



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN
CASO DE UNA EXPLOSIÓN DE GASOLINA SÚPER EN
UNA GASOLINERA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**
TESIS DE GRADO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
ALVARADO FLORES MILKA ANAHI

TUTOR
OCE. LEILA ZAMBRANO ZAVALA M.SC.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ZAMBRANO ZAVALA LEILA, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CASO DE UNA EXPLOSIÓN DE GASOLINA SÚPER EN UNA GASOLINERA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, realizado por la estudiante ALVARADO FLORES MILKA ANAHI; con cédula de identidad N°0955850524 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Oce. Leila Zambrano Zavala M.Sc.

Guayaquil, 13 de mayo del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CASO DE UNA EXPLOSIÓN DE GASOLINA SÚPER EN UNA GASOLINERA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”, realizado por la estudiante ALVARADO FLORES MILKA ANAHI, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Jorge Coronel Quevedo
PRESIDENTE

Ing. Luis Morocho Rosero
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Yoansy García Ortega
EXAMINADOR PRINCIPAL

Oce. Leila Zambrano Zavala
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 16 de junio del 2021

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón este trabajo de titulación a Dios por ser el centro de mi vida, a mis padres y hermana por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y sobre todo por brindarme su ayuda incondicionalmente en cada una de mis metas; a mi enamorado por ayudarme en todo momento hasta donde sus alcances lo permitieron, a los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador por sus consejos que me ayudaron como guía para la culminación de mi trabajo y a mis verdaderos amigos que estuvieron hasta el final apoyándome.

Agradecimiento

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a todos quienes me han ayudado hacer posible este sueño de graduarme como Ingeniera Ambiental, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para Dios, a mi padre Xavier Alvarado por su apoyo incondicional hasta el último momento de su vida y quien ahora es mi ángel que me cuida y me guarda siempre, mi madre Lucia Flores por ser mi fortaleza en los momento más duro de mi vida y alentarme a seguir a culminar mis metas, a mi hermana Allisson Alvarado por hacerme compañía en mis noches de desvelo, a mi enamorado Luis Coello por motivarme siempre y seguir de la mano conmigo hasta el final, a mis amigos que me hicieron compañía durante estos cinco años de carrera y que estuvieron en mis alegrías, tristezas, enojos pero que a pesar de eso han dejado una marca en mi corazón de lo que es la verdadera amistad.

Mi gratitud sincera a mi tutor de tesis Océ. Leila Zambrano, y a todos los docentes que contribuyeron con sus enseñanzas la base de mi vida profesional.

Gracias infinitas a todos.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo MILKA ANAHI ALVARADO FLORES, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CASO DE UNA EXPLOSIÓN DE GASOLINA SÚPER EN UNA GASOLINERA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, Junio 29 del 2021

ALVARADO FLORES MILKA ANAHI
C.I. 0955850524

Índice general

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	13
Resumen	15
Abstract	16
1. Introducción.....	17
1.1 Antecedentes del problema	17
1.2 Planteamiento y formulación del problema	18
1.2.1 Planteamiento del problema	18
1.2.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Justificación de la investigación	20
1.4 Delimitación de la investigación	21
1.5 Objetivo general	21
1.6 Objetivos específicos.....	21
2. Marco teórico.....	23
2.1 Estado del arte	23
2.2 Bases teóricas	25
2.2.1. Gasolina	25
2.2.2. Características de la Gasolina	25

2.2.3. Tipos de Gasolina.....	26
2.2.4. Tanque de almacenamiento	27
2.2.5. Tipos de tanques de almacenamiento	27
2.2.6. Material Peligroso	27
2.2.7. Ignición	28
2.2.8. Fuentes de ignición	28
2.2.9. Combustión	28
2.2.10. Detonación	28
2.2.11. Blevé	28
2.2.12. Explosión	29
<i>2.2.12.1. Causas de explosión de un tanque</i>	29
<i>2.2.12.2. Efectos de las explosiones</i>	29
2.2.13. Riesgos de incendio	30
2.2.14. Tetraedro de fuego	30
<i>2.2.14.1. Combustible</i>	30
<i>2.2.14.2. Calor</i>	30
<i>2.2.14.3. Oxígeno</i>	31
<i>2.2.14.4. Reacción</i>	31
2.2.15. Accidentes mayores	31
<i>2.2.15.1. Consecuencias de los accidentes</i>	31
2.2.16. Contaminación atmosférica.....	32
2.2.17. Contaminación del aire	33
2.2.18. Tipos de contaminantes atmosféricos	33
2.2.19. Contaminantes gaseoso	34
<i>2.2.19.1. Monóxido de Carbono (CO)</i>	34

2.2.19.2. <i>Dióxido de azufre (SO₂)</i>	35
2.2.19.3. <i>Óxidos de nitrógeno (NO_x)</i>	35
2.2.20. Simulación de contaminantes atmosféricos.....	36
2.2.21. Software ALOHA	37
2.2.21.1. Zona de amenazas	38
2.2.22. Los ERPG	38
2.2.23. Software MARPLOT	39
2.3 Marco legal.....	39
3. Materiales y métodos	44
3.1 Enfoque de la investigación	44
3.1.1 Tipo de investigación	44
3.1.2 Diseño de investigación	44
3.1.2.1. <i>Investigación no experimental</i>	44
3.2.1 Variables	45
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i>	45
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i>	45
3.2.2 Recolección de datos	45
3.2.2.1. <i>Recursos</i>	45
3.2.2.2. <i>Métodos y técnicas</i>	47
3.2.3 Análisis estadístico	52
4. Resultados	55
4.1 Obtención de las variables a utilizar en la simulación por medio de los datos proporcionado por la Gasolinera P&S y el INAMHI	55

4.2 Cálculo del radio y zonas de afectación por la simulación de contaminación del aire en caso de una explosión de gasolina súper mediante el software ALOHA y MARPLOT	56
4.3 Evaluación en nivel de riesgo de accidente mayor de la gasolinera mediante la aplicación del método de índice de incendio/explosión y propuesta de un plan de contingencia	69
5. Discusión	81
6. Conclusión	83
7. Recomendaciones.....	85
8. Bibliografía	86
9. Anexos	92

Índice de tablas

Tabla 1. Consecuencias de los accidentes	31
Tabla 2. Características Química del Monóxido de Carbono	34
Tabla 3. Características químicas del dióxido de azufre	35
Tabla 4. Características del software ALOHA	37
Tabla 5. Diferencias entre los Software ALOHA Y MARPLOT	46
Tabla 6. Características de los tanques de almacenamiento de la Gasolina súper en general	50
Tabla 7. Datos meteorológicos de la estación camaronera - songa del día 08 de Abril del 2021	50
Tabla 8. Rangos de valoración de índice de incendio y explosión	52
Tabla 9. Datos de los tanques de almacenamiento de la gasolina	55
Tabla 10. Datos de la estación meteorológica Camaronera - Songa.....	55
Tabla 11. Datos de las condiciones meteorológicas a utilizar	55
Tabla 12. Emisiones de CO ₂ por galones de gasolina.....	57
Tabla 13. Resultados de las concentraciones de CO ₂ simulado	57
Tabla 14. Resultados de las concentraciones de SO ₂ simulado	58
Tabla 15. Resultados de las concentraciones de SO ₂ simulado	59
Tabla 16. Resultados de la concentración de los gases contaminantes simulados	60
Tabla 17. Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1	60
Tabla 18. Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2	63

Tabla 19. Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3	65
Tabla 20. Radio de afectación en metros de las simulaciones realizadas	68
Tabla 21. Resultados estadísticos de la media, mediana, moda, varianza	69
Tabla 22. Índice de incendio/exposición realizado a la Gasolinera P&S.....	73
Tabla 23. Clasificación de los niveles de alerta	75
Tabla 24. Plan de contingencia contra incendio	79
Tabla 25. Plan de contingencia contra explosión	80

Índice de figuras

Figura 1. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1 en el Software ALOHA	61
Figura 2. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1 en el Software MARPLOT	62
Figura 3. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth .	62
Figura 4. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2 en el Software ALOHA	64
Figura 5. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2 en el Software MARPLOT	64
Figura 6. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth .	65
Figura 7. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3 en el Software ALOHA	66
Figura 8. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3 en el Software MARPLOT	67
Figura 9. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth .	67
Figura 10. Zona de los tanques de almacenamiento de la gasolina	69
Figura 11. Ajustes para líquidos o gases en procesos	71
Figura 12. Ajuste para líquidos o gases en almacenamiento	72
Figura 13. Estructura Organizacional para prevención y control de emergencias	76
Figura 14. Actividades antes, durante y después del jefe de emergencia	76
Figura 15. Actividades antes, durante y después del coordinador de control de incendio y explosión	77
Figura 16. Actividades antes, durante y después del coordinador de primeros auxilios	77

Figura 17. Actividades antes, durante y después del coordinador de brigada de evacuación	78
Figura 18. Ubicación de la Gasolinera P&S	92
Figura 19. Tetraedro del Fuego	92
Figura 20. Procedimiento de aplicación del software ALOHA	93
Figura 21. Esquema del procedimiento del cálculo del índice de Dow.....	93

Resumen

La presente tesis de grado, se encargó de realizar una simulación de contaminación del aire en caso de una explosión de gasolina súper en una gasolinera en la ciudad de Guayaquil, a través de la utilización de software de dispersión como ALOHA y MARPLOT, se logró esto realizando en primer lugar la caracterización del área de estudio mediante la obtención de datos que nos proporcionó la gasolinera (longitud y diámetro de los tanques de almacenamiento de gasolina súper) y el INAMHI (temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y nubosidad) donde se conoció el radio en metros y las zonas de afectación, posteriormente se procedió a realizar una evaluación de riesgo de accidente mayor a la gasolinera mediante la aplicación de incendio/explosión. El objetivo fue culminado gracias a los datos obtenidos y que ayudaron a la realización de la simulación de explosión, además el cálculo de la evaluación del índice de incendio/explosión permitió categorizar el grado de peligro en que se encuentra la gasolinera, y para la culminación de la tesis se propuso un plan de contingencia contra incendio y explosión. Finalmente, se concluye que mediante la simulación de explosión de gasolina súper los más afectados serían los habitantes que se encuentran en los alrededores de la gasolinera y el ambiente por la liberación de gases contaminantes al aire.

Palabras clave: explosión, gasolinera, simulación,
software

Abstract

The present thesis, was commissioned to carry out a simulation of air pollution in the event of an explosion of super gasoline at a gas station in the city of Guayaquil, through the use of scattering software such as ALOHA and MARPLOT, this was achieved by first characterizing the study area by obtaining data provided to us by the gas station (length and diameter of super gasoline storage tanks) and INAMHI (temperature, wind speed, relative humidity and cloudiness) where the radius in meters and the areas affected were known, a major accident risk assessment was then carried out at the gas station by fire/explosion application. The objective was achieved thanks to the data obtained, which helped to carry out the explosion simulation in addition to the calculation of the fire/explosion index evaluation allowed us to categorize the degree of danger in which the gas station is located, and for the completion of the thesis, a fire and explosion contingency plan was proposed. Finally, it is concluded that through the simulation of super gasoline explosion the most affected would be the people living around the gas station and the environment by the release of polluting gases into the air.

Keywords: explosion, gas station, simulation, software

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

La polución del aire por detonación de cualquier hidrocarburo forma altas concentraciones de gases contaminantes, cerca del 23% de las emisiones de CO₂ provienen del sector transporte y el 30% originarios de la combustión de carburantes fósiles que perjudican la salud de las personas y el medio ambiente (Tipanluisa, 2017).

En los últimos años se ha incrementado el número de incidentes por combustible contribuyendo de gran manera a la contaminación del aire debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) con un 72,67%, como por ejemplo; se provocó un incendio en la Gasolinera Petrocondor Quito en el 2014, por una explosión debido a que los vapores del combustible tuvo acercamiento con la electricidad produciendo el incidente, llegando así los gases contaminantes a la atmósfera. La explosión provocó una onda expansiva dañando la estructura y afectando a las personas (Cuerpo de Bombero del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

Los gases de combustión por lo general son; dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), además de hidrocarburos no quemados (HC) y oxígeno (O₂), pero el gas más peligroso emanado a la atmósfera es el monóxido de carbono (CO), ya que se puede acumular en espacios cerrados y las personas que se encuentran expuestas pueden intoxicarse e incluso terminar con su vida (Bejarano & Prieto, 2014).

Las emisiones de dióxido de carbono según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) son de 1,9 toneladas métricas de CO₂ a nivel mundial, así mismo en el Ecuador durante el 2018 las emisiones de CO₂ se elevaron sumándose a los 184 países más contaminantes del mundo, es por ello

que el Ecuador estableció la normativa técnica INEN 2204 (Ministerio del Ambiente y Agua, 2019).

Por otra parte, una gasolinera en Machala se produjo una explosión debido a que el conductor del vehículo ingresó a la gasolinera a proveerse de combustible usando su dispositivo móvil lo que provocó el incidente, emitiendo gases contaminantes al aire (acetileno, amoniaco, etileno, propano, metano e hidrógeno) (El Universo, 2020).

Cabe destacar, que el monóxido de carbono (CO) resulta de una combustión incompleta transformándose en un gas combustible en altas concentraciones (sobre 120 000 ppm), lo que provocaría una explosión o un incendio (Téllez, 2006).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El factor de riesgos de incendio y explosión por combustible ha aumentado en los últimos años por el expendio de gasolina y diésel, lo que ha generado consecuencias negativas como la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, como por ejemplo el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂) (Molina y Astudillo, 2016).

En Ecuador las gasolineras no cumplen con las normas de seguridad al momento de suministrar la gasolina provocando la liberación de gases contaminantes, siendo el monóxido de carbono el más peligrosos en una explosión o incendio debido a su alta toxicidad, además al combinarse con otros contaminantes atmosféricos forma ozono troposférico que provoca quemaduras en el ser humano (Carnicer, 2008).

En el país el abastecer de combustible a distintos transportes envuelve muchos riesgos para quienes laboran en ella, para quienes habitan alrededor e incluso para

quienes transitan, es por ello que las medidas de seguridad deben ser conformes al peligro que representa un centro de expendio de combustible, implementando procedimientos que ayuden a disminuir los riesgos existentes en gasolineras para evitar que se desligue accidentes mayores (Lagla, 2015).

Un incendio o explosión por combustible en una gasolinera se genera de manera violenta y rápida, ya sea por superficies calientes, chispas de combustión, materiales recalentados, roces y fricciones o escape de combustible, generando una onda expansiva que destruye todo lo que se encuentre a su paso, emitiendo gases tóxicos a la atmosfera como el monóxido de carbono y el dióxido de carbono que perjudica al ambiente, seres humanos y animales, debido a su alta toxicidad (Matute y Ramos, 2015).

Es por ello que el objetivo principal del presente trabajo fue realizar una simulación de contaminación del aire en caso de una explosión de gasolina súper en una gasolinera en la ciudad de Guayaquil, que mediante el uso del software ALOHA ayudó a identificar los factores que contribuyen a producir incendios y explosiones en las gasolineras y determinar las zonas de afectación por explosión de combustible en la gasolinera P&S, realizando una evaluación mediante la aplicación del método de índice de incendio/explosión y proponiendo un plan de contingencia contra incendio y explosión.

1.2.2 Formulación del problema

El desconocimiento de los riesgos que posee una gasolinera, puede provocar daños y pérdidas debido a las malas acciones y condiciones existentes en centros de expendio de combustible. Por tanto, en la presente investigación, se plantea el siguiente problema:

¿Cuál es el radio de afectación por contaminación del aire producto de una explosión de gasolina súper en la Gasolinera P&S de la ciudad de Guayaquil?

1.3 Justificación de la investigación

Se plantea esta investigación a manera de prevención de riesgos e impactos ambientales, que puede provocar una onda expansiva de una explosión por gasolina súper en los tanques de almacenamiento de una gasolinera en la ciudad de Guayaquil, por lo que los efectos en caso de que se origine una emergencia podría llegar a considerarse muy grave, afligiendo no solo a la salud humana, además de flora y fauna que se encuentre cerca, sino que también a la atmósfera por los gases tóxicos que se emiten y que contribuyen con la contaminación del aire.

El radio de la onda expansiva producto de una explosión se presenta como un potencial intrínseco de pérdidas de vidas humanas, ambientales, y a su vez económicas; ya que producto de una detonación de tal magnitud podría afectar estructuralmente a los edificios, casas, negocios, que se encuentran en los alrededores del lugar del incidente, originando una zona de afectación grave.

Esta investigación calculará el radio en metros de la contaminación del aire y las zonas afectadas mediante la aplicación de modelos de dispersión tales como los software ALOHA y MARPLOT, que podría ayudar a conocer el fenómeno para posteriormente evaluarlo sin correr ningún riesgo real, teniendo como propósito la obtención de información para establecer medidas preventivas de riesgos laborales y ambientales; determinando así zonas seguras de evacuación, que probablemente beneficiaría tanto a la gasolinera, los dueños de negocios y los moradores que se encuentran en los alrededores.

Así mismo, se elaborará una evaluación en nivel de riesgo de accidente mayor de la gasolinera mediante la aplicación del método de índice de incendio/explosión, que permitirá conocer los factores de riesgos a los que están expuestos los trabajadores y en qué nivel de riesgo general se encuentra la gasolinera, para poder gestionar de manera preventiva las medidas de detección y control del factor de riesgo. Es por ello que esta investigación ayudó a representar de manera clara el impacto que ocasionaría.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Ciudad Guayaquil, Provincia del Guayas, Gasolinera P&S - Av. Perimetral (Ver en anexos, Figura 19).
- **Coordenadas:** 2°14'15"S 79°55'45"W
- **Tiempo:** El tiempo en el que se desarrollará el proyecto será de 3 meses.
- **Población:** La población a beneficiarse serán los trabajadores, clientes, y moradores de la Isla Trinitaria con 75605 habitantes según el Centro de Estudio e Investigaciones Estadísticas ICM – ESPOL.

