha considerado la información que se muestra en la Tabla 5 para poder cuantificar de alguna manera las estadísticas de este tipo de accidentes en la industria.

Tabla 5. Nivel de Probabilidad vs. Estadísticas de Eventos Similares

PROBABILIDAD	NIVEL	DESCRIPCION
	1	Evento nunca escuchado en la industria. No hay conciencia que este evento haya ocurrido en la industria.
	2	Existe conciencia de que este evento ha ocurrido en la industria.
	3	Evento que ha ocurrido al menos una vez en la empresa, pero no se visualiza que pueda volver a ocurrir.
	4	Evento que ha ocurrido al menos una vez en la empresa y que podría volver a ocurrir
	5	Evento que ha ocurrido al menos una vez en la empresa y que podría volver a ocurrir en el período de un año
	6	Evento que ha ocurrido al menos una vez en esta instalación y que podría volver a ocurrir en el período de un año.
	7	Evento que ha ocurrido al menos una vez en esta instalación y que podría volver a ocurrir dos o tres veces en el período de un año.
	8	Evento que ha ocurrido al menos una vez en esta instalación y que podría volver a ocurrir más de tres veces en el período de un año.

(EPA, 2009)

De la Tabla 5, y debido a que Existe conciencia de que este evento ha ocurrido en la industria nacional e internacional, se le asigna al caso en estudio un nivel de probabilidad de ocurrencia de 2.

Cuantificación de probabilidad de incendio y explosión: 2

Es importante recalcar que la probabilidad obedece a un análisis estadístico de eventos ocurridos, por lo que es muy difícil establecer controles operativos para reducir la probabilidad en este caso.

3.2.1.2 EVALUACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Para una evaluación más objetiva se realizará un análisis de consecuencia primero de un escenario de explosión, es decir dependiendo de los niveles de sobrepresión que podría generar una explosión, y por separado se realizará las zonas de radiación térmica generadas por un incendio en los tanques de almacenamiento de GLP.

3.2.1.2.1 ANALISIS DE CONSECUENCIAS POR SOBREPRESIÓN

Para obtener una estimación zona de amenaza, primero debe elegir uno, dos o tres niveles de preocupación (LOC). Cada tipo de amenaza que se evalúa debe tener al menos un nivel de preocupación determinado.

Una nivel de preocupación (LOC) de sobrepresión es un nivel de umbral de la presión de una onda de choque, por lo general la presión encima de la cual puede existir daños específicos. Para la valoración de un escenario de explosión, se utilizan tres valores LOC, con colores distintos

como se indica a continuación:

- Amarillo: 1,0 psi (vidrio se rompe);
- Naranja: 3,5 psi (lesiones graves probable); y
- Red: 8,0 psi (destrucción de los edificios).

Estos valores de sobrepresión se basan en información de varias fuentes ampliamente aceptadas para este tema (por ejemplo, el Instituto Americano de Ingenieros Químicos 1994, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias et al. 1988, y Lees 2001). Considere la Tabla 6 (Lees, 1980), que relaciona los valores de sobrepresión a los efectos estructurales y fisiológicos producidos.

Tabla 6. Valores de Sobrepresión vs. Daños Esperados

Sobrepresión (psig)	Daño Esperado
0.04	Ruido fuerte (143 dB); estallido sónico; falla de vidrio
0.15	Presión típico para el fallo de vidrio
0.40	Daños estructurales limitados menores
0.50 – 1.00	Normalmente vidrios dañados; algunos daños en el marco de la ventana
0.70	Daños menores en estructuras de casas
1.00	La demolición parcial de las casas; inhabitable
1.0 – 2.0	Paneles Corrugado metálicos fallan; Paneles de madera se desprenden
1.0 – 8.0	Rango de lesiones de leves a graves laceraciones por proyección de vidrios
2.0	Colapso parcial de las paredes y los techos de las casas
2.0 – 3.0	Paredes no reforzadas de concreto o bloques de hormigón rotos
2.4 – 12.2	Rango de 1-90% ruptura del tímpano entre las poblaciones expuestas
2.5	Destrucción de ladrillo de casas

3.0	Edificio de marco de acero distorsionados
5.0	Postes de electricidad de madera quebrados
5.0 – 7.0	Destrucción casi completa de casas
7.0	Volcadura de vagones de tren cargados
9.0	Vagones de tren cargados demolidos
10.0	Probablemente la destrucción total del edificio
14.5 – 29.0	Rango de 1 a 99% las muertes entre las poblaciones expuestas debido a los efectos directos de explosión

(EPA, 2009)

3.2.1.2.2 PASOS PARA SIMULACION DE INCENDIO

A continuación se detalla para ingresar la información en el modelo de simulación de incendio.

3.2.1.2.3 CONFIGURACIÓN DEL ESCENARIO

En esta sección se detalla cómo configurar un escenario.

Hay una cantidad de datos de entrada que se requieren para la mayoría de escenarios. Muchos de los datos introducidos o las opciones seleccionadas dependen de otra entrada de datos u opciones.

La configuración del escenario se define como los datos que normalmente se ingresaron antes de añadir fuentes o receptores.

1. Fecha / Hora - La fecha y hora del incidente no siempre se requiere para cada incidente modelado. Hay una serie de escenarios que requieren esta información para ayudar a determinar el ángulo del sol que, a su vez, se utiliza con la información de ubicación para determinar la tasa

de evaporación, entre otras cosas.

2. Sistema de Coordenadas - Otra característica opcional, un representante sistema de coordenadas se utiliza para representar la ubicación de cualquier fuente de modelado, receptor, o un mapa base.

3. Datos del Químico – el programa puede modelar una sola sustancia química (pura o mezcla / solución) en cada escenario modelado. Una base de datos químicos se incluye con la aplicación, el usuario puede seleccionar el producto químico a modelar. Si el producto químico deseado no aparece en la base de datos, el usuario puede crear un nuevo producto químico o mezcla. Los datos de química es por lo general lo primero que se define en un escenario. Hay varias otros datos y opciones que dependen de las propiedades químicas.

4. Datos meteorológicos - Todos los escenarios requieren que el usuario defina las condiciones meteorológicas en el momento del incidente. Los datos meteorológicos por lo general se compone de una sola condición / observación meteorológica y se utiliza para estimar la tasa de liberación de productos químicos y la tasa de dispersión y la dirección de los gases tóxicos, entre otras cosas.

5. Los niveles de preocupación - Un nivel de preocupación (LOC) es un valor de umbral de un peligro (toxicidad, radiación térmica, o sobrepresión). El LOC es por lo general el valor por encima del cual puede existir una amenaza para las personas o los bienes. La mayoría de los productos químicos en la base de datos incluidos tienen LOC asociados a ellos. Antes de que un escenario se puede ejecutar, debe especificar de uno a tres LOC para el producto químico que se modela para cada uno de los tipos de riesgo que se está evaluando (es decir sobrepresiones, dispersión tóxica, radiación térmica, o de explosión).

A continuación se detallará toda la información que se ingresa al programa de Análisis de Incidentes para obtener como resultado las distancias a las cuales se tendrá ciertos niveles de Sobrepresión y Radiación Térmica.

1. Identificación del Producto (Material a ser analizado)

Figura 11. Información del GLP

Sort by: Name CAS# ID More options...

Chemical: LPG (Liquefied Petroleum Gas)

Parameter	Value	Units
Molecular weight	50.14809	g/g-mole
Boiling point	249.0117	K
Critical temperature	393.68	K
Critical Pressure	40.02161	atm
Critical Volume	225.3058	cm ³ /g-mole
Liquid heat capacity	4380.75	J/kg-K
Heat of vaporization	407870	J/kg

(Consultants, Hazardous Release Modeling, 2014)

2. Información Meteorológica de la Zona

Figura 12. Información Meteorológica de la Zona

Parameter	Value	Units
Temperature	31	C
Pressure	1	atm
Relative humidity	58	%
Wind direction	270	degrees
Wind speed	3.05	m/s
Anemometer height	10	meters
Stability class	D	
Surface roughness	0.03	meters

(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

3. Niveles de Preocupación de Sobrepresión y Radiación Térmica

Figura 13. Niveles de Preocupación de Sobrepresión

LOC type:

	Levels of concern	Color
	psi(g)	
Lower	1	Yellow
Middle	3.5	Orange
Upper	8	Red

(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

Figura 14. Niveles de Preocupación de Radiación Térmica

LOC type:

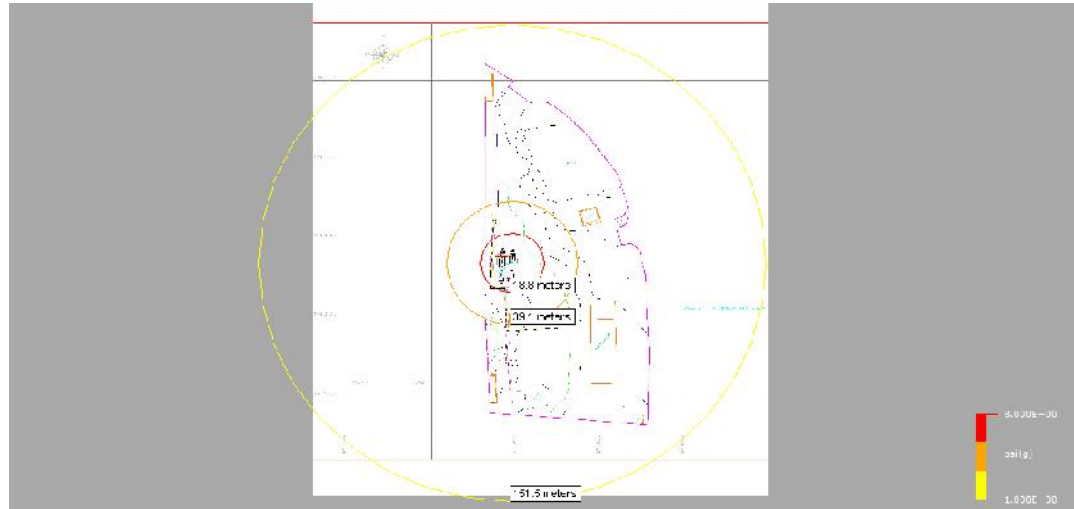
	Levels of concern	Color
	kW/m ²	
Lower	2	Yellow
Middle	5	Orange
Upper	10	Red

(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

Como resultado de la información ingresada al sistema, se obtiene los siguientes resultados:

SOBREPRESIÓN

Figura 15. Curvas de Sobrepresión



(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

El gráfico de sobre presión muestra que de existir un evento no deseado tipo explosión en uno de los tanques de almacenamiento de GLP, muestra que en un radio de 18.8 metros la sobre presión es crítica, se ha contemplado que la explosión sería del tipo no confinada y que se daría en una de las válvulas de alivio, razón por la cual la energía procedente de la misma sería desplazada hacia la parte superior del tanque de almacenamiento de GLP

3.2.1.2.4 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS POR RADIACIÓN TÉRMICA

Un nivel de preocupación (LOC) de radiación térmica es un nivel de umbral de la radiación térmica, por lo general el nivel por encima del cual puede existir un peligro. Cuando se ejecuta un escenario de incendio, se utilizará tres valores LOC para crear las zonas de amenaza:

- Amarillo: 2 kW / m² (dolor dentro de 60 segundos);
- Naranja: 5 kW / m² (quemaduras de segundo grado en 60 segundos); y
- Rojo: 10 kW / m² (potencialmente letal dentro de 60 segundos).