1.5 Objetivo general

Determinar el radio de contaminación del aire generado por una explosión simulada de gasolina súper para la prevención de riesgos e impactos ambientales

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar el área de estudio mediante la obtención y procesamiento de los datos proporcionados por la Gasolinera P&S y el INAMHI que serán utilizados en la simulación
- Calcular el radio de afectación de la contaminación del aire mediante la aplicación de modelos de dispersión como ALOHA y MARPLOT.

- Evaluar el nivel de riesgo de accidente de la gasolinera aplicando el método de índice de incendio y/o explosión y propuesta de un plan de contingencia.

1.7 Hipótesis

El radio de afectación por contaminación del aire producto de una explosión por gasolina súper en la Gasolinera P&S de la ciudad de Guayaquil, será de 200 m.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Aguirre (2014), determinó que la Estación de Servicio VISTA HERMOSA, llevó a cabo el plan prevención y protección contra incendio, tomando en cuenta el tiempo en el que el fuego estuvo ardiendo, si posee o no ventilación, entre otras; por lo que para la propagación de un incendio se debe realizar lo siguiente: retirar el material combustible, colocar sistema de detección y alarma, utilizar equipos y medios de extinción y realizar la planificación de sistema de evacuación (Anguieta, 2010).

Otro estudio realizado por Moyano (2019), en la Estación de Servicio ESPOCH GASOLINERA POLITÉCNICA en la ciudad de Riobamba, determinó una explosión en los tanques de combustibles de sus instalaciones, tomando en consideración el lugar de análisis, el tipo de combustible, y la afectación; generando como resultados mediante el uso del software ALOHA tres radios de afectación: Rojo (potencialmente letal); naranja (presentan quemaduras de segundo grado); y amarillo (con presencia de dolor por efectos de la onda) (Moon, 2013).

Así mismo, el trabajo realizado por Lagla (2015) denominado “análisis de riesgo de incendio y accidentes mayores en gasolineras y estaciones de servicio” indica un estudio de cuatro gasolineras ubicadas en los sectores Norte, Centro, Sur, y Valles del Distrito Metropolitano de Quito, determinó el riesgo de incendio y explosión en las áreas de almacenamiento de tanques de combustible; brindando como resultado que cerca del 34% de los empleados desconocen cómo usar el sistema de supresión de incendios a base de espuma (Lagla, 2015).

Por otro lado, tenemos un estudio realizado por Leal (2015) en España en la CENTRAL TÉRMICA DE ABOÑO, donde mediante una simulación usando el

software ALOHA se determinó las emisiones de sustancias químicas derivados de procesos industriales, los diferentes tipos de peligros y modeló diversos escenarios que presentaron como consecuencias la liberación de sustancias químicas, la cual afectó gravemente al ser humano más y al ambiente con emisiones de CO₂ y CO más alto que la normativa ambiental (Leal, 2015).

Así mismo, un estudio realizado por Avilés (2018) de la Universidad de Cuenca en Ecuador ejecutó un análisis de impacto de fuentes fijas en la ciudad de Pinar del Río, utilizando una simulación de dispersión llamado gaussiano, donde simuló una contaminación atmosférica por contaminantes como: dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO_x), material particulado respirable en la atmósfera (PM_{2.5}), PM₁₀ y monóxido de carbono (CO), durante 15 días en época lluviosa (Avilés, 2018).

Donde, se determinó máximas concentraciones producto de las emisiones, generando como resultado la afectación de las zonas cercanas a la ciudad y al ambiente; también sobrepasaban los límites permisibles según la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el dióxido de azufre (SO₂) (Avilés, 2018).

Además un estudio realizado por Matheu (2014) de la Universidad Técnica de Ambato, menciona que en toda manufactura que use combustibles de petróleo en grandes cantidades es importante que definía las zonas de afectación mediante el desarrollo de un estudio de los niveles de riesgo por explosión. Por lo que, realizó una evaluación de riesgo de accidente mayor en la empresa AGROCUEROS S.A; los cuales dieron como resultado que los trabajadores no contaban con adiestramiento en el manejo de volúmenes de GLP en las zonas de descarga, almacenamiento y circuito de abastecimiento, también manipulaban de manera incorrecta los elementos en el proceso de abastecimiento desde el autocisterna al

no aplicar todas las medidas de seguridad establecida, y la ubicación de los depósitos de GLP eran inapropiadas ya que se encontraban cerca de viviendas (Matheu, 2014).

Así mismo, otro accidente por explosión ocurrido en Santo Domingo – República dominicana en el que estalló un tanque de almacenamiento de GLP producto de un escape de gas, provocó grandes daños materiales, humanos y ambientales, todo esto debido al mala práctica de las medidas de seguridad que se establecían en la empresa (García, 2008).

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Gasolina

La gasolina es una combinación de hidrocarburos derivados del petróleo que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido a chispa. Se obtiene de la refinación del petróleo crudo, compuesto por hidrocarburos y por pequeñas cantidades de productos de sustitución (compuestos oxigenados y aditivos) (Encalada y Ñauta, 2010).

2.2.2. Características de la Gasolina

Según Encalada y Ñauta (2010), se clasifica en dos grupos: características físicas y químicas

- **Características Físicas**

Volatilidad: es el volumen de un carburante de pasar de líquido a vapor, esta perturba a la economía del combustible, la manejabilidad del vehículo y la seguridad del producto durante su transporte y almacenamiento.

Peso específico: es muy substancial para el funcionamiento del automotor ya que las bombas de inyección y carburadores determinan el volumen de la gasolina. Las gasolinas comerciales poseen un peso específico de entre 0,730 – 0,760.

Densidad: Tiene una densidad de 720 g/L, esta característica nos indica su cantidad en masa por unidad de volumen

Contenido de azufre: está altamente relacionada con la cantidad de azufre presente en el producto, ya que la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y tubos de escape.

- **Características Químicas**

Las características químicas que presenta la gasolina es el contenido de benceno, aromáticos, olefinas entre otros, según el medio de sus elementos y aditivos incorporados este combustible presenta una aptitud para obviar el ruido, para enunciar esta propiedad se utiliza la determinación conocida como octanaje (Encalada y Ñauta, 2010).

2.2.3. Tipos de Gasolina

En Ecuador actualmente se comercializan diferentes tipos de gasolina, la Súper 92, la ECO 85, y la Extra con 80, números que significa el mínimo octanaje que deben tener, pero las principales que se distribuyen en la Gasolinera P&S son:

- **Gasolina Extra (80 octanos)**

Es una mezcla de 200 a 300 hidrocarburos diferentes, formada por combustible derivados de distintos procesos de refinación del petróleo como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización. Es manipulada en vehículos con motores que tienen una relación de compresión moderada (Arévalo, 2010).

- **Gasolina Súper (92 octanos)**

Es utilizada en vehículos con motores que tienen una relación de compresión alta, los hidrocarburos, especialmente isoparafínicos y aromáticos presentes en la

gasolina resistente a altas presiones y temperaturas. Actualmente, el octanaje de la gasolina súper incrementó de 90 a 92 según EP Petroecuador (Arévalo, 2010).

2.2.4. Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica que se usan para almacenar líquidos o gases a una presión determinada (Gavilanes, 2015).

2.2.5. Tipos de tanques de almacenamiento

Según Gavilanes (2015), son diseñados bajo la norma internacional API 650, existen cuatro tipos de construcción de tanques de almacenamiento de hidrocarburo:

- **Tanque de techo cónico:** son utilizados para el almacenamiento de crudo, petróleo
- **Tanques horizontales:** son utilizados para almacenar GLP, agua contra incendio y para hidrocarburos
- **Domo geodésico:** es una estructura esférica con ventajas técnicas de evaporación y presiones
- **Tanque de techo flotante:** reduce la cámara de aire o espacio libre entre el líquido y el techo, además reduce el riesgo de almacenar productos inflamables

2.2.6. Material Peligroso

Es una sustancia que es nociva al ser liberada y posee potencial de causar daños a las personas, a la propiedad o al ambiente (Jian, 2018).

2.2.7. Ignición

Es el estado de calor o temperatura que demanda un líquido o un sólido, hasta que se desprenden vapores a una rapidez suficiente para, una vez iniciada la ignición de estos poder mantener la llama (Jian, 2018).

2.2.8. Fuentes de ignición

Una fuente es un elemento que desprende energía en forma de calor o radiación, el origen de la ignición no únicamente debe ser preparado para incrementar la temperatura de la superficie hasta el punto de ignición o por arriba del mismo, de igual forma debe conseguir que los vapores entren en combustión. Si los vapores formados están adecuadamente calientes pueden entrar en ignición de manera espontánea al mezclarse con el aire (Jian, 2018).

2.2.9. Combustión

La ignición es una reacción exotérmica que está asociado con la oxidación del combustible por oxígeno atmosférico, comprende un carburante sólidos, líquido o gaseoso (Rolf, 2017).

2.2.10. Detonación

Es un proceso físico – químico determinado por su velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura que adquiere una gran fuerza expansiva (Chura, 2011).

2.2.11. Blevé

Significa expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición es un tipo de explosión mecánica, en el cual produce una explosión de un tanque a presión, el cual la masa de líquido o gas licuado sobrecalentados sale a la atmósfera (Bestratén, 2019).

2.2.12. Explosión

Una atmósfera explosiva se produce cuando el gasóleo o de cualquier otra sustancia inflamable en forma de gas o vapor, se encuentra combinada con el oxígeno del aire a una fija concentración, siendo tan solo preciso un punto de ignición para iniciar la reacción. En pocas palabras podemos decir que es la liberación súbita y rápida de energía que produce presiones potencialmente dañinas (Guowei, 2019).

2.2.12.1. Causas de explosión de un tanque

Según Matheu (2014), un tanque que contenga un líquido o gas a presión continuamente esta en riesgo de una explosión, debido a diferentes causas como:

- Golpes externos
- Aumento de la presión debido al sobrellenado
- Aumento de la temperatura
- Debilidad estructural del tanque, ya sea por corrosión, erosión o defectos de soldadura
- Por combinaciones de las anteriores, como recalentamiento entre otros.

2.2.12.2. Efectos de las explosiones

Los efectos de una explosión están dadas por la sobrepresión, la propulsión, y los fragmentos que puedan dañar a los seres humanos y a las edificaciones que se encuentren cerca. Toda explosión se determina por la liberación de energía (Matute y Ramos, 2015).

Los efectos inmediatos que una onda de presión puede provocar sobre los seres humanos depende básicamente de la distancia en la que se encuentre, la sobrepresión, y si es que existe desprendimiento de fragmentos; los perjuicios más comunes son daños al tímpano, al pulmón hasta la muerte (Díaz, 2006).

Los efectos sobre las estructuras dependen de la sobrepresión del impulso y la formación de proyectiles, también de la orientación respecto a la dirección de avance de la onda, la geometría de la estructura, y los materiales de la construcción; los edificios son más sensibles a las explosiones (Díaz, 2006).

2.2.13. Riesgos de incendio

El incendio alcanza la noción de explosión, que contiene la magnitud no commensurable, exactamente de la contingencia de ocurrencia de un accidente (Flores, 2016).

2.2.14. Tetraedro de fuego

La reacción de combustión se puede caracterizar por cuatro componentes: el carburante, el agente oxidante, el calor y la reacción química en sucesión. Estos componentes se han representado clásicamente mediante una imagen geométrica de cuatro caras nombrada tetraedro. Un fuego se consigue evitar o suprimir eliminando una o más caras del tetraedro (Flores, 2016).

2.2.14.1. Combustible

Un combustible es cualquier sustancia que logra percibir combustión, la mayoría de los inflamables son orgánicos, es decir contienen carbono y una mezcla de hidrogeno, oxígeno y nitrógeno en diferentes proporciones (Rolf, 2017).

2.2.14.2. Calor

El calor representa la energía calorífica mínima necesaria para liberar vapores combustibles y causar ignición. El calor se define regularmente en términos de intensidad o velocidad de calentamiento o como energía calorífica total recibida durante un tiempo (kilojulios) (Saham, 2017).

2.2.14.3. Oxígeno

El comburente contiene un 21% de oxígeno, que suministra la energía mínima y que mezcla el combustible para que el fuego se provoque (Valdivieso, 2015).

2.2.14.4. Reacción

La ignición es un conjunto complicado de reacciones químicas que provocan la oxidación rápida de un combustible, dando lugar a calor, luz y a diferentes subproductos químicos. La ignición autosostenida se origina cuando parte del calor procedente de una reacción exotérmica es emitido otra vez hacia el combustible, produce vapores y causa la combustión (Guowei, 2019).

2.2.15. Accidentes mayores

Un accidente mayor es acontecimiento como la explosión o un incendio de gran dimensión dentro de un establecimiento expuesta a un riesgo, en el que puede estar mezclada sustancias químicas peligrosas exponiendo los trabajadores al peligro (Avilés, 2018).

2.2.15.1. Consecuencias de los accidentes

Las consecuencias de los accidentes que se dan en las gasolineras son las que se demuestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Consecuencias de los accidentes

Impactos en los seres humanos	Impactos en la naturaleza	Impacto Económico para la empresa
En la población: Efectos físicos y químicos	En el exterior de instalación: Contaminación del agua, suelo y aire	Daños en la instalación
En el personal de la instalación: Efectos físicos y químicos	En el interior de instalación: Contaminación del agua, suelo y aire	Daños en la propiedad Pérdida de producción Pérdida de mercado

Valdivieso, 2015

Las gasolineras están expuestas a una serie de accidentes específicos, con consecuencias medias a graves, podemos decir que los que laboran en estas instalaciones corren un riesgo alto de sufrir accidentes mayores, por lo que se menciona a continuación alguna de los efectos graves que se pueden suscitar (Moon, 2013):

- **Incendios:** como resultado el trabajador puede sufrir heridas de distinta consideración, así como inhalar gases tóxicos que se desprenden de la ignición de estos líquidos.
- **Explosión:** los efectos de este accidente, pueden provocar derrumbe de edificio, así mismo pueden originar incendios, fuga de combustibles, etc.
- **Contacto con el combustible:** el contacto de los combustibles con la piel puede producir graves lesiones como irritación, dermatitis, etc.
- **Ingestión accidental:** puede causar trastornos digestivos, además que se ve afectada por la inhalación de vapores tóxicos que se desprenden al ambiente.

2.2.16. Contaminación atmosférica

Es la presencia de sustancias en la atmósfera, ya sea de manera antrópica o natural que en elevadas concentraciones puede traer repercusiones en la salud humana y el medio ambiente. Actualmente, uno de los problemas que enfrenta el ser humano y el ambiente son los altos niveles de contaminación por gases atmosféricos entre los principales tenemos el CO, CO₂, SO₂, NOX entre otros (Jacobson, 2002).

Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación atmosférica es un problema ambiental por cuanto a la acción antrópica que afecta la salud de las personas, el incremento de los niveles de contaminación atmosférica genera un

efecto considerable sobre el aire, contribuyendo a la generación de gases de efecto invernadero (Avilés, 2018).

2.2.17. Contaminación del aire

La contaminación del aire constituye un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo (Organización Mundial de la Salud, 2014).

2.2.18. Tipos de contaminantes atmosféricos

Según Avilés (2018), existen tres grupos: contaminantes gaseosos, material particulado y olores

- Contaminantes gaseoso: Incluyen compuestos como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), compuestos de nitrógenos (NO, NO₂, NH₃), Dióxido y trióxido de azufre (S₂O, S₃O), compuestos orgánicos (HC), Compuestos volátiles (COVs), Compuestos halogénicos (HF, HCl)
- Material particulado: son partículas sólidas o líquidas que se exponen directo a la atmósfera como el hollín de diésel, polvo de agricultura o vías, partículas totales en suspensión PM₁₀, PM_{2.5}, partículas finas y ultrafinas
- Olores: son agentes químicos como los mercaptanos y sulfuro de hidrógeno

2.2.19. Contaminantes gaseoso

El incremento de contaminantes a nivel de la tropósfera, a nivel local como regional y los efectos negativos que están ocasionando a la población y el medio ambiente, han llevado a los gobiernos a tomar medidas que ayuden a regular algunas de estos contaminantes atmosféricos (Jacobson, 2002).

2.2.19.1. Monóxido de Carbono (CO)

El CO se forma por combustión incompleta de combustible que contiene carbono para luego oxidarse a CO₂, la mayor parte de las emisiones de CO proceden del sector transporte, aparatos domésticos, sector industrial como las industrias metalúrgica, de fabricación de papel, plantas productores de formaldehído entre otras; las particularidades química del monóxido de carbono se puede observar en la siguiente Tabla 2 (Hampson, 2000).

Tabla 2. Características Química del Monóxido de Carbono

Fórmula:	CO
Masa molar:	28.01 g/mol
Denominación IUPAC:	Carbon monoxide
Otros nombres:	Óxido de carbono (II), Anhídrido carbonoso, Gas carbonoso, oxometilideno

Hampson, 2000

El monóxido de carbono se encierra en emanaciones de combustión, además logra acumularse en áreas cerradas, por lo que las personas o animales que se encuentren consiguen correr riesgos como intoxicación, dolores de cabeza, mareos, náuseas, vómitos, hasta la muerte (Carnicer, 2008).

2.2.19.2. Dióxido de azufre (SO₂)

Es un precursor de la formación de aerosoles y tiene efectos negativos sobre el clima, cerca de 70 a 80 millones de toneladas por año se emiten a nivel mundial; es un gas incoloro con un olor característico, es una sustancia reductora que al contacto con aire y humedad se puede convertir en trióxido de azufre, su densidad es el doble que el aire y además es muy soluble en agua que al contacto con ella se puede formar ácido sulfúrico. Las características química del dióxido de azufre se puede observar en la siguiente Tabla 3 (Sánchez, Ruiz, y Pino, 2001).

Tabla 3. Características químicas del dióxido de azufre

Fórmula:	SO ₂
Masa molar:	64.066 g/mol
Denominación IUPAC	Sulfur dioxide
Densidad:	2.63 kg/m ³

Sánchez, Ruiz, y Pino, 2001

La ignición petrolífera, quema de carbón en centrales eléctricas y calefacciones son las primordiales fuentes de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera, este gas forma sulfatos que provoca graves efecto sobre la salud principalmente el sistema circulatorio, irritaciones oculares, alteraciones psíquicas hasta llegar a la muerte con un paro cardíaco, además afecta el medio ambiente con la formación de lluvias acidas destruyendo bosques, fauna y la acidificación de las aguas superficiales (Sánchez, Ruiz, y Pino, 2001).

2.2.19.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Es una composición de nitrógeno y oxígeno que es soltado al aire desde los automóviles, combustión de carbon, petróleo o gas natural; son usados en producción de químicos como ácidos nítricos, lacas, tinturas, combustible para cohetes y manufactura de explosivos. Entre los compuestos que conforman los

óxidos de nitrógeno se encuentra el óxido nítrico (NO), ácido nítrico (HNO₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el peroxi-acetil-nitrato (PAN) (Musso y Boemo, 2002).

Los NO_x son emitidos a la atmósfera hasta un 80%, que derivan de actividades antropogénicas como centrales de energía automoviles y natural como la quema de biomasa, afectando al medio ambiente con lluvias ácidas, formación de ozono y smog en el aire. Además, afecta a la salud de las personas irritando los ojos, nariz, garganta, pulmones, también provoca náuseas, cansancio; la exposición a bajos niveles pueden originar acumulación de líquidos en los pulmones, y a altos niveles produce quemaduras, espasmos, reducción de la oxigenación de los tejidos del cuerpo hasta la muerte (Musso y Boemo, 2002).

2.2.20. Simulación de contaminantes atmosféricos

Son herramientas de gran importancia para la interpolación, predicción, de las medidas de control propuestas, estos simulacros depende tanto de la zona de estudio y la fuente de emisiones, estos instrumentos son interdependientes por lo que requiere una buena gestión ambiental realizando un trabajo coordinado junto con el monitoreo, los modelos, y las emisiones del lugar donde se va a ejecutar el estudio, a partir de esta información obtenida se puede establecer los criterios de la calidad de aire (Avilés, 2018).

El principal objetivo de las simulaciones es poder conjeturar la distribución de los contaminantes hasta su evolución, efectuando una predicción de las zonas de riesgos y una evaluación de la calidad de aire de la zona de estudio. Debido al insistente trabajo de conocer las concentraciones de los contaminantes alejados del punto emisor se han desarrollado varios modelos de dispersión: modelo gaussianos, urbanos, regionales y globales (Leal, 2015).

2.2.21. Software ALOHA

Es un programa diseñado para respuestas ante emergencias computarizado de suite de software CAMEO, que utiliza una interfaz gráfica admitiendo la entrada de datos y la visualización de las consecuencias, también permite ingresar detalles de una liberación química, y generar evaluaciones de las zonas de amenazas para varios tipos de peligros. Las zonas de amenazas logran trazarse en mapas como ArcMap de Esri, Google Earth, y Google map (Comisión técnica de prevención y reparación de daños mediambientales, 2015).

Tabla 4. Características del software ALOHA

1. Datos del emplazamiento	- Elevación y coordenadas - Fecha y hora (determinar estabilidad, insolación y presión atmosférica) - Tipo de edificio (cálculo de la tasa de infiltración en el interior) Dispone de una base hasta 1000 compuestos químicos
2. Agentes causantes del daño	- Soluciones: amoníaco, ácido hidrocloreídrico, ácido hidrofúorídrico, ácido nítrico y óleum) - Las propiedades de las sustancias están asociadas a una biblioteca que posee - La simulación de gasolina o gasoil presenta dificultades
3. Condiciones atmosféricas	Se introduce el dato numérico o se selecciona un rango según sea el caso. ALOHA selecciona la clase de estabilidad apropiada según los parámetros meteorológicos introducidos
4. Hipótesis de accidentes	Es capaz de simular escenarios de hasta cuatro tipos de fuentes: directa, charco, tanque y tubería Los niveles de referencia de concentración a partir de los cuales ALOHA calcula zonas de riesgos según las sustancias a partir de su base de datos (índice de toxicidad AEGL, ERPG)
5. Concentraciones de referencia	-Calcula las zonas de riesgos en los que superan los niveles de referencia

6. Resultados

para toxicidad, inflamabilidad, radiación térmica o sobrepresión)

- También es posible calcular la concentración del compuesto en un punto (en el exterior y en el interior de un edificio)

- Muestra los parámetros de la fuga estimados, tales como tasa de emisión, la cantidad del compuesto liberada y la duración de la emisión

Comisión técnica de prevención y reparación de daños mediambientales, 2015

2.2.21.1. Zona de amenazas

Una zona de amenazas es el área dentro de la cual ALOHA pronostica que el nivel de peligro excederá su nivel de preocupación (LOC) en algún momento después de que inicie una liberación. ALOHA puede modelar múltiples peligros (toxicidad, inflamabilidad, radiación térmica o sobrepresión (Cordero, 2019).

Para cada escenario, puede especificar hasta tres LOC en ALOHA. Si se eligen tres LOC, ALOHA mostrará las zonas de amenaza en rojo, naranja y amarillo, superpuestas en una sola imagen. Tenga en cuenta que las zonas de amenaza que se muestran en ALOHA siempre se dibujan con la dirección de viento, es decir, moverse a través de la ventana de la zona de amenaza de izquierda a derecha (Cordero, 2019).

2.2.22. Los ERPG

Según Balbi (2015), los ERPG procura estimar los rangos de concentración en los que se puede pronosticar suficientemente los efectos adversos observables como resultados de la exposición a una sustancia específica, es decir son directrices para la planificación de respuesta a emergencias, se los clasifica de la siguiente manera:

- ERPG 1: los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando efectos adversos ligeros y transitorios (Balbi, 2015).

- ERPG 2: los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar efectos serios o irreversibles (Balbi, 2015).
- ERPG 3: los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida (Balbi, 2015).

2.2.23. Software MARPLOT

Fue perfeccionado por el NOAA y por el EPA, es un programa de aplicación de mapeo de propósito general con las siguientes características (Marplot, 2007):

- Interfaz GIS fácil de usar;
- Capacidad para agregar objetos (como escuelas o productos químicos, instalaciones) en el mapa y marcarlas usando el conjunto de símbolos de MARPLOT o una imagen insertada;
- Le permite personalizar los mapas especificando qué capas aparecen y si los objetos en esas las capas (como carreteras) están etiquetadas;
- Mecanismo de búsqueda simple e integral para el mapa objetos;
- Vincula objetos en los mapas a datos en otros programas, como CAMEO y LandView; y
- Muestra fácilmente las zonas de amenaza ALOHA.

2.3 Marco legal

2.3.1. La Constitución Política de la República del Ecuador

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. Un aspecto importante de este artículo es que incorpora la dimensión ambiental y declara la preservación y conservación del ambiente de interés público. Otro rasgo relevante es que se considera al ambiente sano y ecológicamente equilibrado como un medio para lograr la sostenibilidad y el Buen Vivir. Este derecho consta en la Constitución de 1998, en el capítulo de los derechos civiles (pág. 23).

Art. 326.- Los numerales 5, y 6, establecen que toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar; y a ser reintegrada al trabajo y mantener la relación laboral de acuerdo con la ley, luego de ser rehabilitada después de un accidente de trabajo o enfermedad (pág. 63).

2.3.2. Ley de Defensa Contra Incendios

Art. 23.- Para los fines de esta Ley se considera también contravención además de las establecidas en el Código Penal, todo acto arbitrario, doloso o culposo, atentatorio a la protección de las personas y de los bienes en los casos de desastre provenientes de incendio (pág. 06).

2.3.3. Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios

Art. 264.- Todo establecimiento que por sus características industriales o tamaño de sus instalaciones disponga de más de 25 personas en calidad de trabajadores o empleados, deben organizar una BRIGADA DE SUPRESION DE INCENDIOS, periódica y debidamente entrenada y capacitada para combatir incendios dentro de las zonas de trabajo (pág. 38).

Art. 276.- Las gasolineras se sujetaran a lo estipulado en la legislación y normativa para la gestión y uso del suelo de cada Municipalidad, además a lo estipulado en el Registro Oficial en el Decreto 2982 “Reglamento Ambiental para las operaciones hidrocarbúrficas en el Ecuador” y Acuerdo Ministerial 347 del Ministerio de Energía y Minas (pág. 40).

Art. 277.- Bajo ningún concepto se podrá utilizar materiales fácilmente ininflamables o que por acción del calor sean explosivos, ni se permitirá la instalación eléctrica y de artefactos que no dispongan de su respectivo “blindaje” y se encuentren aislados de los surtidores y tuberías de ventilación (pág. 40).

Art. 278.- La instalación del sistema eléctrico en su totalidad será interna y en tubería metálica adecuada, empotrada en la mampostería; quedando totalmente prohibido el realizar cualquier tipo de instalación temporal o improvisada, para los surtidores será en circuito independiente y dispondrá del fusible apropiado (pág. 40).

Art. 279.- Las bóvedas de transformadores, grupos electrógenos, banco de capacitores e interruptores, dispondrán del correspondiente “blindaje” y estarán aislados de los surtidores y tuberías de ventilación (pág. 40).

Art. 280.- Todos y cada uno de los surtidores dispondrán de instalaciones aterrizadas para descarga a tierra, las sobrecargas o electricidad estática (pág. 40).

Art. 281.- Las gasolineras contarán con un dispositivo “pararrayos” ubicado en el sitio más alto de la edificación y con la respectiva descarga a tierra totalmente independiente. Además toda estación de servicio debe tener en cada isla una barra de cobre con masa puesta a tierra, para que empleados y usuarios descarguen energía estática antes de proceder al repostamiento del vehículo (pág. 40).

Art. 282.- Toda gasolinera y estación de servicio, contará con un numero de extintores de incendio equivalente a la relación de un extintor de polvo químico seco BC de 20 lb., o su equivalente, por cada surtidor de cualquier combustible. En caso de servicios adicionales, se observara las medidas que para su uso estén reglamentadas. Los empleados y trabajadores de la gasolinera deben tener conocimientos sobre el uso y manejo correcto de los extintores de incendio, para lo cual acreditaran un certificado expedido por el Cuerpo de Bomberos de cada jurisdicción

En la Oficina de Administración y en el exterior de la misma debe existir un teléfono en servicio y junto a éste, impreso en un cartel totalmente identificable constaran los números telefónicos de los servicios de emergencia (pág. 40).

Art. 283.- Deben existir no menos de cuatro letreros de 20 (veinte) por 80 (ochenta) centímetros con la leyenda PROHIBIDO FUMAR, y frente a cada isla de surtidores un letrero con iguales dimensiones con la leyenda APAGUE LOS MOTORES PARA REABASTECERSE DE COMBUSTIBLE, de acuerdo a la normativa NTE INEN 439 (pág. 40).

Art. 285.- Se prohíbe el expendio de gasolina en recipientes no adecuados para ser transportados manualmente (pág. 40).

Art. 286.- En las gasolineras y estaciones de servicio se prohíbe el expendio de G.L.P. en cilindros (pág. 40).

Art. 287.- Se prohíbe el reabastecimiento de combustible de vehículos con los motores en funcionamiento, de servicio público con pasajeros o vehículos con carga de productos químicos peligrosos, ininflamables o explosivos, sea dentro o fuera del perímetro urbano (pág. 40).

Art. 288.- En los predios destinados a gasolineras y estaciones de servicios no se instalaran antenas matrices y repetidoras de todo tipo de sistemas de comunicación (pág. 41).

Art. 289.- Se colocaran en lugares estratégicos, tarros metálicos provistos de tapa hermética para depositar en ellos trapos o textiles impregnados de combustible, lubricantes o grasas. No se empleará ningún tipo de material ininflamable en las labores de limpieza (pág. 41).

Art. 290.- No se permitirá el almacenamiento de combustible en tanques o tambores que no estuvieren técnicamente normados para cumplir con dicha función (pág. 41).

Art. 291.- Las gasolineras deben contar con Boca de Incendio Equipada (BIE) las mismas que deben estar provistas con un sistema de extinción automático a base de espuma, a razón de un BIE incluido reductor por cada quinientos metros cuadrados de superficie (500 m²) (pág. 41).

Art. 292.- Todas las gasolineras deben disponer de un plan de auto protección, mapa de riesgos, recursos y evacuación en caso de incendios, bajo la responsabilidad del representante legal con la constatación del Cuerpo de Bomberos de la jurisdicción. Todo el personal de gasolineras y estaciones de servicio y moradores colindantes a éstas, deben estar capacitados y entrenados para responder efectivamente ante un incidente de incendio (pág. 41).

2.3.4. Código del trabajo

Art. 38.- Riesgos provenientes del trabajo.- Los riesgos provenientes del trabajo son de cargo del empleador y cuando, a consecuencia de ellos, el trabajador sufre daño personal, estará en la obligación de indemnizarle de acuerdo con las disposiciones de este Código, siempre que tal beneficio no le sea concedido por el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (pág. 11).

Art. 410.- Obligaciones respecto de la prevención de riesgos.- Los empleadores están obligados a asegurar a sus trabajadores condiciones de trabajo que no presenten peligro para su salud o su vida. Los trabajadores están obligados a acatar las medidas de prevención, seguridad e higiene determinadas en los reglamentos y facilitadas por el empleador. Su omisión constituye justa causa para la terminación del contrato de trabajo (pág. 115).

2.3.5. Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Decreto 2393

Art. 11. Obligaciones de los empleadores.- Son obligaciones generales de los personeros de las entidades y empresas públicas y privadas, las siguientes:
5. Entregar gratuitamente a sus trabajadores vestido adecuado para el trabajo y los medios de protección personal y colectiva necesarios (pág. 06).

Art. 153.- Adestramiento y equipo.-

1. Todos los trabajadores deberán conocer las medidas de actuación en caso de incendio, para lo cual:

- a) Serán instruidos de modo conveniente.
- b) Dispondrán de los medios y elementos de protección necesarios (pág. 69).

Art.163.- Locales con riesgo de explosión. Se observarán en forma estricta las normas de seguridad sobre almacenamiento, manipulación y transporte de sustancias explosivas e inflamables. En cuanto a la estructura y condiciones de los locales de almacenamiento de explosivos se cumplirá con las siguientes normas:

1. Estarán dotados de la señalización suficiente para advertir sin ningún género de dudas, tanto el material que contienen como el riesgo que implican.
2. En su construcción se combinarán estructuras de alta resistencia con elementos de débil resistencia orientadas en las direcciones más favorables y que permitan el paso de la onda expansiva en caso de explosión.
3. Las estructuras y paredes adoptarán formas geométricas tendientes a desviar la onda explosiva en las direcciones más favorables.
4. Los suelos, techos y paredes serán incombustibles, impermeables y de fácil lavado.
5. Se dispondrán de los medios adecuados que eviten la incidencia de la luz solar sobre los materiales almacenados.

6. Se prohíbe fumar o introducir cualquier objeto o prenda que pueda producir chispas o llama.
7. Toda instalación eléctrica en su interior y proximidades deberá ser anti chispa.
8. Todas las partes metálicas estarán conectadas eléctricamente entre sí y puestas a tierra.
9. Se instalarán dispositivos eliminadores de la electricidad estática (pág. 73).

Art. 164.- numeral 1.- La señalización de seguridad se establecerá en orden a indicar la existencia de riesgos y medidas a adoptar ante los mismos, y determinar el emplazamiento de dispositivos y equipos de seguridad y demás medios de protección (pág. 74).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo bibliográfica, ya que para el estudio de riesgos de incendio y explosiones por combustibles se recogió información de libros, artículo de revista, investigaciones, tesis de grado o estudios de campo para sustentar lo descrito en el marco teórico (Cezar y Pereira, 2012).

Además, presentó una investigación descriptiva, el cual se utilizó para describir los resultados de la simulación en caso de una explosión y posteriormente se detalló las consecuencias, aportando a su vez medidas preventivas.

3.1.2 Diseño de investigación

3.1.2.1. Investigación no experimental

Este tipo de investigación es no experimental, transeccional, descriptivo. No experimental porque no se pueden manipular las variables, los datos a reunir se conseguirán del lugar de estudio; y transeccional ya que la recolección de datos se realizará en un solo período. La investigación no experimental es la que se efectúa sin manipular determinadamente variables; lo que se hace en este tipo de exploración es prestar atención a los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos.