Los efectos de la radiación térmica que experimentan las personas dependen de la longitud de tiempo que están expuestos a un nivel de radiación térmica específica. Duraciones de exposición más largas, incluso a un nivel de radiación térmica más baja, pueden producir efectos fisiológicos graves. Las zonas de amenaza mostrados representan niveles de radiación térmica; el texto adjunto indica los efectos sobre las personas que están expuestas a los niveles de radiación térmica, pero que son capaces de buscar refugio en un minuto.

Los valores de radiación térmica se basan en una revisión de varias fuentes ampliamente aceptadas para este tema (por ejemplo, el Instituto Americano de Ingenieros Químicos 1994, Agencia Federal para el Manejo de Emergencias et al. 1988, y Lees 2001).

Para establecer los LOC de radiación térmica, se considera la siguiente tabla (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias et al., 1988), que enumera algunos efectos fisiológicos en los niveles de radiación térmica y duraciones específicas (sobre la piel desnuda):

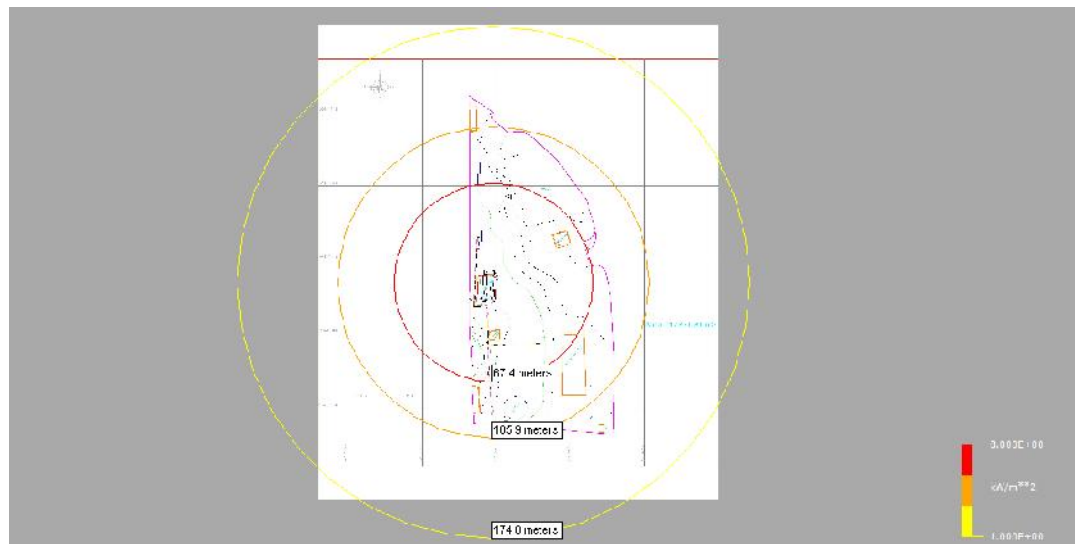
Tabla 7. Valores de Radiación Térmica vs. Daños Físicos Esperados

Radiation Intensity (kW/m ²)	Time for Severe Pain (seconds)	Time for 2nd Degree Burns (seconds)
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	17	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

(EPA, 2009)

RADIACIÓN TÉRMICA

Figura 16. Curvas de Radiación Térmica



(Consultants, BREEZE Incident Analyst, 2014)

El gráfico de radiación térmica ocasionada por un evento no

deseada tipo incendio en los tanques de almacenamiento de GLP, muestra que en un radio de 67.4 m la radiación térmica es crítica, alcanzando zonas sensibles como las oficinas administrativas y el área de compresores, razón por la cual se ha optado por colocar dispositivos de descarga de agua para protección de los mismos.

3.2.1.3 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIA EN TÉRMINOS ECONÓMICOS

Sobre la base de las gráficas obtenidas en la sección anterior se pudo determinar que un accidente que involucre un incendio y/o explosión en los tanques de almacenamiento de GLP afectaría de manera grave (curva roja de sobrepresión y radiación térmica), tanto a la Salud de los trabajadores de la planta, al medio ambiente y a las instalaciones de la planta.

Por lo tanto y luego de analizar los valores establecidos en la Tabla 8 y considerando que el Sistema Contra Incendios que actualmente está instalado no ayudaría a un control óptimo del posible incendio, se determina que el nivel de consecuencia es de 5.

Tabla 8. Niveles de Consecuencia.

CONSECUENCIA	NIVEL	Salud y Seguridad	Medio Ambiente	Financiero
	1	Primeros Auxilios	Afectación área interna a la instalacion o área no sensible interna con recuperación inmediata (menor a 7 dias).	<10K
	2	Días Perdidos >1 y < 100	Recuperación inmediata de áreas afectadas externas a la instalacion (mayor a 1 semana y menor a 2 semanas)	10K - 100K
	3	Días Perdidos >100 o lesion incapacitante permanente	Afectación de un área sensible con recuperación inmediata menor a 2 semanas o de un área no sensible con recuperación inmediata (mayor a 2	100 K – 1 MM
	4	1 o 2 Fatalidades 10 o mas lesionados que requieran tratamiento u Hospitalización	Afectación de un área sensible con recuperación inmediata (mayor a 2 semanas y menor a 12 semanas) o de un área no sensible	1 MM - 5 MM
	5	Potencial de 3 – 10 Fatalidades dentro o fuera de la instalacion - 30 o más lesionados que requieran tratamiento	Afectación de un área sensible con recuperación mayor a 3 meses y menor a un año o afectación de un área no sensible con recuperación mayor	5 MM - 10 MM
	6	Potencial de 10 – 50 fatalidades dentro o fuera de la instalacion	Daño extensivo con afectación de un área sensible con recuperación mayor a 1 año y menor a 2 años o a un área no sensible con	10 MM – 20 MM
	7	Potencial de 50-100 fatalidades dentro o fuera de la instalacion	Daño extensivo a un área sensible con una recuperación de 2 a 5 años.	20 MM - 50 MM
	8	Potencial de 100 o más fatalidades dentro o fuera de la instalacion.	Daño extensivo a un área ambientalmente sensible con una recuperación mayor a 5 años	>50 MM

(EPA, 2009)

3.2.1.4 EVALUACIÓN DE RIESGO ACTUAL

El nivel de probabilidad estadística de ocurrencia de un accidente que involucre incendio y/o explosión fue determinado en la sección 3.1.3.1 y el Nivel de consecuencia en la sección 3.1.3.3, tenemos los siguientes valores:

Nivel de Probabilidad: 2

Nivel de Consecuencia: 5

Estos valores serán utilizados para poder visualizar el nivel de riesgo que han sido clasificados según la Tabla 9

Tabla 9. Niveles de Riesgo

	RIESGO CRITICO
	RIESGO POTENCIALMENTE CRITICO
	RIESGO MODERADO
	RIESGO ACEPTABLE

(EPA, 2009)

La matriz que se utiliza para la evaluación del riesgo es la que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Matriz de Evaluación de Riesgo

		PROBABILIDAD									
CONSECUENCIA	8										
	7										
	6										
	5										
	4										
	3										
	2										
	1										
			1	2	3	4	5	6	7	8	

(EPA, 2009)

Por lo tanto se puede verificar que actualmente el Nivel de Riesgo de Incendio y/o Explosión de los tanques de almacenamiento de GLP se lo considera como RIESGO POTENCIALMENTE CRÍTICO.

Por lo expuesto anteriormente es indispensable el diseñar e instalar un sistema de detección de gases e incendio acompañado de un sistema de extinción diseñado de acuerdo a la recomendación de normativas internacionales para minimizar el nivel de consecuencia de un accidente que involucre incendio y/o explosión.

3.3 APLICACIÓN PRÁCTICA

3.3.1 SISTEMA DE CONTROL DE INCENDIOS

Para el caso de incendio en tanques de GLP, la protección se basa fundamentalmente en la aplicación de agua de enfriamiento para el tanque incendiado y para los adyacentes, para evitar la exposición a la radiación y la propagación del incendio.

De acuerdo al Handbook – NFPA el sistema de spray realiza la tarea de enfriamiento en el caso de un incendio, previene que el líquido contenido escape y protege las paredes del tanque contra rotura debido a altas temperaturas de flama localizada(NFPA Handbook, 2008).

Los sistemas están diseñados para cubrir la superficie total mojando a una densidad específica, tomando en consideración el tipo de boquillas, tamaño, distancia hacia el tanque y espaciamiento entre ellas.

Normalmente no es esperado que el sistema de spray extinga el GLP que fuga, sin embargo, el efecto de enfriamiento del agua en el tanque puede reducir y controlar la rata de quemado y reducir la severidad de la exposición hasta que el gas se acabe o las válvulas puedan ser cerradas.

Figura 17. Protección Con Boquillas Tipo Spray



FIGURE 16.9.1 Water Spray Protection for LP-Gas Tanks

(NFPA Handbook, 2008)

La cantidad de agua para la protección con sistema de spray, se determinará en base a las recomendaciones de NFPA 15 Edición 2012 sección 7.4.2.1 Sprays de agua debería ser aplicado en toda la superficie (arriba, abajo) con una tasa de aplicación no menor a 0.25 gpm/ft² sobre la superficie expuesta ((NFPA 15), 2012).

Además para el diseño se debe considerar las características y recomendaciones de fábrica de las boquillas tipo spray a seleccionarse, información con la cual se determina, ubicación, cantidad, flujo y presión de operación de las boquillas tipo sprays.

Normativa como NFPA además proporciona recomendaciones que deben ser consideradas en el diseño como en las siguientes secciones de la NFPA 15 Edición 2012((NFPA 15), 2012):

Sección 7.1.7 El diseño debería asegurar que el chorro de las boquillas se unan o se sobrepongan.

Sección 7.1.8 El espaciamiento horizontal y vertical de las boquillas no

debe exceder los 10 ft (3m). (Pueden exceder si la boquilla esta listada para ello).

Sección 7.1.10 La tasa de descarga diseñada para sistema único o múltiple no debe exceder la capacidad de agua disponible ((NFPA 15), 2012).

Sección 7.4.2.2 Donde escurrimiento (rundown) sea contemplado, la distancia entre boquilla a diferente nivel o altura, no debería exceder los 12 ft (3.7 m), distancia medida sobre la superficie((NFPA 15), 2012).

Sección 7.4.2.4 La distancia horizontal entre boquilla debería ser tal que los chorros de agua se unan o se sobrepasen en el área a proteger((NFPA 15), 2012).

Sección 7.4.2.4 Superficie esféricas o cilíndrica bajo el ecuador del tanque de GLP no pueden ser consideradas para escurrimiento (rundown)((NFPA 15), 2012).

Sección 7.4.2.5 Donde proyecciones de (manholes, tubería, bridas, soportes, válvulas, etc) obstruyan el área de cobertura del spray, incluyendo escurrimiento en superficie verticales, boquillas adicionales deberían ser instaladas alrededor de las proyecciones para mantener el chorro de enfriamiento apropiado((NFPA 15), 2012).

Para este diseño se ha previsto reubicar y mejorar los hidrantes / monitores, se considera de tal manera que se puedan utilizar como lo recomienda la norma API 2510 sección 10.3.1.3, que al menos se puedan utilizar 3 descargas de 250 gpm (API 2030, 2014).

La norma NFPA 24 Edición 2013 en la sección 8.6 adicionalmente recomienda disponer de quipos generales en casetas de mangueras ubicadas próximas a los hidrantes, hidrantes – monitores. Entre los equipos mínimos requeridos se encuentran 2 pitones de 1.5” con válvulas de cierre, 4 llaves de

gancho universales, mangueras contra incendio y reducciones de 2.5" a 1.5".

Una vez determinada la cantidad y capacidad de consumo agua a través de sprays e hidrantes-monitores, se determinó la capacidad del tanque de almacenamiento de agua. El mismo que debe cumplir con NFPA 2001, API 2510 es decir debe tener una capacidad de suministro a la máxima capacidad diseñada de al menos 4 horas.

Las tuberías principales de agua de acuerdo a NFPA 24 Edición 2013 sección 4.7 y 5.2, API 2510 sección 10.3.1.4 no deben ser menores a 6" y deben ser de acero ASTM A 53 / A 135.

Para este diseño se consideran válvulas de diluvio las cuales deben estar listadas UL para aplicaciones contra incendios.

El dimensionamiento y cálculos con las tasas de aplicación se detallan en la Sección Memoria de Cálculos.

3.3.2 SISTEMA DE DETECCION Y ALARMA DE INCENDIOS

Se propone para la Estación AUSTROGAS-VENTANAS la implementación de un sistema de detección y alarma que cubra sus instalaciones y de esta forma se encuentre íntegramente protegida contra una posible eventualidad de incendio cumpliendo con la normativa NFPA 72 y NFPA 70.

Un sistema automático de detección y alarma de incendios está constituido fundamentalmente por: un tablero central de control, fuentes de alimentación eléctrica, detectores de incendio, estaciones manuales de alarma, módulos de monitoreo, módulos de control, difusores de sonido y circuitos de señalización((NFPA 24), 2013).

El sistema diseñado podrá operar de forma remota los dispositivos de

control de incendios mediante la apertura de válvulas de diluvio, además de monitorear posibles alarmas de fuego en otras áreas aunque no se dispongan de un sistema de extinción automático, todo esto en caso de que alguno de los sensores que se encuentran a él conectado den una señal de alarma o que algún operador active una botonera en señal de alerta.

El panel o controlador principal requiere de un lugar amplio porque está formado por un gabinete tipo rack de 100x 60x 40 cm (LxAxP) aproximadamente y se incluye la fuente de 24VDC de 30A y baterías. Puede instalarse preferentemente en el **ÁREA DE BOMBAS Y COMPRESORES**. La visualización del estado de las alarmas y del sistema en general se podrá acceder mediante una HMI propia del panel de control, la misma que también es utilizada para la configuración lógica del sistema.

El sistema protegerá las áreas de **TANQUES DE GLP** de la estación mediante la activación remota y automática de la **VÁLVULA DE DILUVIO** ubicada en el **ÁREA DE BOMBAS** en la línea de descarga del sistema de **CONTROL DE INCENDIOS**, para el monitoreo del área antes mencionada se ubicarán detectores de flama y detectores de gas que cubran toda el área considerada como peligrosa y que contenga gases de carácter explosivo. En el **ÁREA DE OFICINAS** se instalarán detectores de humo fotoeléctricos con la finalidad de proteger la integridad de las personas circundantes y las instalaciones en general. Se ubicarán estaciones manuales para el **ÁREA DE BOMBAS** y para el **ÁREA DE OFICINAS**, de tal manera que si existiese un conato de incendio sea de responsabilidad de los ocupante activar estos equipos y así generar un estado de alarma en el sistema de detección de incendios, así mismo se instalará luces estroboscópicas y sirenas en dichas área con la finalidad de que la alerta sea tanto visual como audible.

La activación de la **VÁLVULA DE DILUVIO** dependerá únicamente de la presencia de llama mediante el monitoreo de los **DETECTORES DE FUEGO** instalados en el área de tanques de GLP, ante la presencia de gas inflamable que

será monitoreada por medio de los DETECTORES DE GAS se presentará un estado de alarma en el sistema de detección sin embargo no se activará la VÁLVULA DE DILUVIO, es decir que el sistema dispone de un INTERLOCK redundante o doble, pues no disparará el sistema a menos que las dos señales se confirmen.

Ante la presencia de humo en el ÁREA DE OFICINAS que será monitoreado mediante los DETECTORES DE HUMO se presentará un estado de alarma en el sistema de detección y alarma.

Es primordial que en cualquier caso de activación de estado de ALARMA en el sistema los dispositivos de notificación como son LUCES ESTROBOSCÓPICAS y SIRENAS también serán accionados por el PANEL DE CONTROL de tal manera que sean claramente visibles, audibles y reconocibles por cualquier persona que se encuentre dentro de la locación protegida.

Las ESTACIONES MANUALES, se ubicarán en el ÁREA DE BOMBAS y en el ÁREA DE OFICINAS, estos dispositivos permitirán que los ocupantes de las instalaciones puedan desencadenar una secuencia de alarma, esta decisión será tomada de acuerdo al mejor criterio de la persona que considere que es necesaria la activación de la misma, al activar cualquiera de las estaciones manuales el sistema entra a condición de alarma y se activarán los dispositivos de notificación.

El panel o controlador principal debe recibir la señal de todos estos periféricos a través de un lazo de comunicación que debe recorrerlos y enviar la información. Esto será con cable de comunicaciones especificado por el fabricante en una canalización propia o por canaleta (contemplado en este estudio de manera referencial). En el caso de que se supere la longitud de 1500 metros de cableado se debe incorporar amplificadores o repotenciadores de señal LON/SLC.

Para la instalación de equipos es necesario que se realice un análisis de previo de clasificación de áreas para cumplir con la normativa NPFA 70 (NEC)

para instalaciones en áreas peligrosas CLASE 1 DIVISION 1 y CLASE 1 DIVISION 2, siendo la plataforma donde se ubican los tanques de almacenamiento de GLP, AREA DE DESPACHO Y AREA DE BOMBAS Y COMPRESORES CLASE 1 DIVISION 1((NFPA 70), 2014).

Las trayectorias trazadas en los planos de la Estación AUSTROGAS-VENTANAS no son definitivas, en una etapa superior de diseño deben analizarse las trayectorias, su factibilidad y costos específicos.

3.3.2.1 SECUENCIA POSITIVA DE ALARMA

El funcionamiento del sistema de alarma y detección tiene dos segmentos que son: activación de extinción con espuma para tanques y detección de incendios únicamente para otras áreas.

Activación de extinción

Para activar la descarga del agua de SCI en los tanques de GLP se debe activar los detectores de llama ante la mínima presencia de incendio.

Una vez recibida la señal del detector, esta señal llega al panel y ejecuta el algoritmo para activar la válvula de diluvio específica para el recorrido hacia el tanque afectado.

Activa las alarmas de incendio (sirenas y luces estroboscópicas) que se encuentran en los alrededores del área afectada.

Envía una señal y muestra el lugar de la alarma en el HMI del operador.

Activación de detección y alarma de otras áreas

En las siguientes áreas protegidas los sensores de flama son quienes

detectan la presencia de un incendio y envían una señal de alarma al panel de incendios; este a su vez activa las señales de notificación de alarma de incendios (sirenas y luces estroboscópicas) únicamente del área afectada.

Envía una señal y muestra el lugar de la alarma en el HMI del operador.