El diseño de investigación transeccional acumulan datos en un solo período, en un lapso único, su propósito es definir las variables y observar un hecho e interrelación en un instante dado. Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar el suceso y los valores en lo que se manifiesta una o más variables dentro del enfoque cuantitativo. Consiste en medir o situar a un grupo de

personas, objetos, situaciones, fenómenos en una variable y facilitar su descripción.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. *Variable independiente*

- Tipo de contaminante
 - ✓ Gasolina
- Área de simulación (m²)
- Cantidad de gasolina
- Datos de entrada del software Aloha
 - ✓ Localización
 - ✓ Tipo de construcción
 - ✓ Fecha y hora
 - ✓ Elección de un producto químico
 - ✓ Condiciones climáticas (Velocidad del viento, Temperatura del aire, Nubosidad, Humedad relativa)
 - ✓ Tipo de fuente (Tanque)

3.2.1.2. *Variable dependiente*

- Radio de afectación por la explosión (m)

3.2.2 Recolección de datos

3.2.2.1. *Recursos*

Para la realización del marco teórico se obtuvo información de bibliotecas virtuales, revistas, artículos científicos, tesis, libros etc... que nos ayudó con la terminación del trabajo. En cuanto a las técnicas que se aplicaron, se utilizó varios instrumentos de investigación como son los siguientes:

- **Software ALOHA**

El objetivo de ALOHA es la respuesta ante derrames, en el cual se suministra el área de riesgos debido al derrame esporádico de químicos volátiles e inflamables, se centraliza específicamente en el riesgo y la salud debido a la inhalación de vapores, incendios y explosiones (Cordero, 2019).

Según Cordero (2019), está diseñado para que se pueda manipular exitosamente durante escenarios de alta presión. Posee en su biblioteca química información sobre las propiedades físicas de unos novecientos productos químicos peligrosos comunes.

- **Software Marplot**

Realiza el trazado de objetos y datos de censo sobre planos (Marplot, 2007).

A continuación, se expone las diferencias entre el software ALOHA Y MARPLOT (Ver, Tabla 5):

Tabla 5. Diferencias entre los Software ALOHA Y MARPLOT

	SOFTWARE ALOHA	SOFTWARE MARPLOT
Creado por	CAMEO junto con el gobierno de los EE.UU	CAMEO junto con el gobierno de los EE.UU
Acerca de	Es un programa diseñado para la planificación y entrenamiento de emergencias	Es un programa de diagramación de aplicaciones
Función	Puede predecir cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una	Permite la creación, revisión y modificación de mapas de manera rápida y fácil, además permite

descarga química	enlazar objetos de los
accidental	mapas con datos de otros
	programas (como por
	ejemplo: Aloha)

CAMEO, 2021

- **Recursos materiales**

En el presente proyecto utilizó los siguientes equipos y materiales:

- ✓ Laptop
- ✓ Impresora
- ✓ Hojas A4
- ✓ Pendrive

- **Recursos económicos**

- ✓ Internet
- ✓ Tinta
- ✓ Movilización

3.2.2.2. Métodos y técnicas

Software ALOHA

La metodología empleada es por medio de la aplicación de un simulador llamado software ALOHA (Versión 5.4.7, Sept 2016, 7.33 MB EXE) que es una aplicación diseñada particularmente para accidentes químicos y preparación ante emergencias (Medina , Rodríguez, y Gómez, 2018). El procedimiento del uso del software ALOHA se mencionará a continuación (Ver en Anexos, Figura 21).

- **Añadir el sitio a la lista de lugares de ALOHA**

Aquí será necesario añadir el sitio del análisis en el programa, para hacerlo se deberá seguir los siguientes pasos:

1. Latitud/ longitud en grados/ minutos
2. Elevación en pies o metros
3. Abrir la lista de lugares
4. Seleccionar el botón Add
5. Escribir la información del lugar
6. Elegir Ok

- **Ajustar fecha y hora**

Se puede ajustar en tiempo real, a una hora futura para propósito de planificación

- **Incorporación de la sustancia química**

Para incorporar la sustancia química, se deberá seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar menú (Setup)
2. Seleccionar sustancia química deseada de la biblioteca de ALOHA (chemical)
3. Seleccionar Ok

- **Incorporación de la información sobre las condiciones climáticas**

Se ingresaran datos obtenido del INAMHI, para después ingresarlos al software, siguiendo los siguientes pasos:

1. Seleccionar menú (Setup)
2. Seleccionar atmosférico (atmospheric)
3. Seleccionar información incorporada por usuario (user input)
4. Escribir las condiciones atmosféricas

- **Incorporación del tipo de tanque**

Se ingresarán datos del tanque de almacenamiento de gasolina para el cual se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar tipo de tanque (tank type)
2. Escribir la información para los siguientes parámetros: diámetro, longitud y volumen
3. Seleccionar Ok
4. Seleccionar tanque solamente contiene liquido (tank contains liquid)
5. Escribir el valor de la temperatura de la sustancia almacenada (chemical stored at ambient temperature)
6. Escribir la cantidad de sustancia contenida, la masa (the mass in the tank is) y el volumen del líquido (the liquid volumen is).

En seguida, los últimos pasos para realizar la simulación son:

7. Seleccionar el tipo de evento que ocurrirá con la sustancia (type of tank failure) en este caso seleccionar la primera opción (leaking tank, chemical is not burning as it escapes into atmosphere)
8. Escribir el tamaño y la localización del hueco
9. Seleccionar la zona de amenaza (theat zone)
10. Seleccionar vapor de nube tóxica (toxic area of vapor cloud)
11. Selección del nivel de concentración de la sustancia
12. Sigue seleccionar (source strength) para obtener la gráfica que indicará la velocidad en kilogramos por segundo
13. Finalmente, seleccionar menú display (threat at point) con el fin de saber el comportamiento de la sustancia

Para la recolección de los datos del tanque de almacenamiento, la Gasolinera P&S ubicada en la Av. Perimetral en la ciudad de Guayaquil nos proporciona la siguiente información, se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Características de los tanques de almacenamiento de la Gasolina súper en general

Forma del tanque	Cilíndrico horizontal
Longitud del tanque	5.00 mts
Diámetro del tanque	1 mts
Volumen del tanque	10000 gal
Temperatura interior líquida	24 °C
Masa de la sustancia	8.5 Kg

Gasolinera P&S, 2021

Para la recolección de datos de las condiciones climáticas se obtuvo de los boletines meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de Ecuador, específicamente de la estación meteorológica Camaronera – Songa, se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos meteorológicos de la estación camaronera - songa del día 08 de Abril del 2021

Fecha Hora (GMT-5)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)	Presión atmosférica (hPa)	Temperatura del aire (°C)	Velocidad del viento
12:00	61	0	1010.4	29.5	2.9
13:00	61	0	1010.3	28.8	2.8
14:00	62	0	1010.2	28.7	2.8
15:00	63	0	1010.1	27.5	2.8
16:00	63	0	1009.9	27.4	2.8
17:00	63	0.1	1009.8	27.2	2.7

INAMHI, 2021

Software MARPLOT

El Software Marplot permite la creación, revisión y modificación de mapas de manera rápida y fácil.

Método de índice de incendio/explosión

El índice de incendio y explosión fue desarrollado por The Dow Chemical Company para que se utilice de guía en la elección de métodos de protección contra incendios. Está planteado para trabajos que manipulen sustancias combustibles, inflamables o reactivas en cualquier condición, además examina diferentes factores de riesgos que intervienen y propician la intensidad de daño potencial a la unidad (Gálvez, 2020).

El esquema del procedimiento del cálculo del índice de dow se detalla en (Ver en Anexo, Figura 22).

- **Factor general de riesgo F1**

1. Reacciones exotérmicas
2. Reacciones endotérmicas
3. Tránsito y manejo de materiales
4. Unidad de procesos cerrados
5. Acceso
6. Drenajes

- **Riesgos especiales del proceso F2**

1. Temperatura del proceso
2. Presión baja
3. Operación en condiciones de inflamabilidad
4. Explosión de polvo
5. Presión de tarado
6. Temperatura baja
7. Cantidad de material inflamable
8. Corrosión y erosión

9. Fugas por uniones y empaquetaduras
10. Uso de calentadores con fuegos directos
11. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente
12. Equipos en rotación, bombas y compresores

- **Determinación del factor de riesgo de la unidad F3**

Se calcula mediante el producto del factor general del proceso (F1) y el factor especial del proceso (F2) (Gálvez, 2020).

- **Determinación del índice de incendio y explosión (IIE)**

Según Gálvez (2020), el índice de incendio y explosión es el producto del factor de riesgo de la unidad (F3) y el factor material (FM). El resultado del índice o y explosión (IIE) entrará dentro de los siguientes rangos (Ver, Tabla 8):

Tabla 8. Rangos de valoración de índice de incendio y explosión

Rango de índice de incendio y explosión	Grado de peligro
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Intenso
Más 159	Grave

Gálvez , 2020

3.2.3 Análisis estadístico

Para el presente trabajo investigativo se utilizó la estadística descriptiva que permitió detallar y analizar los datos obtenidos en la simulación, además se utilizó la mediana, media, moda y varianza.

También, se determinó el riesgo de incendio tomando como referencia lo descrito en el Código de Práctica Ecuatoriano (CPE INEN 5) que determina lo siguiente:

La carga de fuego es la cantidad de kilocalorías que se libera por metro cuadrado de área de piso de un compartimento por la combustión de los materiales contenidos en el edificio o partes combustibles del mismo (Bonilla, 2015).

La carga de fuego se determina multiplicando los pesos de todos los materiales combustibles por sus valores calóricos de acuerdo a la siguiente formula (Bonilla, 2015).

$$(cf) = \frac{Kg \times Kcal/kg}{m^2}$$

Donde:

Cf: Carga de fuego

Kg: Peso del combustible en kilogramos

Kcal/kg: Carga calorífica del material en kilogramos

m^2 : Área en metros cuadrados

Para obtener la carga calorífica de la gasolina se consiguió los datos de valores calóricos de que la CPE INEN 5 sección 1 describe en el apéndice V, lo cual nos indica que:

- La gasolina posee un valor calórico de 4550 a 7100 kcal/kg

El valor del peso de combustible expresado en kilogramos se obtendrá del almacenamiento de la gasolinera o estación de servicio que posee en sus tanques de gasolina, este acopio esta expresado galones para luego transformarlo a litros, después se obtendrá el valor de la densidad de cada combustible que es la siguiente:

- Densidad de la gasolina:

Fórmula de la densidad a aplicar:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ =densidad

m = masa en kilogramos

V = volumen en metros cúbicos o litros

4. Resultados

4.1 Obtención de las variables a utilizar en la simulación por medio de los datos proporcionado por la Gasolinera P&S y el INAMHI

Se realizó una visita a la Gasolinera P&S que se encuentra en la Av. Perimetral, en la cual se obtuvo información del manejo de combustible y almacenamiento de la gasolina, mediante esta visita se tomó datos de los tanques de almacenamiento de la gasolina súper para realizar la correspondiente simulación utilizando el software ALOHA (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Datos de los tanques de almacenamiento de la gasolina

	Galones (gal)	Diámetro (m)	Longitud (m)
Tanque n°1	9.000	2	5
Tanque n°2	8890	2	5
Tanque n°3	9.100	2	5

Alvarado, 2021

Se obtuvo los datos meteorológicos del INAMHI del día 08 de Abril del 2021 para la realización de la simulación, el cual se consiguió de la estación meteorológica Camaronera – Songa (Ver Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Datos de la estación meteorológica Camaronera - Songa

Código	Provincia	Propietario	Latitud	Longitud	Altitud	Estado
M5131	Guayas	INAMHI	2.287008	79.858189	3.00 m	Operativa

INAMHI, 2021

Tabla 11. Datos de las condiciones meteorológicas a utilizar

Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (c°)	Humedad relativa (%)	Nubosidad
2.8	27	63	Parcialmente cubierto

INAMHI, 2021

Además, el escenario que se utilizó en la simulación del software ALOHA en caso de que existiera una fuga o derrame por gasolina siendo un producto inflamable en estado líquido fue:

- **Bleve:** donde se asumió que hubo una sobrepresión en los tanques de almacenamiento de la gasolina súper y provocó quemaduras químicas en bola de fuego, según ALOHA cuanto mayor sea la presión interna del tanque (o temperatura) en el momento de la falla, mayor será la bola de fuego.

4.2 Cálculo del radio y zonas de afectación por la simulación de contaminación del aire en caso de una explosión de gasolina súper mediante el software ALOHA y MARPLOT

ALOHA maneja los ERPG, que son las concentraciones altas de sustancias químicas peligrosas en el aire durante 1 hora, como consecuencia las personas que están expuestas les afecta gravemente su salud, los manipula como sus niveles de preocupación (LOC) al simular una liberación de sustancia química tóxica. El radio de afectación constituido con las simulaciones del ALOHA Y MARPLOT se divide en tres colores; rojo que es la zona de mayor afectación, naranja afectación moderada y amarillo afectación menor.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos sobre la simulación de las emisiones al aire en caso de que se suscite una explosión de gasolina súper; las principales emisiones de gases contaminantes analizados son el dióxido de carbono, dióxido de azufre y los óxidos nitrosos.

Según el EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), indica que por cada galón de gasolina consumida equivale a 8.887×10^{-3} toneladas métricas de CO₂ emitidos, por lo que en la siguiente tabla se presenta la concentración emitida de los tres tanques de gasolina analizados (Ver, tabla 12):

Tabla 12. Emisiones de CO₂ por galones de gasolina

Nº tanques	Cantidad de gasolina (gal)	Emisión de CO ₂ (Toneladas métricas)
1	9000	79.98 x 10 ⁻³
2	8890	79.00 x 10 ⁻³
3	9100	80.87 x 10 ⁻³

Alvarado, 2021

Como se evidencia en la tabla 12, la mayor emisión de CO₂ al aire es del tanque de gasolina número 3 debido a que se encuentra llenado al 92% de su capacidad, es decir a mayor cantidad de gasolina mayor serán las emisiones de CO₂.

Después se procedió a realizar la simulación mediante el software ALOHA, que arrojo como resultados las siguientes concentraciones de CO₂ (Ver, tabla 13):

Tabla 13. Resultados de las concentraciones de CO₂ simulado

Zonas de amenazas	Concentración de CO ₂	Distancia (m)
Rojo	330.000 ppm	319.12 m
Naranja	83.000 ppm	658.36 m
Amarillo	20.000 ppm	853.21 m

Alvarado, 2021

Como se observa en la tabla 13, la mayor concentración de CO₂ emitidos al aire es de 330.000 ppm a una distancia de 319.12 metros a la redonda del lugar analizado, afectando gravemente la salud de los seres humanos que se encuentran en las inmediaciones; cabe mencionar que 10.000 ppm equivale a 1%, es decir que se emite al aire un 33% de CO₂.

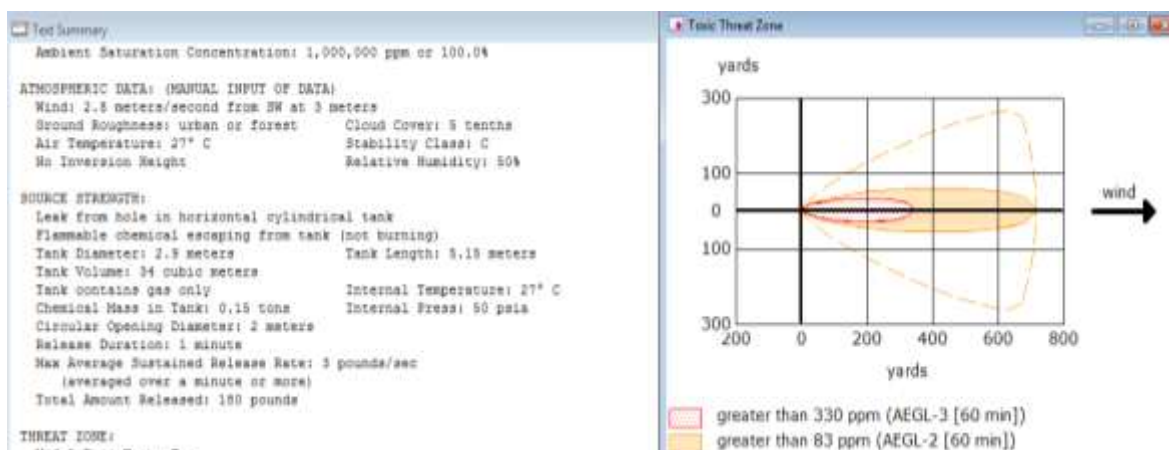


Figura 1. Emisión de la concentración del CO₂ representado por el software ALOHA
Alvarado, 2021

En la figura 1, se interpreta la dispersión de la concentración del CO₂ representado en yardas en caso de una explosión de gasolina súper en la Gasolinera P&S que se encuentra en la Isla Trinitaria - Av. Perimetral.

Así mismo, se procedió a realizar la simulación mediante el software ALOHA, que arrojo como resultados las siguientes concentraciones de SO₂ (Ver, tabla 14):

Tabla 14. Resultados de las concentraciones de SO₂ simulado

Zonas de amenazas	Concentración de SO ₂	Distancia (m)
Rojo	300.000 ppm	325.59 m
Naranja	75.000 ppm	475.26 m
Amarillo	22.000 ppm	750.28 m

Alvarado, 2021

Como se evidencia en la tabla 14, la mayor concentración de SO₂ emitidos al aire es de 300.000 ppm a una distancia de 325.59 metros a la redonda del lugar analizado, afectando gravemente la salud de los seres humanos; cabe mencionar que 10.000 ppm equivale a 1%, es decir que se emite al aire un 30% de SO₂.