Supervisión

El área de bombas del Sistema Contra Incendios (SCI), contará con bombas modernas y tableros de control nuevos, permite monitorear el estado de la bomba, sus alarmas y problemas de funcionamiento. Se monitorean señales como encendido, falla de arranque, problema general, bomba en NO Automático, y otros factores que permita el fabricante de la bomba monitorear con la incorporación de un módulo inteligente que se conecta al anillo de comunicación del panel o controlador principal por la red LON / SLC. Con este módulo podemos monitorear o controlar hasta 8 puntos.

De la misma manera con un módulo de entradas y salidas se supervisarán las válvulas que componen la casa de bombas como por ejemplo las válvulas de succión, de descarga, de pruebas, etc.

3.3.2.2 DISPOSITIVOS DE CAMPO

Se deberán considerar al menos los siguientes dispositivos de campo:

Tabla 11. Lista De Equipos De Detección Por Ubicación

Tipo de Dispositivo	Lugar de Instalación	Cantidad	Tipo de I/O
Detector de GAS Infrarrojo	Tanques de GLP	2	LON /SLC
Detector de Flama UVIR	Tanques de GLP	2	LON /SLC

Detector de Humo Fotoeléctrico	Oficinas	4	LON /SLC
Estación Manual	Área de Bombas	1	Contacto NO o LON/ SLC
	Oficinas	1	
Sirena	Área de Bombas	1	24 VDC
	Oficinas	1	
Luz Estroboscópica	Área de Bombas	1	24 VDC
	Oficinas	1	
Módulos de entradas/salidas	Área de Bombas	1	LON /SLC
Fuente de Alimentación 24 VDC	Área de Bombas	1	120VAC o 220 VAC
Panel de Control	Área de Bombas	1	120VAC o 220 VAC

(Autor: Stalin Molina)

3.3.2.3 LISTADO DE EQUIPOS Y CANTIDADES

Tabla 12. Lista De Equipos De Detección

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
1	u	PANEL O CONTROLADOR PRINCIPAL
1	u	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24 VDC
2	u	BATERIA 12 VDC
2	u	DETECTOR DE FLAMA UVIR (EXPLOSION PROOF)
2	u	DETECTOR DE GAS INFRAROJO (EXPLOSION PROOF)
4	u	DETECTOR DE HUMO FOTOELECTRICO

2	u	ESTACION MANUAL
2	u	SIRENA DE ALARMA DE INCENDIO
2	u	LUZ ESTROBOSCOPICA
2	u	MODULO DE ENTRADS Y SALIDAS
1	U	TERMINADOR DE FIN DE LINEA

(Autor: Stalin Molina)

3.3.3 MEMORIA TÉCNICA

3.3.3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

El área de Tanques de almacenamiento de GLP constituye la de mayor riesgo potencial por el tipo de tanques, por lo tanto los requerimientos de agua son los que definen el dimensionamiento de sistema de bombeo, cantidad y capacidad de sprays, hidrantes/monitores y tanque de reserva de agua contra incendios.

A continuación se determinará el requerimiento mínimo para enfrentar este riesgo.

Consideraciones:

- Diseño de protección a base de sistema de sprays.
- Utilización secundaria de Hidrantes/Monitores

Tabla 13. Detalle Informativo De Tanque De GLP.

Tipo de Tanques	ASME
Tipo de Producto	GLP
Tipo de Tapa	Hemisférica
Diámetro (ft) (D)	12,53 ft
Largo (ft) (L)	55,58 ft
Área del Tanque (área expuesta) ft ²	2713.62 ft ²
Número de Tanques	2

$$\text{Tasa de aplicación} = 0.25 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \quad ((\text{NFPA 15}), 2012)$$

$$\text{Área a proteger} = 2713.62 \text{ ft}^2. \quad (\text{Área superficial del tanque}).$$

$$\text{Flujo de Agua: } 0.25 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \times 2713.63 \text{ ft}^2 = 678.40 \text{ gpm}.$$

Capacidad mínima: Flujo de Agua por tanque = 678.40 gpm.

TOTAL MÍNIMO DE AGUA PARA SPRAYS: 1356.8 GPM

Como se indicó anteriormente, de acuerdo a lo indicado por API 2510 se debería adicionar Mínimo 3 descargas de Hidrantes/Monitores, es decir al menos un caudal 750 gpm.

Es decir de acuerdo a esta información se requiere mínimo 2106.80 gpm para proteger los tanques de GLP

**TOTAL MÍNIMO DE AGUA PARA SCI RIESGO MAYOR:
2106.80 GPM**

3.3.3.2 MEMORIA DE DISEÑO

La cantidad, ubicación y caudal de descarga de las boquillas tipo sprays depende del tipo de boquilla seleccionada. Para este diseño se requiere una boquilla SPRAY tipo D3 de pulverización direccionales, abiertas a media velocidad (ver Figura 18)

Figura 18. Esquema De Spray Tipo D3

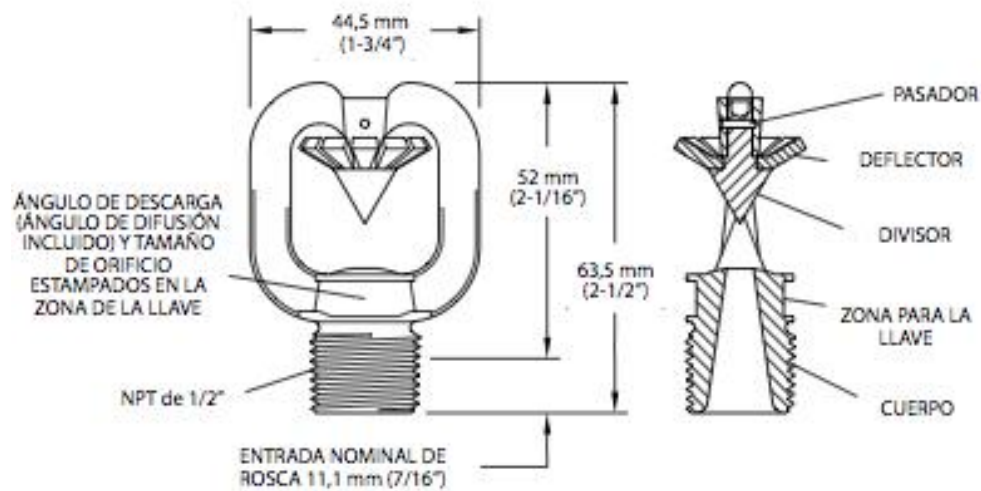
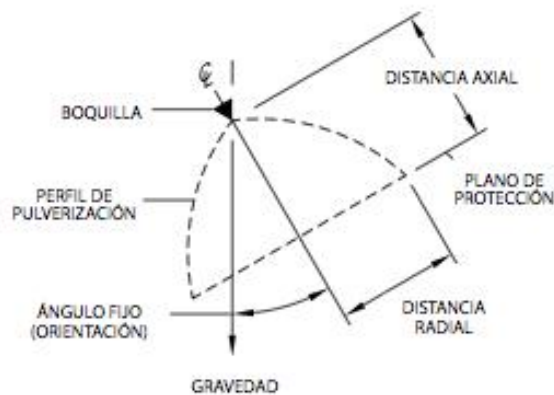
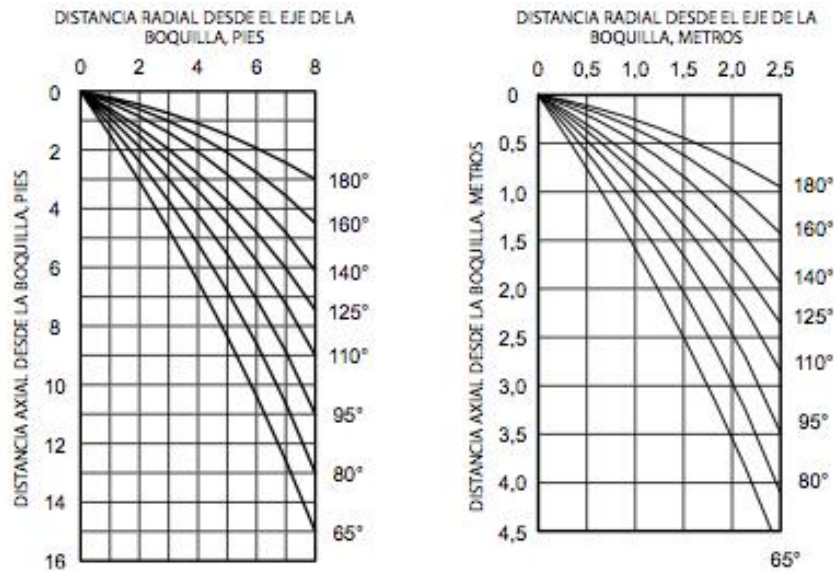


FIGURA 1
BOQUILLAS PROTECTOSPRAY TIPO D3
DIMENSIONES NOMINALES

(NFPA Handbook, 2008)

En base de las características de esta boquilla se procede a escoger el tipo específico que corresponde a las boquillas tipo sprays superiores, a los sprays laterales e inferiores de tal manera que la ubicación, ángulo de orientación, ángulo de descarga y flujos de agua permitan cubrir el 100% del área expuesta.

Figura 19. Esquema De Operación De Spray Tipo D3



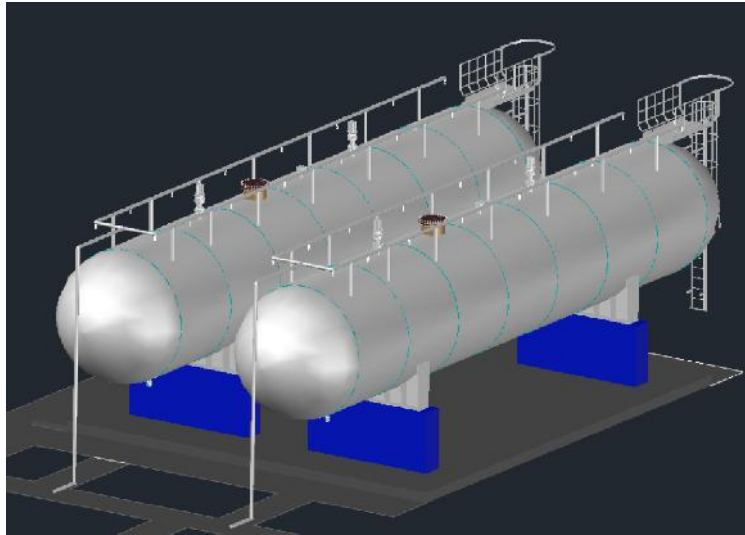
NOTAS:

1. Datos de diseño obtenidos de pruebas en aire calmo.
2. Los datos de diseño se aplican a una presión residual (en la cabeza) en la entrada de la boquilla de 1,4 a 4,1 bar (20 a 60 psi). Para las presiones hasta 12,1 bar (175 psi) consulte al Servicio técnico de Tyco Fire & Building Products. Consulte a la autoridad jurisdiccional las presiones residuales mínimas requeridas. Los perfiles de pulverización de diseño permanecen esencialmente inalterados sobre las distancias axiales máximas mostradas en las tablas C y D.
4. Para las distancias axiales de hasta 0,6 m (2') para ángulos de descarga de la boquilla de 65° a 140°, el perfil de la pulverización de diseño es igual que el ángulo de descarga nominal.
5. Las distancias axiales máximas mostradas en las tablas C y D se basan en la protección por enfriamiento

(NFPA Handbook, 2008)

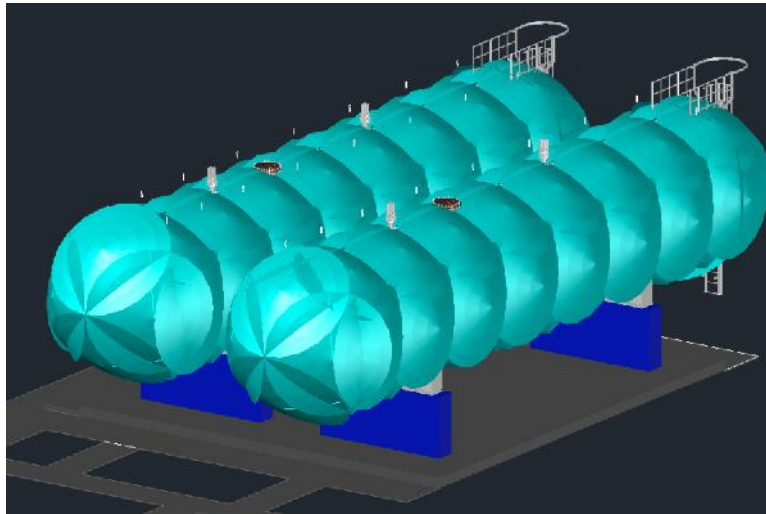
En base de esto se procede a verificar en los planos, que la cobertura de las boquillas seleccionadas cubra el 100% del área expuesta, de lo cual se determina la cantidad de rociadores, como se observa en la Figura 20.

Figura 20. Tanques Actuales



(Autor: Stalin Molina)

Figura 21. Diseño Con Sprays D3 100% Cobertura Áreas Expuestas



(Autor: Stalin Molina)

Del análisis anterior se resume las siguientes tablas con el listado de Sprays tipo D3 requeridos.

Tabla 14. Detalle De Sprays Parte Superior Y Tapas De Tanque GLP.

CUERPO DEL TANQUE PARTE SUPERIOR			
ROCIADORES SUPERIORES			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	180	DISTANCIA RADIAL	1,6
ANGULO FIJO	30		
DISTRANCIA AXIAL	0.5 M		
ORIFICIO	18		
16 ROCIADORES			
ROCIADORES MEDIOS			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	180	DISTANCIA RADIAL	0,9
ANGULO FIJO	90		
DISTRANCIA AXIAL	0.6 M		
ORIFICIO	21		
16 SPRAYS TIPO D3			
ROCIADORES PARA TAPAS			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	180	DISTANCIA RADIAL	1,8
ANGULO FIJO	45		
DISTRANCIA AXIAL	0.6 M		
ORIFICIO	18		
4 <u>SPRAYS TIPO D3</u>	(2 POR CADA TAPA)		
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	180	DISTANCIA RADIAL	1,58
ANGULO FIJO	90		
DISTRANCIA AXIAL	0.5M		
ORIFICIO	18		
4 SPRAYS TIPO D3	(2 POR CADA TAPA)		

(Autor: Stalin Molina)

Tabla 15. Detalle De Sprays Parte Inferior

CUERPO DEL TANQUE PARTE INFERIOR			
ROCIADORES INFERIORES LATERALES			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	140	DISTANCIA RADIAL	1,15
ANGULO FIJO	150		
DISTRANCIA AXIAL	0.5 M		
ORIFICIO	28		
18 BOQUILLA TYCO D3			
ROCIADORES INFERIORES VERTICALES			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	125	DISTANCIA RADIAL	0.5
ANGULO FIJO	150		
DISTRANCIA AXIAL	0.6 M		
ORIFICIO	24		
9 SPRAYS TIPO D3			
SOPORTES INFERIORES			
BOQUILLA ANGULO DE DESCARGA	180	DISTANCIA RADIAL	1,8
ANGULO FIJO	90		
DISTRANCIA AXIAL	0.6 M		
ORIFICIO	18		
8 <u>SPRAYS TIPO D3</u>			

(Autor: Stalin Molina)

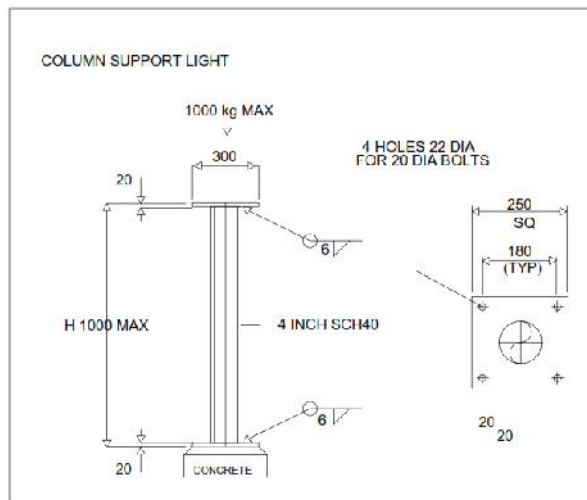
3.3.4 SOPORTERIA ESTRUCTURAL

Para el diseño de la soportería de los diferentes ramales del sistema contra incendios, se han tomado como referencias la normativa aplicable ASME y la NFPA. Siendo la normativa ASME requisito para todas las líneas principales y la NFPA para todo lo perteneciente al sistema de rociadores.

A continuación se muestra el típico de la soportaría recomendada:

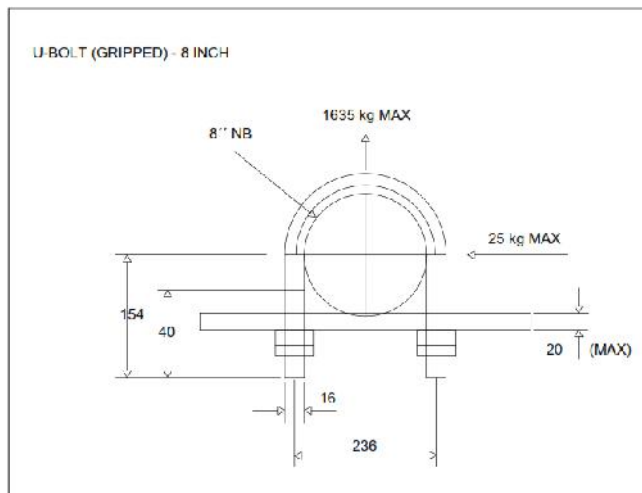
- **Tubería Principal 8 pulgadas.**

Figura 22. Soporte Columna Tubería 8"



((NFPA 24), 2013)

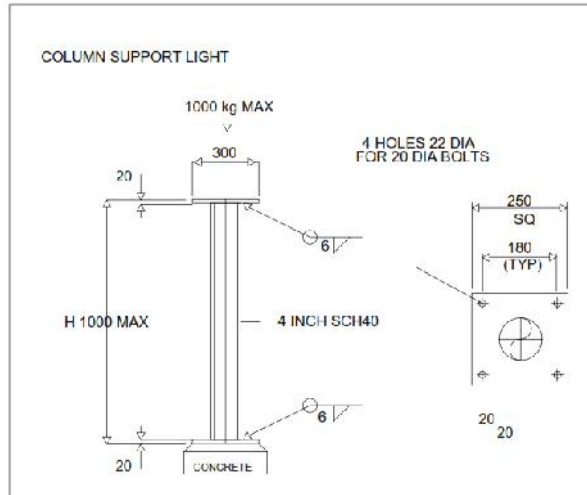
Figura 23. Detalle De Soporte U Bold 8"



((NFPA 24), 2013)

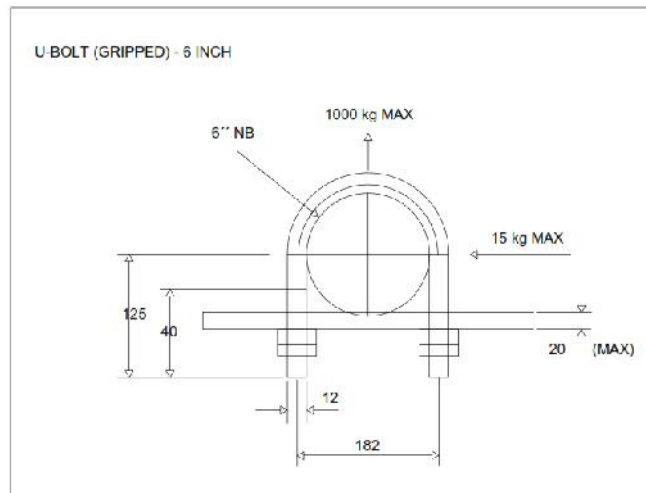
- **Tubería Principal 6 pulgadas.**

Figura 24. Detalle De Soporte Columna 6"



((NFPA 24), 2013)