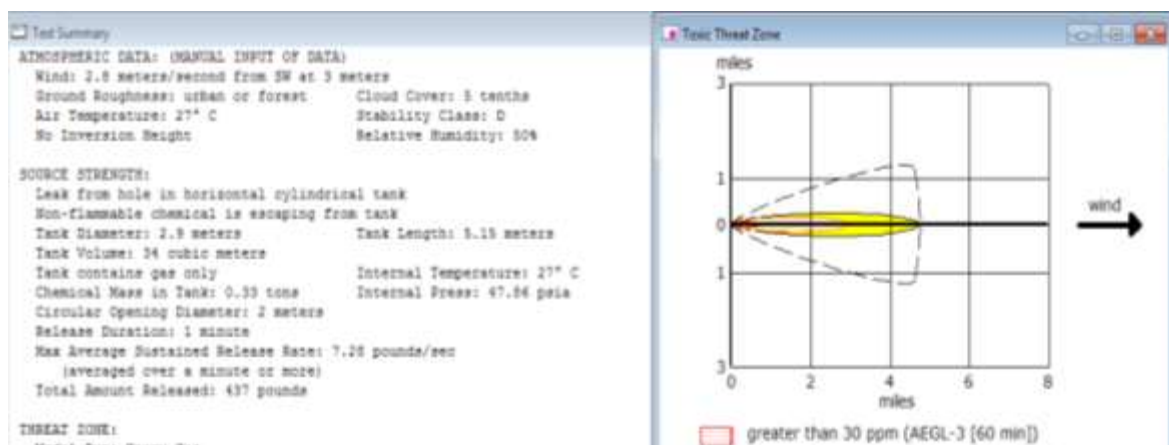


Figura 2. Emisión de la concentración del CO₂ representado por el software ALOHA
Alvarado, 2021

En la figura 2, se interpreta la dispersión de la concentración del SO₂ representados en millas en caso de una explosión de gasolina súper en la Gasolinera P&S que se encuentra en la Isla Trinitaria - Av. Perimetral.

Posteriormente, se procedió a realizar la simulación mediante el software ALOHA, que arrojo como resultados las siguientes concentraciones de NO_x.

Tabla 15. Resultados de las concentraciones de SO₂ simulado

Zonas de amenazas	Concentración de NO _x	Distancia (m)
Rojo	20.000 ppm	342.84 m
Naranja	10.000 ppm	436.14 m
Amarillo	9.100 ppm	797.17 m

Alvarado, 2021

Como se evidencia en la tabla 15, la mayor concentración de NO_x emitidos al aire es de 20.000 ppm a una distancia de 342.84 metros a la redonda del lugar analizado, afectando gravemente la salud de los seres humanos; cabe mencionar que 10.000 ppm equivale a 1%, es decir que se emite al aire un 2% de NO_x.

Finalmente, se presenta los resultados de las concentraciones de los gases contaminantes que se obtuvieron al modelar el dióxido de carbono, dióxido de azufre y los óxidos nitrosos utilizando el software ALOHA (Ver, tabla 16).

Tabla 16. Resultados de la concentración de los gases contaminantes simulados

Zonas de amenazas	Concentraciones de gases contaminantes		
	CO	SO ₂	NO _x
Rojo	330.000 ppm	300.000 ppm	20.000 ppm
Naranja	83.000ppm	75.000 ppm	10.000 ppm
Amarillo	20.000 ppm	22.000 ppm	9100 ppm

Alvarado, 2021

Como se observa en la tabla 16, el gas que mayor concentración emite al aire es el dióxido de carbono, siendo este el más peligroso para el ser humano si se está expuesto a más de 60 minutos, terminando con su vida.

Después, se realizó el simulacro del tanque de almacenamiento de gasolina n°1, con los datos obtenidos de la Gasolinera P&S y los datos meteorológicos del INAHMI correspondiente al día 08 de abril del presente año; se logró un radio de afectación de la siguiente manera (Ver, Tabla 17 y Figura 3):

Tabla 17.Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1

Estación	Gasolinera San Andres (P&S)
Fecha de simulación	08 de Abril del 2021
Tipo de combustible	Gasolina Súper
Tipo de accidente	Bleve
Proceso analizado	Sobrepresión en los tanques de almacenamiento de la gasolina

Capacidad del tanque	90%
Diámetro de la bola de fuego (m)	128 m
Longitud máxima de la llama (m)	106 m
Tiempo de duración de la bola de fuego (seg)	9 seg
Zona Roja: 10.0 kW/ (sq m). Daño potencial con 60 segundos de exposición	309.9 m
Zona naranja: 5.0 kW/(sq m). Daño de quemaduras de segundo grado con 60 segundos de exposición	437.9 m
Zona amarilla: 2.0 kW/ (sq m). Dolor con 60 segundos de exposición	684.8 m

ALOHA, 2021

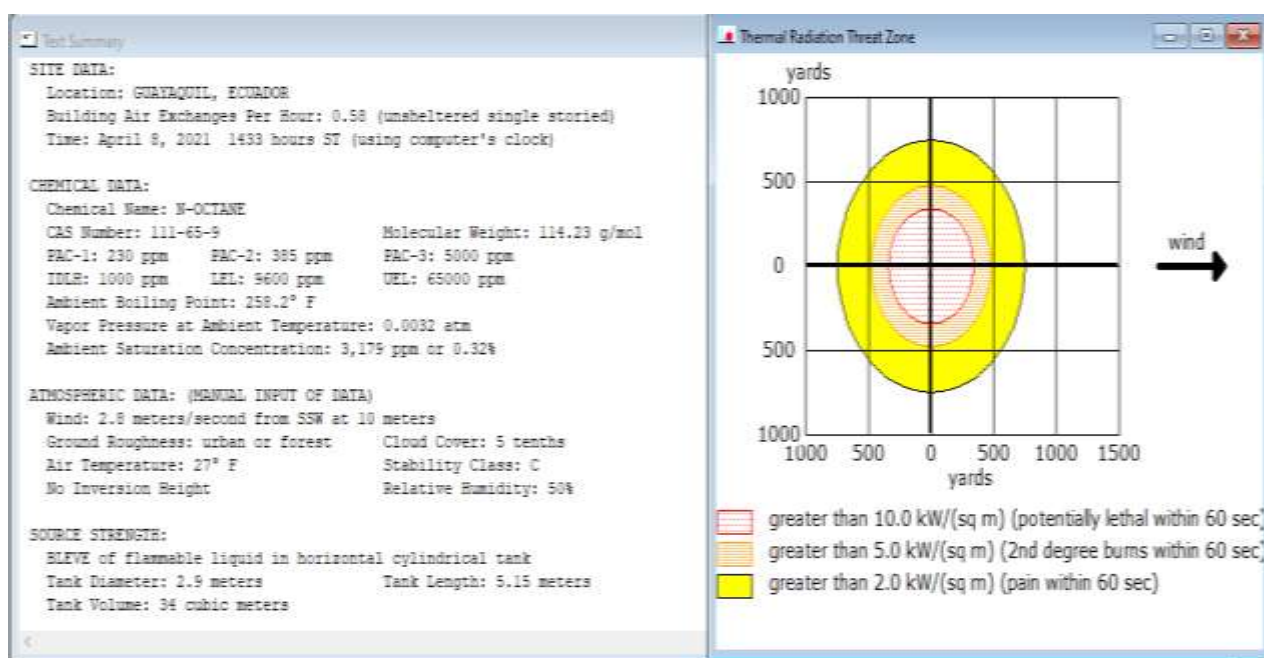


Figura 1. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1 en el Software ALOHA
Alvarado, 2021

En la figura 3, se interpreta la dispersión del radio de afectación en yardas en caso de una explosión de gasolina súper en la Gasolinera P&S que se encuentra en la Isla Trinitaria - Av. Perimetral.

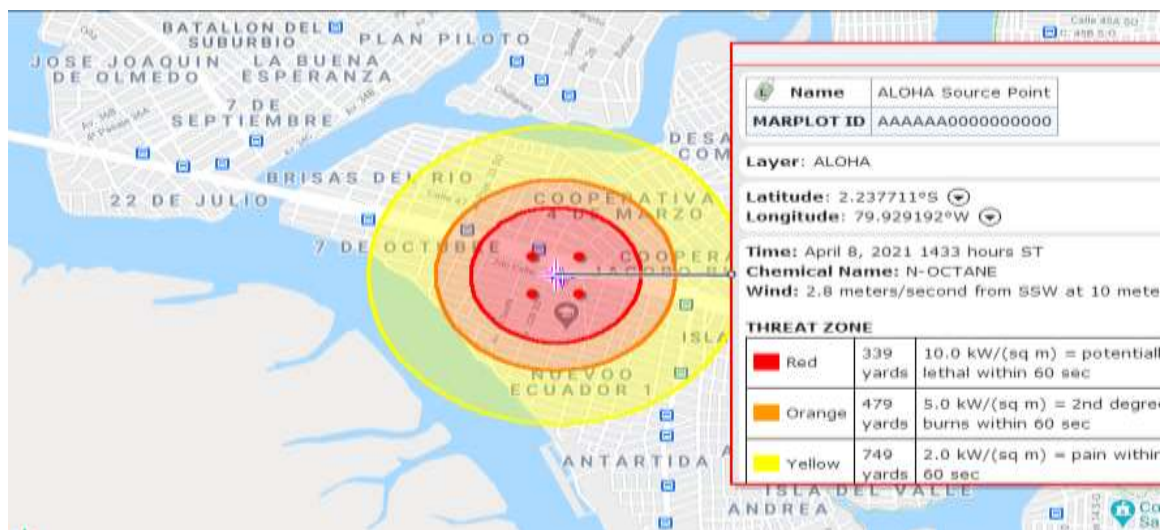


Figura 2. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°1 en el Software MARPLOT

Alvarado, 2021

En la figura 4, se representa las zonas de afectación de la simulación de contaminación del aire en caso de explosión de la gasolina súper a través de Google Earth.



Figura 3. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth

Alvarado, 2021

Así mismo, se realizó la simulación del tanque de almacenamiento de gasolina súper 2, con los datos obtenidos de la Gasolinera P&S y los datos meteorológicos del INAHMI correspondiente al día 08 de abril del presente año; el radio de afectación que se obtuvo como resultados es (Ver, Tabla 18 y Figura 5):

Tabla 18. Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2

Estación	Gasolinera San Andres (P&S)
Fecha de simulación	08 de Abril del 2021
Tipo de combustible	Gasolina Súper
Tipo de accidente	Bleve
Proceso analizado	Sobrepresión en los tanques de almacenamiento de la gasolina
Capacidad del tanque	90%
Diámetro de la bola de fuego (m)	160 m
Longitud máxima de la llama (m)	109 m
Tiempo de duración de la bola de fuego (seg)	11 seg
Zona Roja: 10.0 kW/ (sq m). Daño potencial con 60 segundos de exposición	351.1 m
Zona naranja: 5.0 kW/(sq m). Daño de quemaduras de segundo grado con 60 segundos de exposición	496.5 m
Zona amarilla: 2.0 kW/ (sq m). Dolor con 60 segundos de exposición	773.5 m

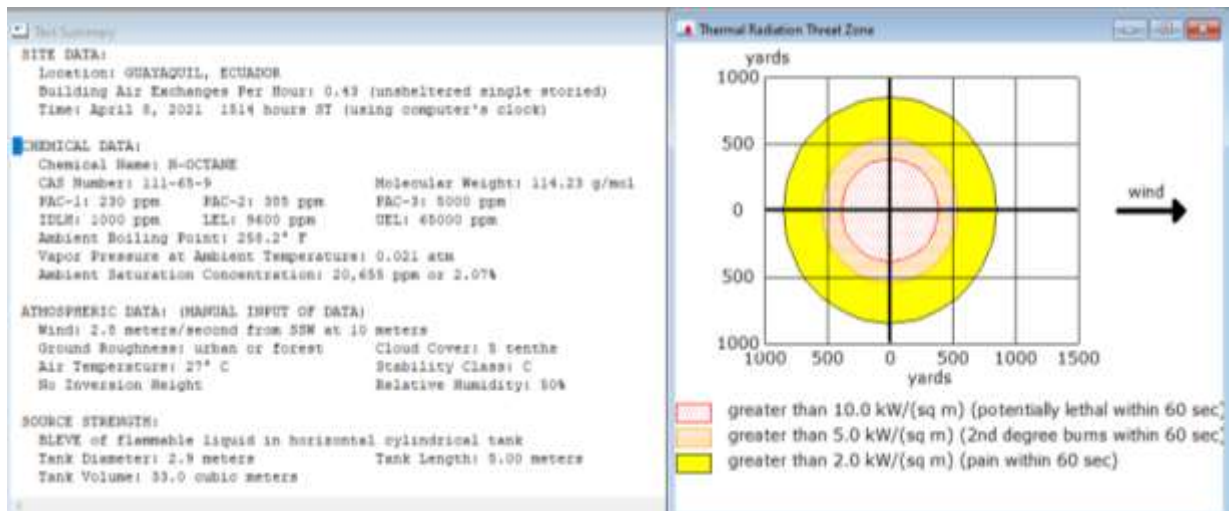


Figura 4. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2 en el Software ALOHA
 Alvarado, 2021

En la figura 6, se interpreta la dispersión del radio de afectación en yardas en caso de una explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper en la Gasolinera P&S que se encuentra en la Isla Trinitaria - Av. Perimetral.

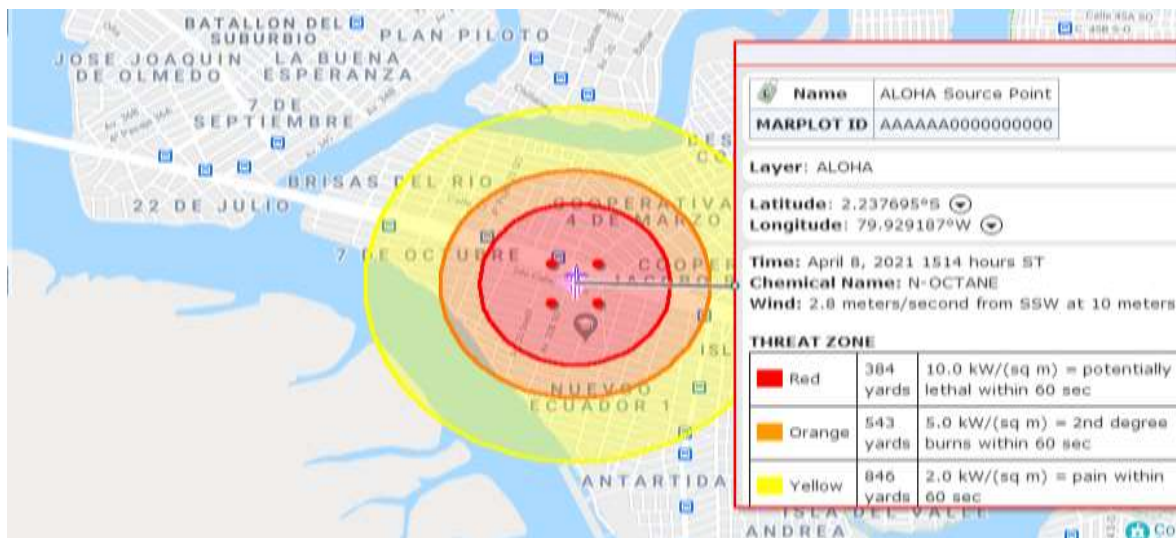


Figura 5. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°2 en el Software MARPLOT
 Alvarado, 2021

En la figura 7, se representa las zonas de afectación de la simulación de contaminación del aire en caso de explosión de la gasolina súper a través de Google Earth.

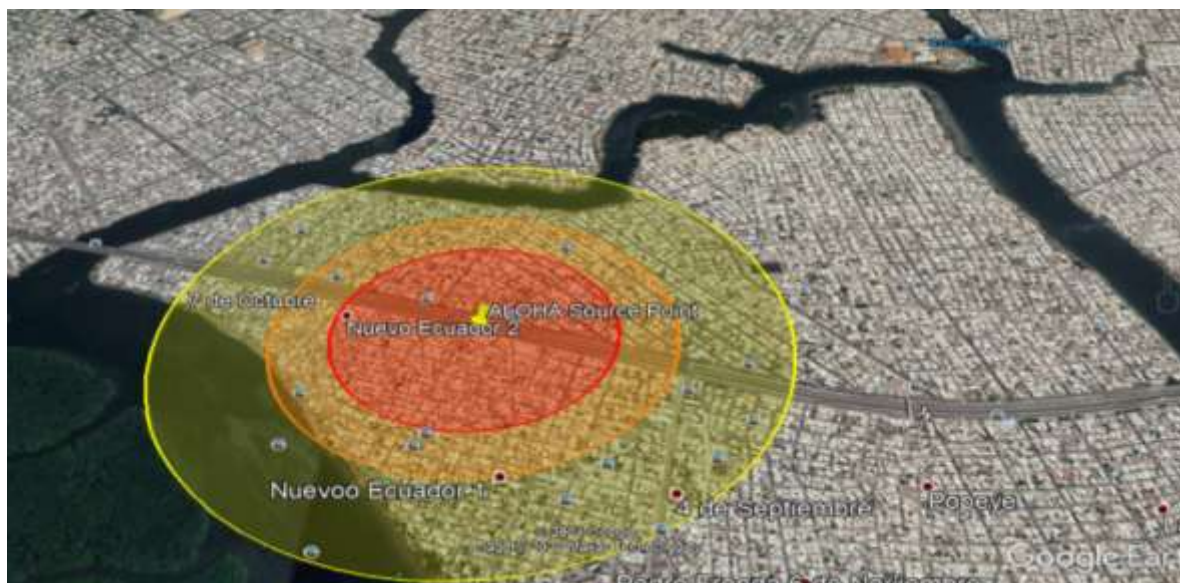


Figura 6. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth Alvarado, 2021

Finalmente, se realizó la simulación del tanque de almacenamiento de gasolina súper 3, con los datos obtenidos de la Gasolinera P&S y los datos meteorológicos del INAHMI correspondiente al día 08 de abril del presente año, el radio de afectación que se obtuvo como resultados es (Ver, Tabla 19 y Figura 8):

Tabla 19. Resultado obtenido de la simulación de la explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3

Estación	Gasolinera San Andres (P&S)
Fecha de simulación	08 de Abril del 2021
Tipo de combustible	Gasolina Súper
Tipo de accidente	Bleve
Proceso analizado	Sobrepresión en los tanques de almacenamiento de la gasolina
Capacidad del tanque	92%
Díámetro de la bola de fuego (m)	162 m
Longitud máxima de la llama (m)	110 m