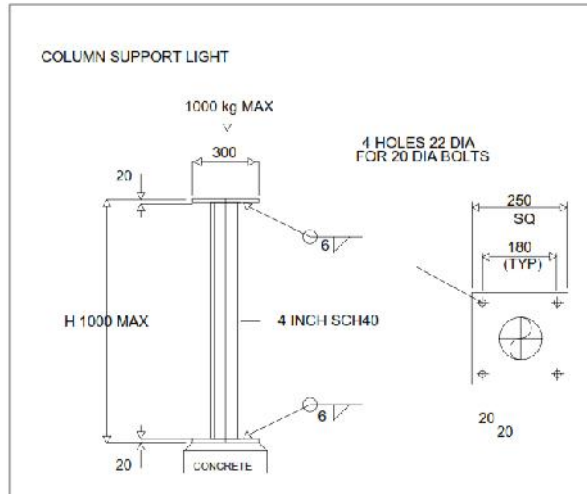
Figura 25. Detalle De Soporte U Bolt 6"



((NFPA 24), 2013)

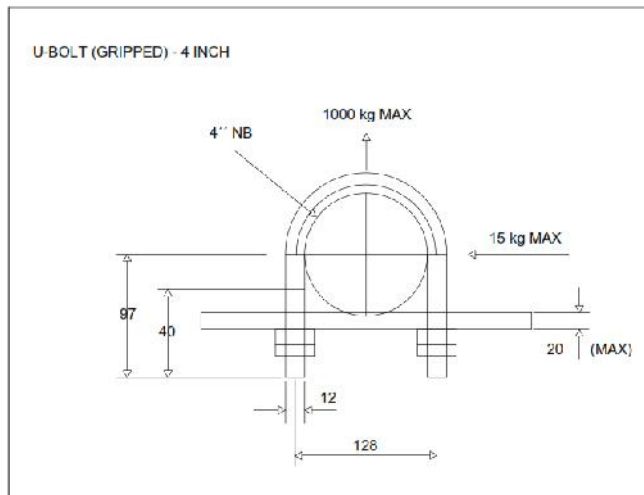
- **Tubería Principal 4 pulgadas.**

Figura 26. Detalle De Soporte Columna 4”



((NFPA 24), 2013)

Figura 27. Detalle De Soporte U Bolt 4”



((NFPA 24), 2013)

- **SOPORTE PARA LÍNEAS DE BOQUILLAS**

Para el sistema de rociadores se debe seguir las recomendaciones de la NFPA 15, donde los parámetros principales son:

- Altura de los soportes
- Diámetro de los soportes
- Diámetro de las tuberías del loop.

Tabla 16. Altura máxima de los soportes

TABLE 16.4.1 Maximum Pipe Stand Heights

Diameter of Pipe	Pipe Stand Diameter									
	1½ in.		2 in.		2½ in.		3 in.		4 in.	
1½ in. (40 mm)	10 ft (3.0 m)	14 ft (4.3 m)	18 ft (5.5 m)	28 ft (8.5 m)	30 ft (9.1 m)					
2 in. (50 mm)	8 ft (2.4 m)	12 ft (3.7 m)	16 ft (4.9 m)	26 ft (7.9 m)	30 ft (9.1 m)					
2½ in. (65 mm)	6 ft (1.8 m)	10 ft (3.0 m)	14 ft (4.3 m)	24 ft (7.3 m)	30 ft (9.1 m)					
3 in. (75 mm)	—	8 ft (2.4 m)	12 ft (3.7 m)	22 ft (6.7 m)	30 ft (9.1 m)					
>3 in. (>75 mm)	—	—	—	—	—				10 ft (3.0 m)	

Source: NFPA 15, *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*.

((NFPA 15), 2012)

Tabla 17. Distancia entre soportes

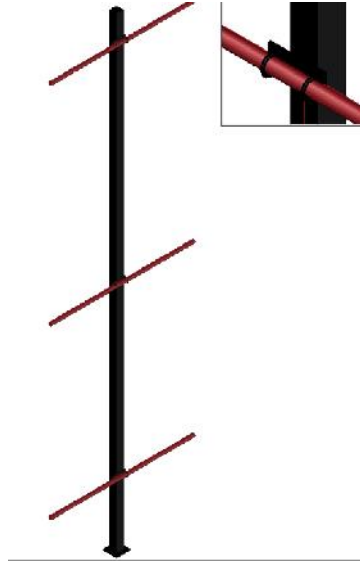
TABLE 16.4.2 Pipe Stand Distance

Loop Size		Distance Between Pipe Stands	
in.	mm	ft	m
1	25	10	3.0
1½	40	12	3.7
2	50	14	4.3
2½–8	65–200	15	4.6

Source: NFPA 15, *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*.

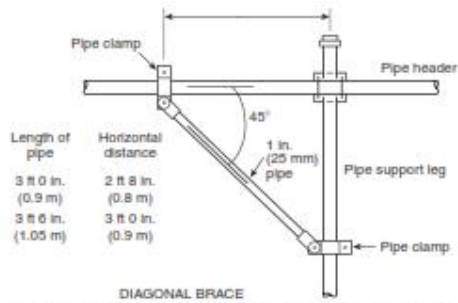
((NFPA 15), 2012)

Figura 28. Detalle De Soporte Línea De Boquillas



(Autor: Stalin Molina)

Figura 29. Detalle De Soporte Para Línea De Boquillas.



DIAGONAL BRACE
 Note: When using diagonal braces as supports, the maximum dimension between support legs can be exceeded by one-half the total horizontal distance of the diagonal braces.

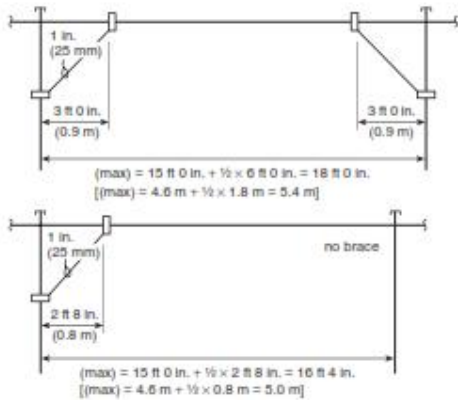


FIGURE 16.4.2 Sway/Support Brace

((NFPA 15), 2012)

3.3.5 DISEÑO MECÁNICO – HIDRÁULICO

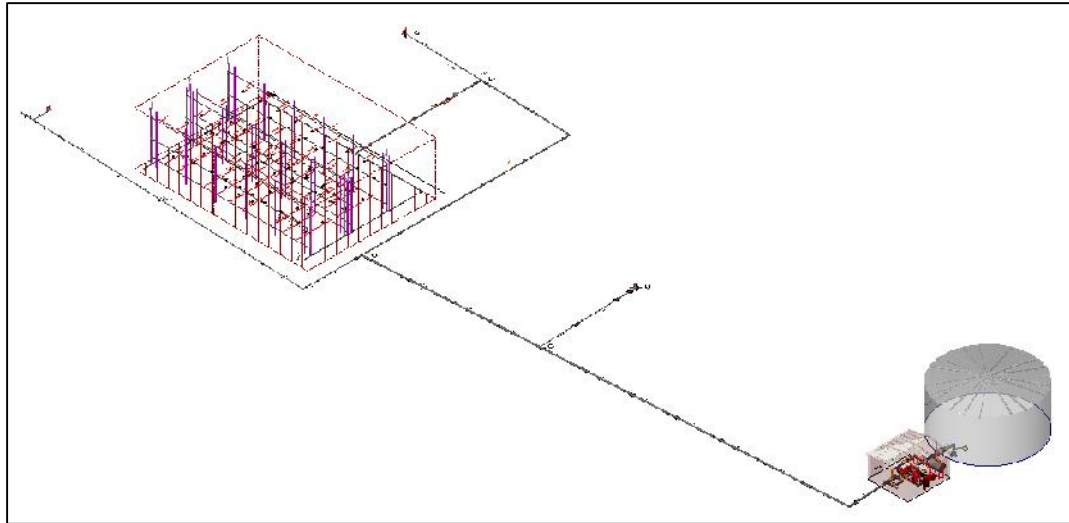
El análisis hidráulico permite determinar el caudal y presión requeridos en cada boquilla tipo spray seleccionada en las tablas anteriores para de esta forma definir la cantidad total de flujo de agua a ser descargado. Esto va de la mano con la determinación de los diámetros de tuberías mínimos requeridos para que la presión en el rociador más lejano sea de 20 a 60 psi.

Para este diseño hidráulico se utilizó el software AutoSprink 12 Platinum, mismo que permite a través de la simulación de la operación del sistema para el riesgo mayor, definir de manera eficiente y eficaz los diámetros de las tuberías de la red de agua.

El software permite finalmente determinar la presión de trabajo de la bomba, para que en equilibrio con los diámetros de tuberías seleccionados, los distintos dispositivos operen apropiadamente.

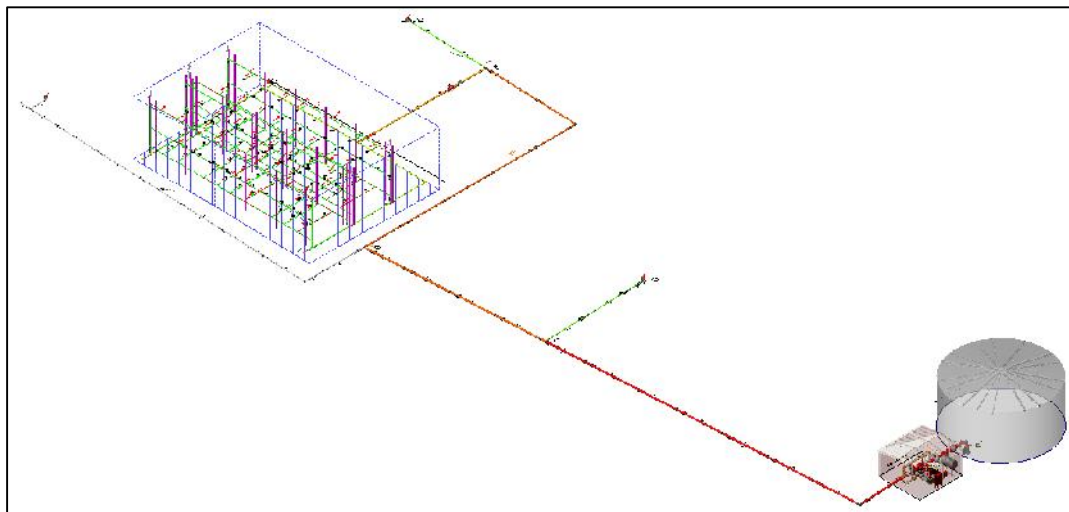
En las diferentes figuras se puede apreciar parámetros básicos del funcionamiento del sistema, mientras que en la Figura 9.1.5 Grafico del Sistema, se puede apreciar que con el presente diseño, a más de cumplir con los parámetros de operación principales se dispone de 6 psi más de lo requerido por el sistema, lo cual brinda un factor de seguridad adicional al sistema, en el caso de requerir una ampliación del mismo.