Tiempo de duración de la bola de fuego (seg)	12 seg
Zona Roja: 10.0 kW/ (sq m). Daño potencial con 60 segundos de exposición	356.6 m
Zona naranja: 5.0 kW/(sq m). Daño de quemaduras de segundo grado con 60 segundos de exposición	503.8 m
Zona amarilla: 2.0 kW/ (sq m). Dolor con 60 segundos de exposición	786.3 m

ALOHA, 2021

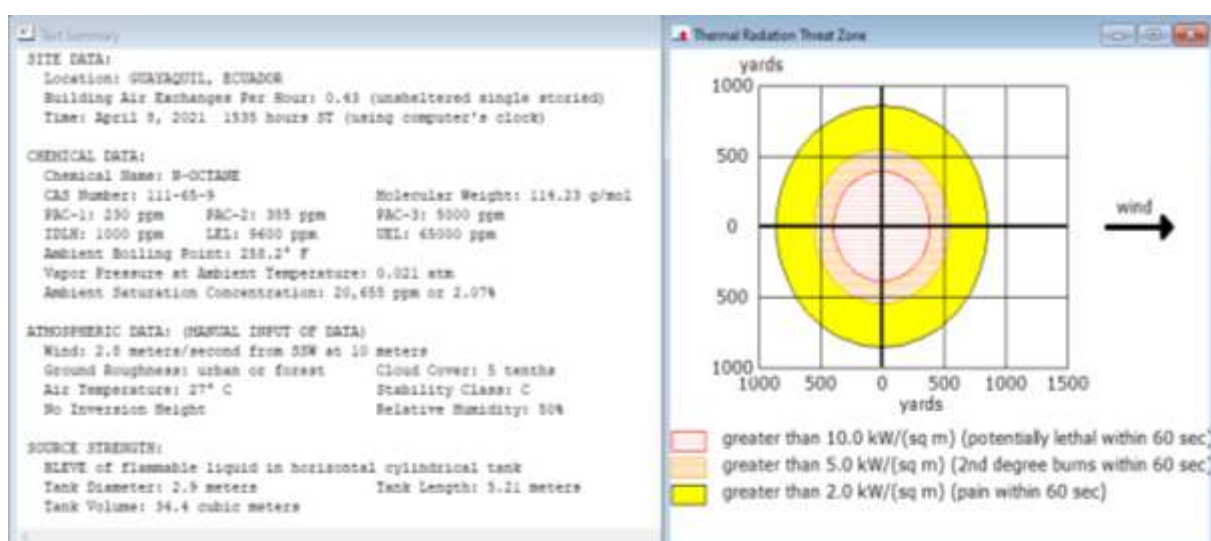


Figura 7. Simulación de explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3 en el Software ALOHA
Alvarado, 2021

En la figura 9, se interpreta la dispersión del radio de afectación en yardas en caso de una explosión del tanque de almacenamiento de gasolina súper en la Gasolinera P&S que se encuentra en la Isla Trinitaria - Av. Perimetral.

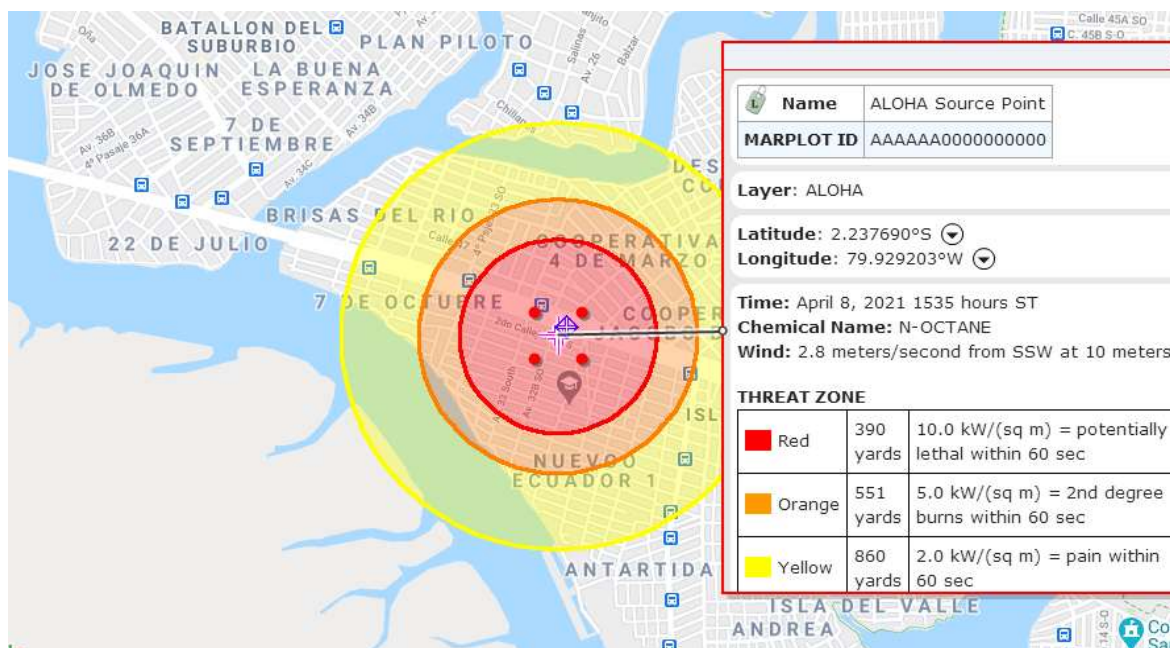


Figura 8. Zonas de afectación del tanque de almacenamiento de gasolina súper n°3 en el Software MARPLOT
 Alvarado, 2021

En la figura 10, se representa las zonas de afectación de la simulación de contaminación del aire en caso de explosión de la gasolina súper a través de Google Earth.



Figura 9. Representación de las zonas de amenazas a través de Google Earth
 Alvarado, 2021

En cuanto a las zonas afectadas se encuentran, la zona de color rojo que corresponden a la afectación mayor las Cooperativas Eloy Alfaro, Nuevo Ecuador 2, Mandela y 29 de Abril; la zona de color naranja el cual sufrió afectaciones moderadas están las Cooperativas 4 de Marzo y Nuevo Ecuador 1; y por último la zona de color amarillo que corresponde a afectaciones menores son las Cooperativas Mandela 2, 7 de Octubre, 4 de Septiembre, 12 de Octubre, Jacobo Bucaram y Desarrollo Comunal.

En la Tabla 20, se representa los radios de afectación en metros obtenidos de las simulaciones de explosión en los tres tanques de almacenamiento de gasolina súper de la Gasolinera P&S.

Tabla 20. Radio de afectación en metros de las simulaciones realizadas

Tanques de almacenamiento	Radio de afectación		
	Rojo mayor	Naranja moderada	Amarillo menor
	afectación (m) ERPG - 1	afectación (m) ERPG - 2	afectación (m) ERPG - 3
Tanque n°1	309.9	437.9	684.8
Tanque n°2	351.1	496.5	773.5
Tanque n°3	356.6	503.8	786.3

Alvarado, 2021

Posteriormente, luego de obtener los resultados de la simulación del software ALOHA y MARPLOT se realizó el análisis estadístico para alcanzar resultados más precisos y poder representar claramente los diferentes tipos de zonas de amenazas como se muestra en la siguiente tabla 21:

Tabla 21. Resultados estadísticos de la media, mediana, moda, varianza

	Media $\bar{x}$ (m)	Mediana $\tilde{x}$ (m)	Moda $\hat{x}$ (m)	Varianza σ (m)
Rojo	339.2	351.1	356.6	434.2
Naranja	479.4	496.5	503.8	870.0
Amarillo	748.2	773.5	786.3	2037.0

Alvarado, 2021

4.3 Evaluación en nivel de riesgo de accidente mayor de la gasolinera mediante la aplicación del método de índice de incendio/explosión y propuesta de un plan de contingencia

La evaluación en nivel de riesgo de incendio en la Gasolinera P&S se obtuvo al aplicar el método del Índice de Incendio y/o explosión, también llamado Índice de Dow.

En la selección de la unidad del proceso se consideró el área de los tanques de almacenamiento de gasolina (Ver, Figura 11).



Figura 10. Zona de los tanques de almacenamiento de la gasolina
Google Earth, 2021

Para el Índice del factor material (FM), en la guía para la clasificación del riesgo de índice de incendio y/o explosión indicó un factor de 16 para hidrocarburos entre ellos la gasolina.

1. Riesgos generales del proceso

A. Reacciones exotérmicas: No aplica

B. Reacciones endotérmicas: No aplica

C. Transferencia y manejo de materiales: la Gasolinera P&S almacena líquidos inflamables como la gasolina, por tal caso se lo penalizó con 0.85

D. Unidades de proceso cerradas: No aplica

E. Drenaje: se lo penaliza con 0.25

2. Riesgos especiales del proceso

A. Temperatura del proceso

1. Superior al punto de inflamación: se penalizó con 0.3, ya que las condiciones de operación son mayor al punto de inflamación de la gasolina

2. Superior al punto de ebullición: la temperatura de ebullición de la gasolina se encontraba entre 40 ° y 150 °C

3. Superior al punto de autoignición: No aplica

B. Presión baja: se penalizó con 0.50, ya que el equipo opera a presión baja a la atmósfera

C. Operación en condiciones de inflamabilidad

1. Líquidos inflamables almacenados en tanques en el exterior: No aplica

2. Alteración del proceso o fallo de purga: se penalizó con 0.30, consta con condiciones de inflamabilidad por fallo del equipo

3. Siempre en condiciones de inflamabilidad: No aplica

D. Explosión de polvo: No aplica

E. Presión de tarado: se penalizó con 1,7; porque la válvula de tarado opera a partir de los 3 PSI

F. Temperatura baja: No aplica

G. Cantidad de material inflamable

1. Líquidos o gases en procesos: se realizó una multiplicación de los kilos del material de la gasolina que es de 23.120 Kg por el poder calorífico que es de 10.510 Kcal/Kg o 11 Mcal/Kg

$$\text{Energía Gasolina} = \text{Combustible (Kg)} \times \text{poder calorífico}$$

$$\text{Energía Gasolina} = 23120 \times 11 \text{ Mcal/Kg}$$

$$\text{Energía Gasolina} = 254320 \text{ Mcal}$$

$$\text{Energía} = 0,0025432 \times 10^5 \text{ Mcal}$$

$$\text{Energía} = 0,0010 \times 10^9 \text{ BTU}$$

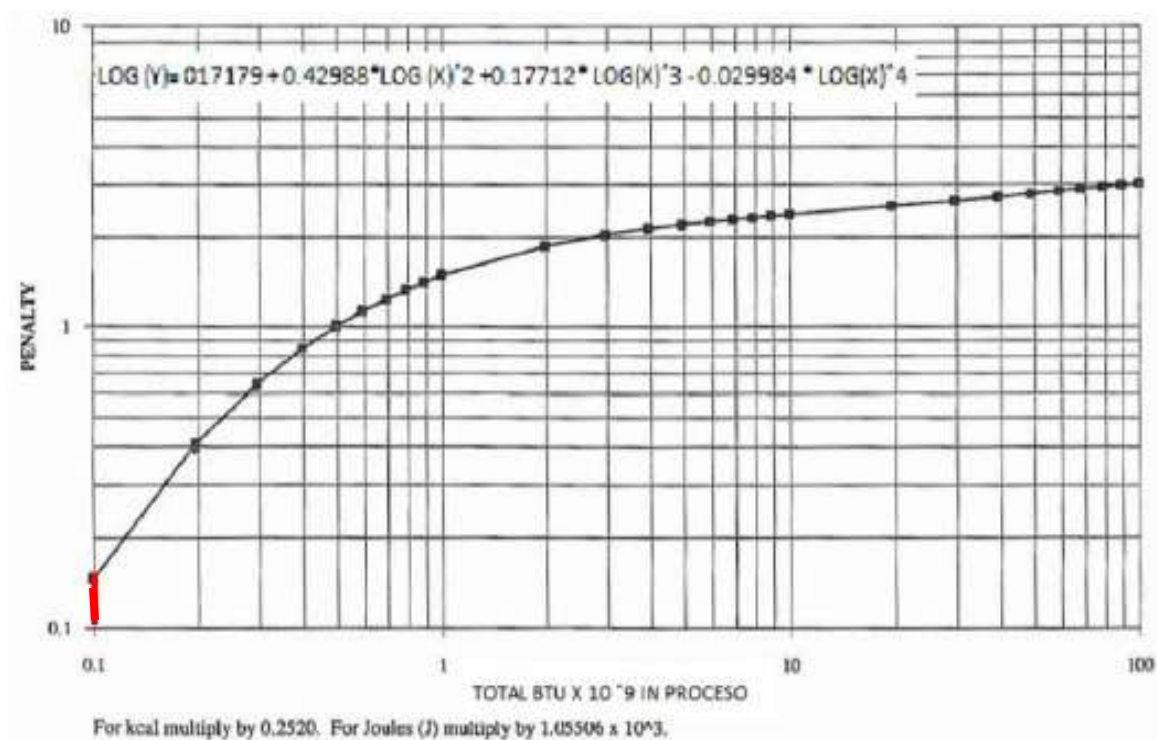


Figura 11. Ajustes para líquidos o gases en procesos
Dow Chemical Company, 1980

En la figura 12, podemos observar que al cruzar la línea vertical de la energía con la curva se obtuvo una penalización de 0.1

2. Líquidos o gases almacenados: En la Gasolinera P&S se almacena un aproximado de 9000 galones de gasolina súper que equivale a 34 m³, la densidad de la gasolina es de 680 Kg/m³, lo que nos dio como resultado 23120 Kg

$$\text{Energía Gasolina} = 23120 \times 11 \text{ Mcal/Kg}$$

$$\text{Energía Gasolina} = 254320 \text{ Mcal}$$

$$\text{Energía Gasolina} = 1,004 \times 10^9 \text{ BTU}$$

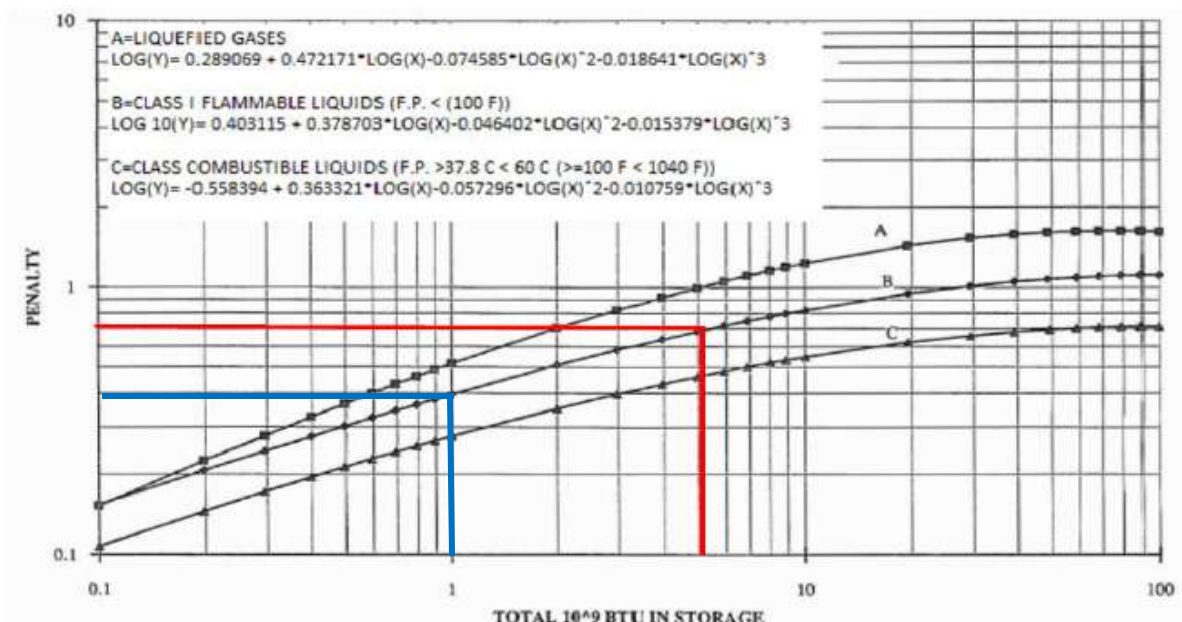


Figura 12. Ajuste para líquidos o gases en almacenamiento
Dow Chemical Company, 1980

En la figura 13, se puede observar que al cruzar la línea vertical de color azul de la energía total de la gasolina con la curva B (Líquidos inflamables clase I), se obtuvo una penalización de 0.4

3. Sólidos combustibles almacenados: No aplica

H. Corrosión y erosión: Tuvo una penalización de 0.10 ya que la velocidad de corrosión es menor 0.5 mm/año, según la Dow Chemical Company

J. Escape por uniones: se penalizó con 0.30 ya que involucra procesos que producen problemas de fugas

K. Uso de calentadores de fuego directo: No aplica

L. Sistemas de intercambio térmico con aceite caliente: No aplica

M. Equipos en rotación, bombas, compresores: No aplica

Tabla 22. Índice de incendio/exposición realizado a la Gasolinera P&S

ÍNDICE DE INCENDIO/ EXPLOSIÓN			
Localización:	Empresa:	Fecha:	
Guayaquil	Gasolinera P&S	9/4/2021	
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	
Milka Alvarado			
Estado de operación:	Unidad del proceso:	Material usado en el proceso:	
Diseño ()	Almacenamiento de gasolina	Gasolina	
Operación normal (x)			
FACTOR MATERIAL (FM)			16.0
1.RIESGOS GENERALES DEL PROCESO		Penalización	
FACTOR BASE		1	1
A. Reacciones exotérmicas		0.30 - 1.25	0.00
B. Reacciones endotérmicas		0.20 - 0.40	0.00
C. Transferencia y manejo materiales		0.25 - 0.85	0.85
D. Unidad de proceso cerradas		0.30 - 0.90	0.00
E. Acceso		0.35	0.00
F. Drenaje		0.25 - 0.50	0.25
FACTOR DE RIESGO GENERALES DEL PROCESO (F1)			2.10
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO			
FACTOR BASE		1	1
A. Temperatura del proceso			
1. Superior al punto de inflamación		0.30	0.30
2. Superior al punto de ebullición		0.60	0.00
3. Superior al punto de autoignición		0.75	0.00
B. Presión baja		0.50	0.50
C. Operación en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella			
1. Líquidos inflamables almacenados en tanques en el exterior		0.50	0.00
2. Alteración del proceso o fallo de purga		0.30	0.30
3. Siempre en condiciones de inflamabilidad		0.80	0.80
D. Explosión de polvo		0.25 - 2.00	0.00
E. Presión de tarado		0.15 - 1.95	0.17
F. Temperatura baja		0.20 - 0.50	0.00

G. Cantidad de material inflamable			
1. Líquidos o gases en procesos		0.15 - 3.00	0.10
2. Líquidos o gases almacenados		0.10 - 1.70	0.40
3. Sólidos combustibles almacenados		0.10 - 4.00	0.00
H. Corrosión y erosión		0.10 - 0.75	0.10
J. Escape por uniones		0.10 - 1.50	0.30
K. Uso de calentadores de fuego directo		0.10 - 1.00	0.00
L. Sistemas de intercambio térmico con aceite caliente		0.15 - 1.15	0.00
M. Equipos en rotación, bombas, compresores		0.50	0.00
FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2)			3.97
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD ($F1 * F2$) = F3			8.33
ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN ($F3 * MF$) = IIE			133.28

Alvarado, 2021

Inmediatamente, de realizar el cálculo se consiguió que el valor del índice de incendio y explosión es igual a 133.28 que de acuerdo con la Tabla 7, el grado de peligro para la Gasolinera P&S es Intenso.