Figura 30. Vista General del Sistema Contra Incendios



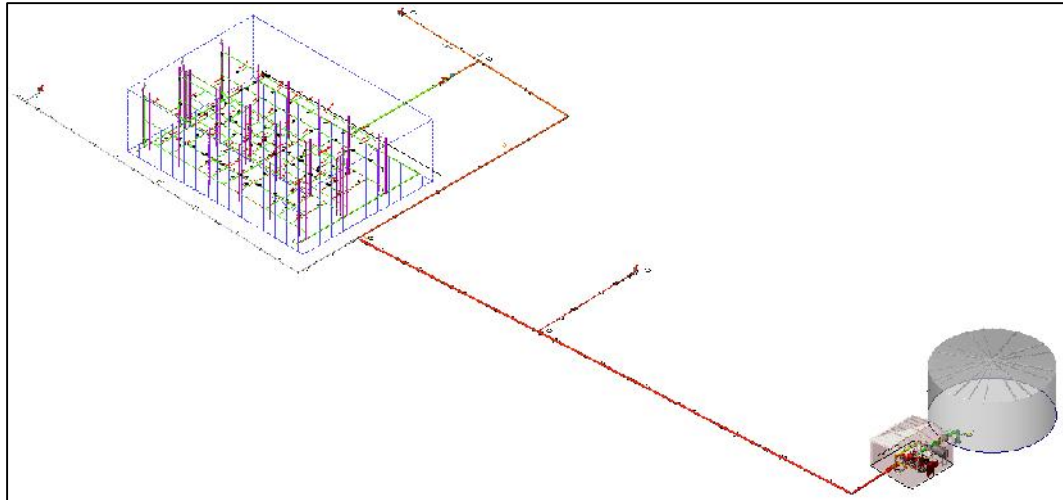
(Autor: Stalin Molina)

Figura 31. Vista Flujo En Líneas del SCI



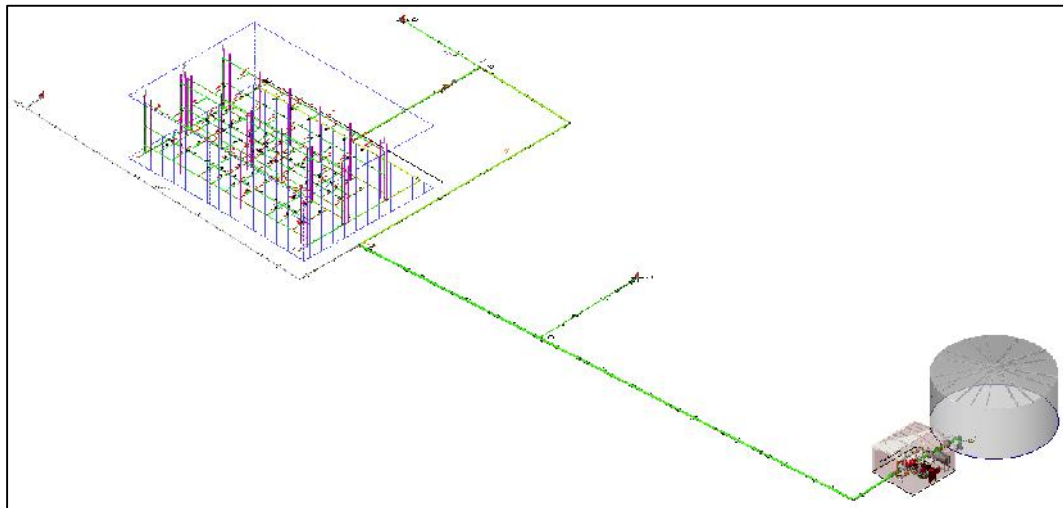
(Autor: Stalin Molina)

Figura 32. Vista Presión En Líneas del SCI.



(Autor: Stalin Molina)

Figura 33. Vista de Pérdidas de Presión del SCI



(Autor: Stalin Molina)

Tabla 18. Resumen Hidráulico Riser Principal

Riser Tag	
Design Basis	
Occupancy:	FM Storage
Total Sprinklers:	118
Number Of Sprinklers Calculated:	0
K Factor	
Orifice Size	
Design Density:	0.250gpm/ft ²
Average Density:	0.030gpm/ft ²
Area of Application:	1950.00ft ² (Actual 1905.58ft ²)
Demand at Base Of Riser or Point Of Connection	
Total Demand Flow(gpm):	0.00
Pressure(ksi):	0.000
Water Supply Information At Time Of Design	
Static Pressure(ksi):	16.000
Residual Pressure(ksi):	10.000
Supply Flow(gpm):	3000.00
Total Demand Flow(gpm):	350.00
Total Demand Pressure(ksi):	0.000 (73.446)

(Autor: Stalin Molina)

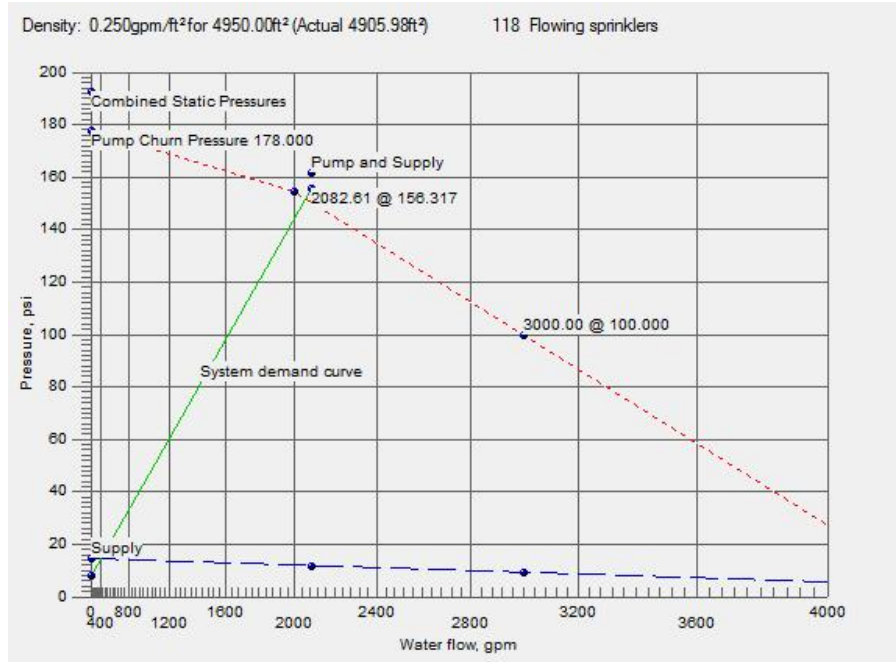
Figura 34. Sistema de Rociadores



(Autor: Stalin Molina)

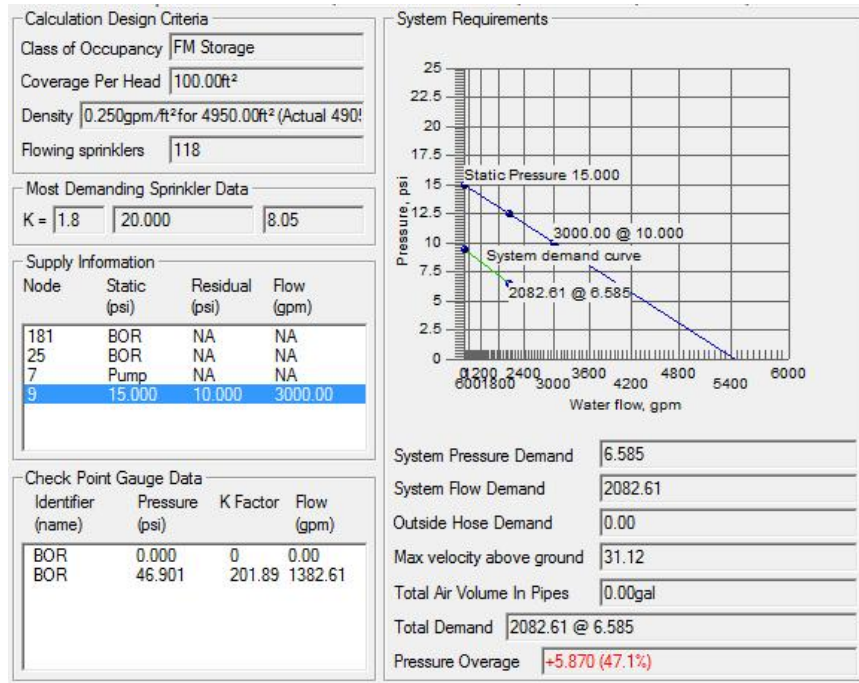
Anexo documentos detallados de los resultados y análisis realizados en software AUTOSPRINKLER.

Figura 35. Grafica del SCI para Protección de Tanques de GLP



(Cad)

Figura 36. Grafica Resumen del SCI para Protección de Tanques de GLP



(Cad)

Ajustando los caudales en cada rociador con las presiones determinadas en el cálculo hidráulico se concluye lo siguiente:

TOTAL MÍNIMO DE AGUA PARA SPRAYS: 1745.92 GPM

Como se indicó anteriormente, de acuerdo a lo indicado por API 2510 se debería adicionar mínimo 3 descargas de Hidrantes/Monitores, es decir al menos un caudal 750 GPM.