Por otro lado, se define que un plan de contingencia establece un esquema de organización y métodos para enfrentar cada amenaza específica, es decir son instrucciones específicos por punto crítico para afrontar situaciones de calamidad, desastre o emergencia en un lugar y periodo determinado (Rodriguez, 2015).

Por lo que, se propuso un plan de contingencia contra incendio y explosión detallado a continuación:

- **Objetivo:** Prevenir y controlar los riesgos de incendio y explosión.
- **Alcance:** Está dirigido al personal de la empresa que debe ejercer la coordinación y toma de decisiones requeridas
- **Niveles de alerta:** Los sistemas de alerta se determinan según los niveles en el que se desarrolla el evento y se clasifican de la siguiente manera (Ver, Tabla 19):

Tabla 23. Clasificación de los niveles de alerta

Niveles de Alerta	Descripción
Nivel I – Alerta Verde:	Son todas las acciones de prevención y vigilancia, y se activa cuando las posibilidades de un fenómeno permiten prever la ocurrencia de un incidente
Nivel II – Alerta Amarilla:	Son las acciones de preparación y seguimiento cuando se está creando condiciones específicas potencialmente graves
Nivel III – Alerta Naranja	Son acciones de alarma y respuesta programada, cuando se han concretado las condiciones necesarias para que se presente el incidente
Nivel IV – Alerta Roja	Son acciones de respuesta inmediata cuando se tiene la manifestación del incidente produciendo efectos adversos a las personas, bienes o el ambiente

Rodríguez, 2015

- ✓ **Estructura Organizacional:** se propone que la empresa mantenga un grupo de talento humano formados y capacitados para cualquier eventualidad ocurrida, conformado por Jefe de emergencia, Coordinador de control incendio u explosión, Coordinador de primeros auxilios y Coordinador de evacuación (Ver, Figura 14).

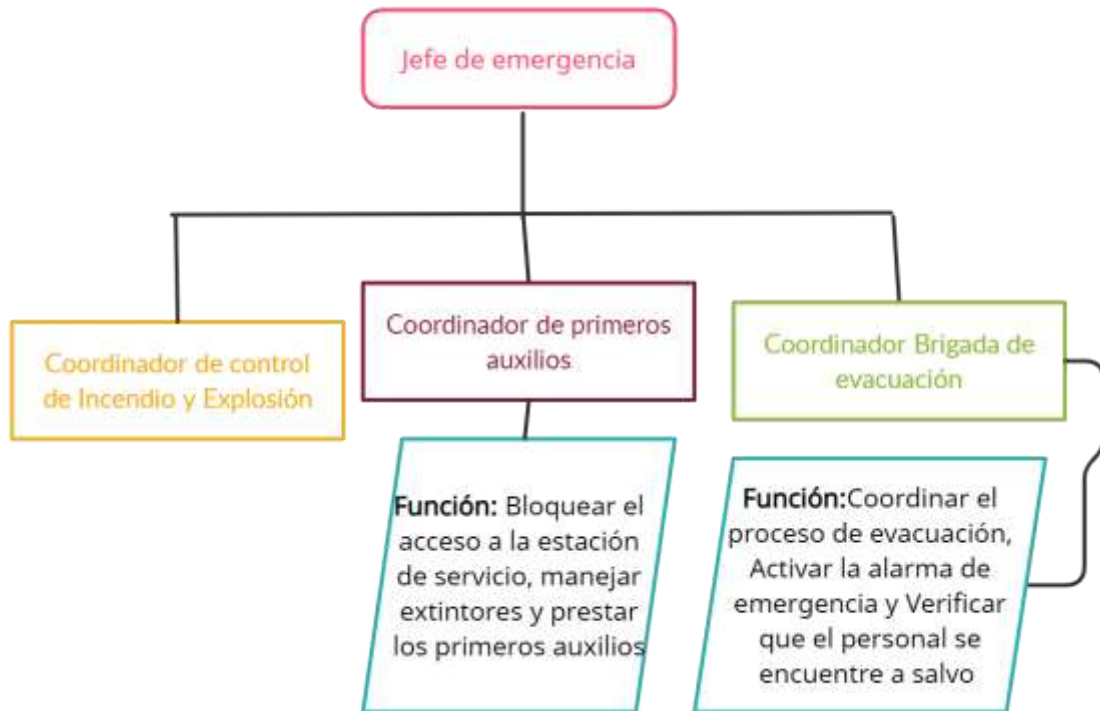


Figura 13. Estructura Organizacional para prevención y control de emergencias Alvarado, 2021

✓ **Actividades antes, durante y después del comité de emergencia:**

1. Jefe de Emergencia

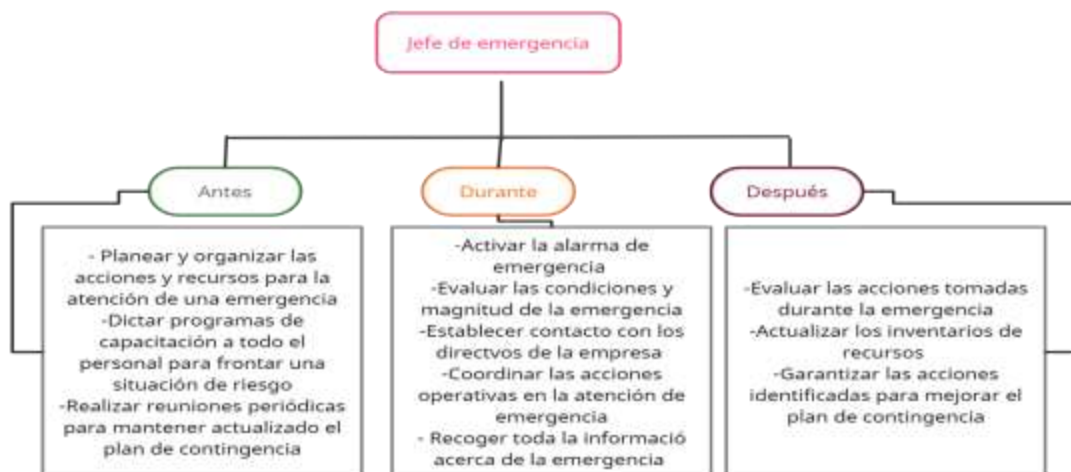


Figura 14. Actividades antes, durante y después del jefe de emergencia Alvarado, 2021

2. Coordinador de control de incendio y explosión

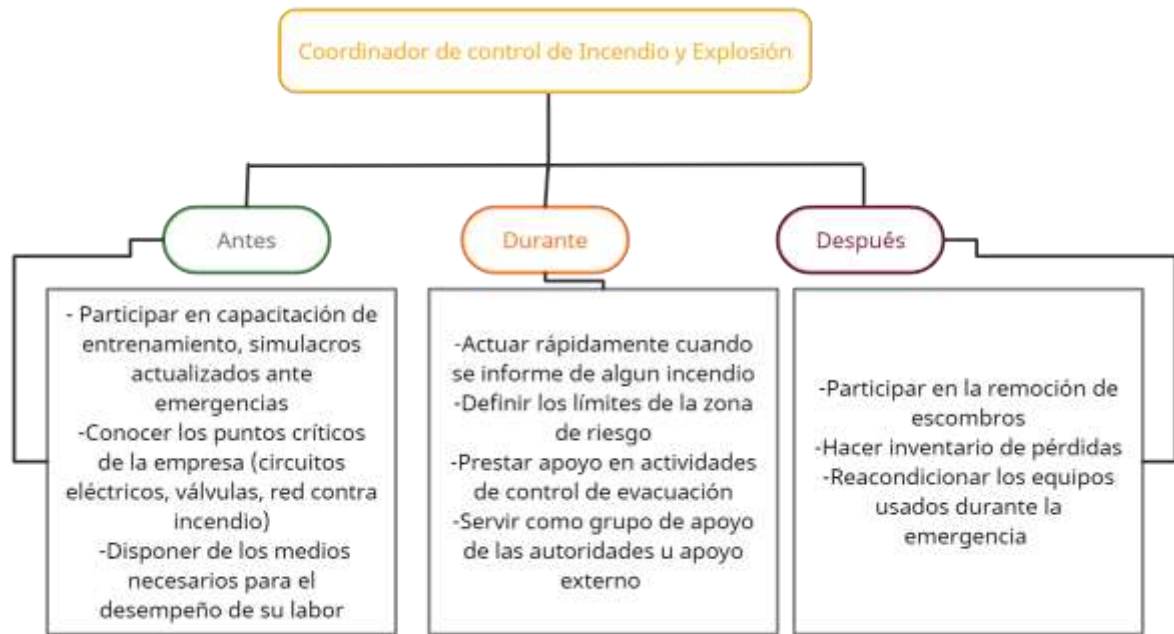


Figura 15. Actividades antes, durante y después del coordinador de control de incendio y explosión
Alvarado, 2021

3. Coordinador de primeros auxilios

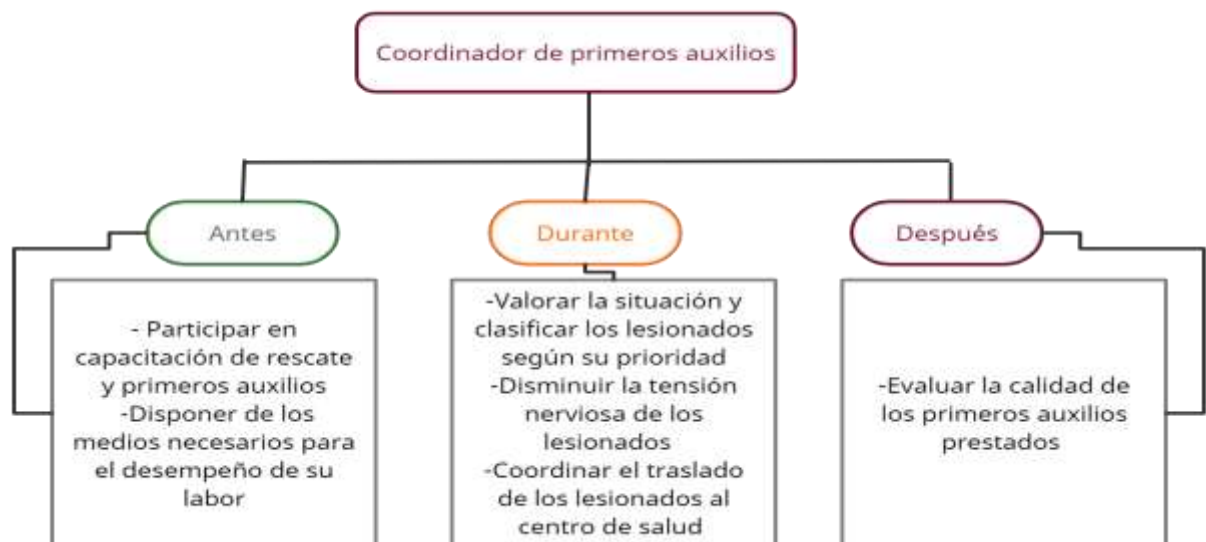


Figura 16. Actividades antes, durante y después del coordinador de primeros auxilios
Alvarado, 2021

4. Coordinador de la brigada de evacuación

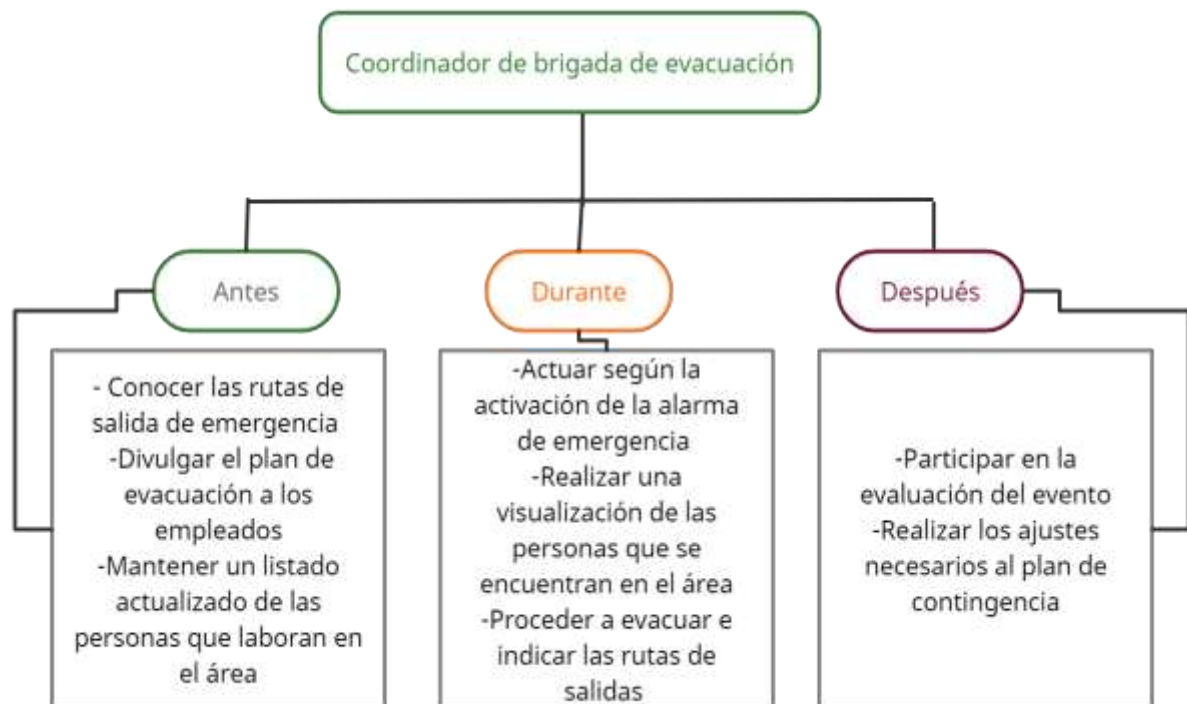


Figura 17. Actividades antes, durante y después del coordinador de brigada de evacuación
Alvarado, 2021

✓ **Procedimientos y acciones:** se propuso las siguientes acciones de contingencia según el incidente (incendio y/o explosión)

detalladas a continuación (Ver Tablas 19 y 20):

Tabla 24. Plan de contingencia contra incendio

PLAN DE CONTINGENCIA CONTRA INCENDIO			
AMENAZA:	Incendio	LUGAR:	Tanques de almacenamiento de gasolina
RESPONSABLE:	Jefe de emergencias		
NIVEL DE ALERTAS	PROCEDIMIENTO Y ACCIONES		
Alerta Verde	Prevención		
	✓ Realizar un control periódico a los tanques de almacenamiento de la gasolina		
	✓ Mantener fuera del alcance de fuentes de calor o chispas los tanques de almacenamiento de gasolina		
	✓ Verificar cantidad y estado de los extintores, así como su correcta ubicación y señalización		
	✓ Se revisará mensualmente todos los equipos de contra incendio, detección y alarma		
Alerta Amarilla	Preparación		
	✓ Identificar las rutas de ingreso y salida para que intervengan de acuerdo a la evolución del incendio los grupo de respuesta ante emergencia		
	✓ Alistar los recursos y servicios que son necesarios para la emergencia		
Alerta Naranja	Aislamiento para la respuesta		
	✓ Avisar el incendio al coordinador de emergencia de la empresa		
	✓ Evacuar las áreas afectadas		
Alerta Roja	Respuesta		
	✓ Activar la alarma de manera urgente		
	✓ Si el incendio es moderado usar extintores		
	✓ Comunicarse con emergencias al 911 o estación de bomberos cercanos del lugar		
	✓ Evacuar a las personas que se encuentren en la estación o zonas cercanas		
	✓ No encender ni utilizar teléfono celular en el lugar de riesgo		

Alvarado, 2021

Tabla 25. Plan de contingencia contra explosión

PLAN DE CONTINGENCIA CONTRA EXPLOSIÓN			
AMENAZA:	Explosión	LUGAR:	Tanques de almacenamiento de gasolina
RESPONSABLE:	Jefe de emergencias		
NIVEL DE ALERTAS	PROCEDIMIENTO Y ACCIONES		
Alerta Verde	Prevención		
	✓ Inspeccionar mensualmente las tuberías, válvulas y equipos de seguridad		
	✓ Solicitar anualmente inspección técnica		
	✓ Entrenar al personal sobre los procedimientos de emergencias establecidos y las técnicas de control de emergencia		
	✓ Establecer rutas de evacuación principal y alternas		
	✓ Velará de forma sistemática el cumplimiento de las normas y regulaciones preventivas de las instalaciones		
Alerta Amarilla	Preparación		
	✓ Observar presencia de hollín en las paredes, y si se percibe olor de combustible por posibles daños en las tuberías		
Alerta Naranja	Aislamiento para la respuesta		
	✓ Coordinar con el jefe de emergencias la evacuación del área de riesgo		
Alerta Roja	Respuesta		
	✓ Cerrar todas las válvulas de paso de combustible		
	✓ Poner en ejecución todas las medidas previstas en el plan		
	✓ Comunicarse con emergencias al 911		
	✓ Evacuar a las personas que se encuentren en la estación o zonas cercanas		
	✓ Seguir las instrucciones de las autoridades competentes		

Alvarado, 2021

5. Discusión

Luego de la visita de campo a la Gasolinera P&S, se pudo verificar que las explosiones por combustible son muy peligrosas si no se tiene un control del llenado de los tanques de almacenamiento de la gasolina, o del control de la temperatura del mismo, ya que este es un combustible muy inflamable que puede genera una gran detonación dando como consecuencia daños estructurales, pérdida de vidas humanas e incluso contaminación del aire que dificultan la mitigación del problema. Lo cual coincide con Leal (2015), la liberacion de gases tóxicos por explosiones a la atmósfera genera graves daños al medio ambiente.