Es decir de acuerdo a esta información se requiere mínimo 2495.92 GPM para proteger los tanques de GLP

TOTAL MÍNIMO DE AGUA PARA SCI RIESGO MAYOR: 2495 GPM

Considerando este requerimiento de agua y aplicando la recomendación de NFPA y API el tiempo de aplicación debe ser de 4 horas , con lo cual la capacidad de la reserva de agua contra incendios debería ser de al menos 2100 m³.

RESERVA DE AGUA SCI: 2495 m³

El tiempo de llenado de la reserva de agua debe realizarse dentro de

RESERVA DE AGUA SCI: 2495 m³

3.3.5.1 EVALUACIÓN DE RIESGO RESIDUAL

El nivel de probabilidad estadística de ocurrencia de un accidente que involucre incendio y/o explosión fue determinado en la sección 3.1.3.1:

Nivel de Probabilidad: 2

El nivel de consecuencia luego de haber instalado un sistema de detección y control de incendios en la planta se simplificaría a tener un incidente aislado que puede ser controlado de manera inmediata, por lo que el Nivel de Consecuencia bajaría a 3 según lo que se estipula en la Tabla 19.

Nivel de Consecuencia: 3

Tabla 19. Niveles de Consecuencia para Riesgo Residual.

CONSECUENCIA	NIVEL	Salud y Seguridad	Medio Ambiente	Financiero
	1	Primeros Auxilios	Afectación área interna a la instalación o área no sensible interna con recuperación inmediata (menor a 7 días).	<10K
	2	Días Perdidos >1 y < 100	Recuperación inmediata de áreas afectadas externas a la instalación (mayor a 1 semana y menor a 2 semanas)	10K - 100K
	3	Días Perdidos >100 o lesión incapacitante permanente	Afectación de un área sensible con recuperación inmediata menor a 2 semanas o de un área no sensible con recuperación inmediata (mayor a 2	100 K – 1 MM
	4	1 o 2 Fatalidades 10 o mas lesionados que requieran tratamiento u Hospitalización	Afectación de un área sensible con recuperación inmediata (mayor a 2 semanas y menor a 12 semanas) o de un área no sensible	1 MM - 5 MM
	5	Potencial de 3 – 10 Fatalidades dentro o fuera de la instalación - 30 o más lesionados que requieran tratamiento	Afectación de un área sensible con recuperación mayor a 3 meses y menor a un año o afectación de un área no sensible con recuperación mayor	5 MM - 10 MM
	6	Potencial de 10 – 50 fatalidades dentro o fuera de la instalación	Daño extensivo con afectación de un área sensible con recuperación mayor a 1 año y menor a 2 años o a un área no sensible con	10 MM – 20 MM
	7	Potencial de 50-100 fatalidades dentro o fuera de la instalación	Daño extensivo a un área sensible con una recuperación de 2 a 5 años.	20 MM - 50 MM
	8	Potencial de 100 o más fatalidades dentro o fuera de la instalación.	Daño extensivo a un área ambientalmente sensible con una recuperación mayor a 5 años	>50 MM

(EPA, 2009)

Estos valores serán utilizados para poder visualizar el nivel de riesgo que han sido clasificados según la Tabla 20

Tabla 20. Niveles de Riesgo para Riesgo Residual

	RIESGO CRITICO
	RIESGO POTENCIALMENTE CRITICO
	RIESGO MODERADO
	RIESGO ACEPTABLE

(EPA, 2009)

La matriz que se utiliza para la evaluación del riesgo es la que se muestra en la Tabla 21

Tabla 21. Matriz de Evaluación de Riesgo Residual

		PROBABILIDAD								CONSECUENCIA
8										
7										
6										
5										
4										
3										
2										
1										
		1	2	3	4	5	6	7	8	

(EPA, 2009)

Por lo tanto se puede verificar que después de realizar la instalación del Sistema de Detección y Extinción de Incendios el Nivel de Riesgo de Incendio y/o Explosión de los tanques de almacenamiento de GLP se lo considera como RIESGO MODERADO.

3.3.6 PROPUESTA ECONÓMICA

A continuación se presenta un resumen de los costos aproximados que existirían para la implementación del Sistema Contra Incendios, estos precios se

los ha obtenido solicitando cotizaciones a empresas locales para todos los equipos e insumos que se utilizarían, en el ANEXO E. PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES se puede apreciar el detalle que respalda el resumen de precios y costos que se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Resumen de Costos de Implementación del SCI

<u>COSTO</u>	<u>VALOR</u>
MATERIALES	\$646,847.75
MANO DE OBRA	\$75,795.32
EQUIPO Y HERRAMIENTA	\$37,940.00
GASTOS LOGISTICA	\$29,860.00
SUBTOTAL	\$790,443.06
SEGUROS (%10 DEL SUBTOTAL)	\$79,044.31
IMPREVISTOS (%3 DEL SUBTOTAL)	\$23,713.29
UTILIDAD (15%)	\$118,566.46
TOTAL SIN IVA	\$1,011,767.12
IVA (%12)	\$121,412.05
TOTAL CON IVA	\$1,133,179.17

(Autor: Stalin Molina)

CAPITULO IV. DISCUSIÓN.

4.1 Conclusiones.

- El nivel de riesgo inicial de los tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo es RIESGO POTENCIALMENTE CRÍTICO debido a las condiciones actuales del Sistema Contra Incendios que protege los tanques que almacenan GLP, por lo cual es necesario la implementación de un Sistema Contra Incendios que cumpla con la normativa internacional aplicable, así como la implementación de otros controles operacionales con respecto al mantenimiento preventivo y predictivo de los tanques, luego de lo cual se utilizó nuevamente la metodología descrita en este proyecto encontrando que el nivel de riesgo bajo a RIESGO MODERADO.

Con lo cual podemos concluir que la hipótesis está totalmente sustentada, ya que mediante la implementación de un sistema de protección contra incendios, el cual ha sido diseñado de acuerdo a las recomendaciones de la normativa internacional aplicable y vigente, si se logra cumplir los estándares internacionales para el almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.

- Luego de investigar las normativas y exigencias para este tipo de facilidades, se han establecido claramente los parámetros de diseño del Sistema Contra Incendios que se deben implementar para cumplir con las normativas internacionales aplicables y al cumplir estos estaría sobrepasando el cumplimiento de la normativa legal.
- El principal control operativo para minimizar el Riesgo de Incendio y Explosión de los tanques de almacenamiento de GLP es la implementación de un Sistema Contra Incendios de Detección y Extinción que cumpla los estándares internacionales.

- La implementación del sistema contra incendios para la estación está sustentada mediante una propuesta económica real y la cual podrá realizarse debido a que los valores por concepto de primas de seguro se reducirían considerablemente.

4.2 Recomendaciones.

- Realizar la implementación del Sistema Contra Incendios en el corto y mediano plazo.
- Asegurar el cumplimiento de la normativa internacional para la implementación del Sistema Contra Incendios en todas sus fases, como son el diseño, adquisición de equipos, instalación, comisionamiento, mantenimiento y capacitación en cuanto a la operación del personal, para asegurar su desempeño ante una emergencia.
- Velar por el cumplimiento de los parámetros de diseño establecidos para el cumplimiento de la normativa internacional.
- Continuar con los controles operativos inherentes a los tanques de almacenamiento de GLP, así como también establecer protocolos de operación y mantenimiento del Sistema Contra Incendio.
- Capacitar al personal para asegurar la operación y mantenimiento del Sistema Contra Incendios ante una emergencia.
- Se recomienda establecer un programa de mantenimiento de los sistemas diseñados basados en NFPA25, el cual asegura disponer un sistema confiable para operar ante cualquier eventualidad.

BIBLIOGRAFÍA

- (NFPA 15), N. F. (2012). *NFPA 15: Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.*
- (NFPA 20), N. F. (2013). *NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.*
- (NFPA 24), N. F. (2013). *NFPA 24: Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances.*
- (NFPA 59), N. F. (2015). *NFPA 59: Utility LP-Gas Plant Code.*
- (NFPA 70), N. F. (2014). *NFPA 70: National Electrical Code®.*
- (NFPA 72), N. F. (2013). *NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code.*
- API 2001, A. P. (2011). *Fire Protection in Refineries.*
- API 2030, A. P. (2014). *Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries.*
- Cad, M. (s.f.). AUTOSPRNK.
- CCPS/AIChE. (1994). *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs.*
- CFR, F. S. (s.f.). *49 CFR Part 193 - LIQUEFIED NATURAL GAS FACILITIES.*
- COMPANY, D. C. (s.f.). *INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSION, GUIA PARA LA CLASIFICACION DE RIESGOS.*
- Consultants, T. (2014). *BREEZE Incident Analyst.*
- Consultants, T. (2014). *Hazardous Release Modeling.*
- EPA. (2009). *General Risk Management Program Guidance.*
- FEMA. (s.f.).
- FP, L. (1986). *Loss Prevention in the process industries, vol. 1-2, ISBN, 0-40810604-2.*
- INEN, N. T. (s.f.). *536:98 (Segunda Revisión) – Prevención De Incendios. Requisitos de Seguridad en Plantas de Almacenamiento y Envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP).*
- INSHT. (1980). *NTP 293: Explosiones BLEVE (I): evaluación de la radiación.*
- INSHT. (1992). *NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas:.*

INSHT. (s.f.). *NTP 369: Atmósferas potencialmente explosivas: instalaciones eléctricas.*

J. Casal, E. M. (1999). *Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales.*

NFPA Handbook, N. F. (2008). *Fire Protection Handbook, 20th Edition.*

TNO. (2005). *Methods for the calculation of physical effects, Yellow Book.*

TSSA. (2009). *Guidelines for the Implementation of the Risk and Safety Management.*

ANEXOS

ANEXO A. CURVAS DE RADIACIÓN Y SOBREPRESIÓN

ANEXO B. CALCULOS HIDRAULICOS AUTOSPRINK

ANEXO C. HOJAS TECNICAS DE EQUIPOS Y MATERIALES

ANEXO D. LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES

ANEXO E. PRECIOS UNITARIOS REFERENCIALES