Además, existe una alta probabilidad de ocurrencia de un escape de combustible en las estaciones de servicio, debido al sobrellenado de un tanque de almacenamiento de gasolina, el combustible puede salir en estado líquido desde una apertura en la parte superior del contenedor, por lo que una vez en el exterior la gasolina tiende a evaporarse fácilmente encontrando así alguna fuente de calor que provoque una explosión o también a la sobrepresión y alta temperatura del combustible inflamable en el tanque, lo cual concuerda con Godoy (2011), el llenado de un tanque sin el funcionamiento adecuado de un sistema de monitoreo se convierte en un punto clave de que exista un riesgo mayor como es la explosión en las gasolineras.

Por lo que, se efectuó una simulación usando el software ALOHA en tres tanques de almacenamiento de gasolina súper, que debido al aumento de la temperatura o sobrepresión generaron una explosión, avivando rápidamente la aceleración de las llamas, el proceso de producción de vapor y por ende de la

combustión, generando gases tóxicos como óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, dióxido de carbono, monóxido de carbono principalmente. Lo cual concuerda con Avilés (2018) que después de simular una explosión por combustible sirven para estimar las consecuencias y probables lesiones, así como el radio máximo seguro de incendio/explosión, emisión de gases tóxicos, que a su vez ayudarían al tratamiento de accidentes en situaciones de emergencia.

La gasolina por ser una mezcla de hidrocarburos tiene un punto de ebullición según el software ALOHA de 125°C y 1 atm de presión, por lo que si se expone al calor excesivo va a liberar gases inflamables y tóxicos (Anguieta, 2010). Ya que, los vapores tóxicos que se desprenden de una explosión o ignición por este combustible como es la gasolina son letales para la salud de las personas que pueden causar hasta su muerte. Lo que comprueba la indagación de Lagla (2015), que los tanques de almacenamiento de cualquier combustible peligroso e inflamable cerca de una zona residencial son de alto riesgo.

La propuesta de la evaluación en nivel de riesgo de accidente mayor llegó a indicar que la gasolinera se encontraba en un nivel de riesgo intenso, ofreciendo un plan de contingencia contra incendio y/o explosión adecuado e información clave que ayudó a evaluar el riesgo general. Lo que concuerda con la investigación de Aguirre (2014), determina que es necesario proponer medidas de prevención de riesgos laboral y protección contra incendio, si se maneja combustibles altamente peligrosos.

6. Conclusión

Los tanques de almacenamiento de gasolina súper, respetaban las normas requeridas por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrfero para el cumplimiento de las normas técnicas y seguridad del área de almacenamiento de la Gasolinera P&S.

Mediante la simulación del software ALOHA se concluye que los gases contaminantes afectan gravemente a la salud de los seres humanos si se encuentran expuestos a más de 60 minutos, con emisiones al aire del 33% para CO₂ lo que es igual a 330.000 ppm con una distancia de 319.12 m a la redonda, 30% para SO₂ lo que es igual a 300.000 ppm con una distancia de 325.59 m a la redonda y con un 2% para NO_x lo que es igual a 20.000 ppm con una distancia de 342.84 m siendo estos valores de una afectación mayor (Zona roja), además en base a datos obtenidos en esta investigación se concluye que a mayor cantidad de gasolina quemada mayor serán las emisiones de gases contaminantes al aire.

Así mismo, se concluye que mediante la simulación del software ALOHA en caso de explosión de los tanques de almacenamiento de gasolina súper, se refleja que el tanque de almacenamiento de gasolina de mayor afectación es el de 9100 galones, que a los primeros 60 segundos generó un radio de afectación mayor (Zona roja) con riesgo de muerte a los 356.6 m a la redonda, donde existe también mayor probabilidad de pérdidas económicas, una afectación moderada (Zona naranja) de 503.8 m y una afectación menor (Zona amarilla) de 786.3; además se observa una bola de fuego generada por la explosión de hasta 178 yardas o el equivalente a 162 metros y su duración de 11 segundos.

Así mismo, se pudo determinar que la liberación de este combustible inflamable afectó principalmente a los habitantes de la Cooperativa Eloy Alfaro, Nuevo Ecuador 2, 29 de Abril y Mandela; y con una afectación moderada a baja las Cooperativas 4 de Marzo, Nuevo Ecuador 1, Mandela 2, 7 de Octubre, 4 de Septiembre, 12 de Octubre, Jacobo Bucaram y Desarrollo Comunal que se encuentren en los alrededores de la Gasolinera P&S.

El estudio del cálculo del índice de incendio/explosión, también llamado Índice de Dow generó un valor numérico de 133.28, por lo que coloca el grado de peligro para la Gasolinera P&S – Av. Perimetral como INTENSO, lo que se entiende por lo que almacena y distribuye una gran cantidad de combustibles inflamables y peligrosos.

Finalmente se propuso un plan de contingencia contra incendio y explosión en caso de que ocurra una emergencia de tal magnitud.

7. Recomendaciones

Se recomienda el uso del Software ALOHA para estudios de contaminación del aire y simulaciones de explosiones de combustibles inflamables.

Se recomienda socializar los datos registrados en el presente estudio a la gasolinera que ha sido parte de este análisis, para la toma de acciones de mitigación en caso de ser necesario.

Se recomienda a las autoridades reguladoras de los aspectos ambientales en promover campañas y talleres orientados a la prevención de riesgos laborales para mitigar los accidentes de incendio/explosión.

Se recomienda que la entidad ambiental realice inventarios de emisiones de los gases contaminantes de todos los accidentes de incendio/explosión suscitados en las gasolineras de la ciudad de Guayaquil, que ayudará a respaldar la información de la presente investigación.

Se recomienda realizar más estudios o investigaciones sobre los riesgos de incendio/explosión en las gasolineras de Guayaquil, además de realizar un diseño e implementación de un sistema automático de monitoreo de pérdida de fluidos en los tanques de almacenamiento de combustible que indique a través de alarmas la existencia de fugas.

Se recomienda a las gasolineras realizar simulacros de explosiones o incendios por combustible al personal y evaluar si los trabajadores se encuentran preparados para actuar ante una emergencia.

Se recomienda por parte de la Universidad Agraria del Ecuador, seguir motivando este tipo de estudios con el propósito de ampliar y fortalecer las líneas de investigación base que se dejan planteadas en el presente estudio.

8. Bibliografía

- Anguieta, M. (2010). Diseño de un plan de emergencia contra incendios (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Arévalo, R. (2010). Adaptación de un sistema dual de combustible en un motor de cuatro tiempos 125cc a carburador en un banco de pruebas , para análisis de funcionamiento en gasolina y etanol (Tesis de grado). Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
- Avilés , D. (2018). Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del parque industrial de la ciudad de Cuenca, mediante los software Screen View 3 y Disper 5.2 (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Balbi, K. (2015). Evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos y sus potenciales efectos frente a eventuales emergencias químicas (Tesis de grado). Universidad Nacional de la Plata , Argentina.
- Bejarano, M., & Prieto, F. (2014). Estudio de la intoxicación por monóxido de carbono y otros gases en Colombia notificados al sivigila (Tesis de grado). Universidad de ciencias aplicadas y ambientales - UDCA, Colombia.
- Bestratén , M. (2019). Explosiones Bleve (I): evaluación de la radiación térmica. *Ministerio de trabajo y asuntos sociales España*, 1.
- Bonilla, J. (2015). *Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (Bleve) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident. El Sevier*.
- Carnicer, J. (2008). *Contaminación Atmosférica*. Escuela de negocios EOI, Colombia. Obtenido de <https://www.eoi.es/es/file/18607/download?token=DQeBhR8t>

- Díaz, F. (2006). Análisis de consecuencia y zonas de planificación para explosiones industriales accidentales (Tesis de grado). Universidad de Murcia , España.
- DowChemicalCompany.(1980).Obtenidodehttps://www.academia.edu/9664680/index_y_explosion_dow_chemical_company_no_se_hace_responsable_de_la_aplicacion_de_esto_manual
- ElUniverso.(2020).*ElUniverso*.Obtenidode<https://www.eluniverso.com/larevista/2020/03/17/nota/7785903/moviles-gasolinera-prohibicion-ecuador-uso>
- Encalada , F., & Ñauta, P. (2010). Incidencia del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustible comercializados en la ciudad de Cuenca (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador.
- Flores, F. (2016). *NFPA*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/Codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-Standards>
- Gálvez , R. (2020). Evaluación del nivel de riesgo de incendio y explosión en las estaciones de servicio de combustible del cantón Loja en el 2019, a través del método Índice Dow y la estimación de las zonas de amenaza con el software informático ALOHA (Maestría). Universidad del Azuay, Ecuador.
- García , S. (2008). *Manual de seguridad en plantas químicas y petroleras* . España.
- Gavilanes, M. (2015). Determinación de factores de vulnerabilidad ante una amenaza de origen antrópico en la estación de bombeo de hidrocarburos (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Godoy, L. (2011). Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e infraestructuracivil.Obtenidode<https://core.ac.uk/download/pdf/296528199.pdf>

Gregory, W. (2006). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Referencias.

Guowei, M. (2019). *Safety assessment of explosions during gas stations refilling process*(Vol.60).Obtenidode<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423018308751>

Hampson, N. (2000). Carbon monoxide poisoning. *El Sevier*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X99002176>

Jacobson , M. (2002). *Atmospheric Pollution*. Estados Unidos: Cambridge University Press.

Jian,L.(2018).*Hindawi*.Obtenidode<https://www.hindawi.com/journals/jat/2018/6248105/>

Lagla, A. (2015). Análisis de riesgos de incendio y accidentes mayores en gasolineras y estaciones de servicio que expenden líquidos combustibles en el Distrito Metropolitano de Quito (Maestría). Universidad Privada de Quito, Ecuador.

Leal, I. (2015). Determinación de modelos de dispersión de gases emitidos por procesos industriales en el Valle de Aboño (Postgrado). Escuela Politécnica de Mieres, España.

Marplot.(Febrerode2007).*Citese*.Obtenidode<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.398.6104&rep=rep1&type=pdf>

Matheu, H. (2014). Determinación de riesgo de accidente mayor y su influencia en las áreas de alerta y seguridad de la empresa Agrocueros (Maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Matute , D., & Ramos, R. (2015). Análisis de las emisiones producidas en la quema de combustible líquidos obtenidos en el proceso de pirólisis de caucho

- vulcanizado (Tesis de grado). Universidad politécnica salesiana sede Cuenca , Ecuador.
- Medina , V., Rodríguez, M., & Gómez, K. (2018). Protocolo de Identificación de Riesgos para Gasolineras (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México.
- Molina, M., & Astudillo, E. (2016). Diagnóstico de la gestión de derrames de hidrocarburos en gasolineras (Tesis de grado). Universidad Espíritu Santo, Ecuador.
- Moon, J. (2013). *Analysis of Gas Explosion Consequence Models for the Explosion Risk Control in the New Gas Energy Filling Stations*. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie302511d>
- Musso, E., & Boemo, A. (2002). Concentraciones de ozono y de dióxido de nitrógeno en la troposfera de Salta (Tesis). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Obtenido de https://www.who.int/topics/air_pollution/es/
- Pérez, D. (2017). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales Study of polluting emissions using local fuels (Tesis de grado). Universidad Internacional del Ecuador , Ecuador.
- Rolf, D. (2017). *Knocking combustion in spark-ignition engines* (Vol. 61). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128516300764>
- Saham, S. (2017). *Heat transfer enhancement and fuel consumption reduction in heaters of CGS gas stations* (Vol.10). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X16300818>

- Sánchez, J., Ruiz, S., & Pino, P. (2001). Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncaví. *Scielo*. Obtenido de <https://www.scielosp.org/article/rpsp/1999.v6n6/384-391/es/>
- Téllez, J. (2006). *Scielo*. Obtenido de [https://www.scielosp.org/article/rsap/2006.v8n1/108117/es/#:~:text=el%20mon%20c3%b3xido%20de%20carbono%20es%20un%20gas%20incoloro%20e%20inodoro,latina%20\(1%2c2\).](https://www.scielosp.org/article/rsap/2006.v8n1/108117/es/#:~:text=el%20mon%20c3%b3xido%20de%20carbono%20es%20un%20gas%20incoloro%20e%20inodoro,latina%20(1%2c2).)
- Tipanluisa, L. (2017). Emisiones contaminantes de un motor de gasolina funcionando a dos cotas con combustibles de dos calidades (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Torres, A. (2008). Aplicación práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. *Eoi*, 2627. Obtenido de <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45570.pdf>
- Valdivieso, J. (Marzo de 2015). Determinación del nivel de riesgo de incendio en una estación de distribución de combustible (Tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Vergara, E., & Melero, A. (2005). Atmospheric dispersion model for evaluating releases of hazardous chemical vapors (Tesis de grado). Universidad de la Rioja, España.
- Yongkui, L. (2018). Failure modes and effects analysis (FMEA) for the security of the supply chain system of the gas station in China. *El Sevier*.

9. Anexos

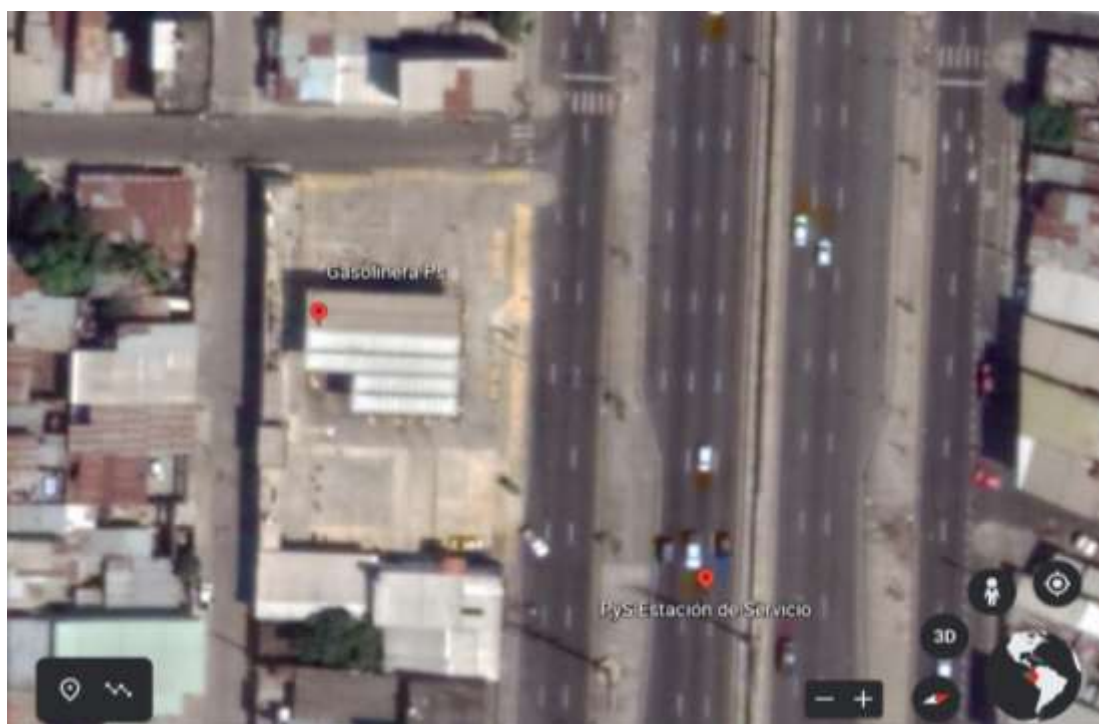


Figura 18. Ubicación de la Gasolinera P&S
Google Earth, 2020



Figura 19. Tetraedro del Fuego
Flores, 2016

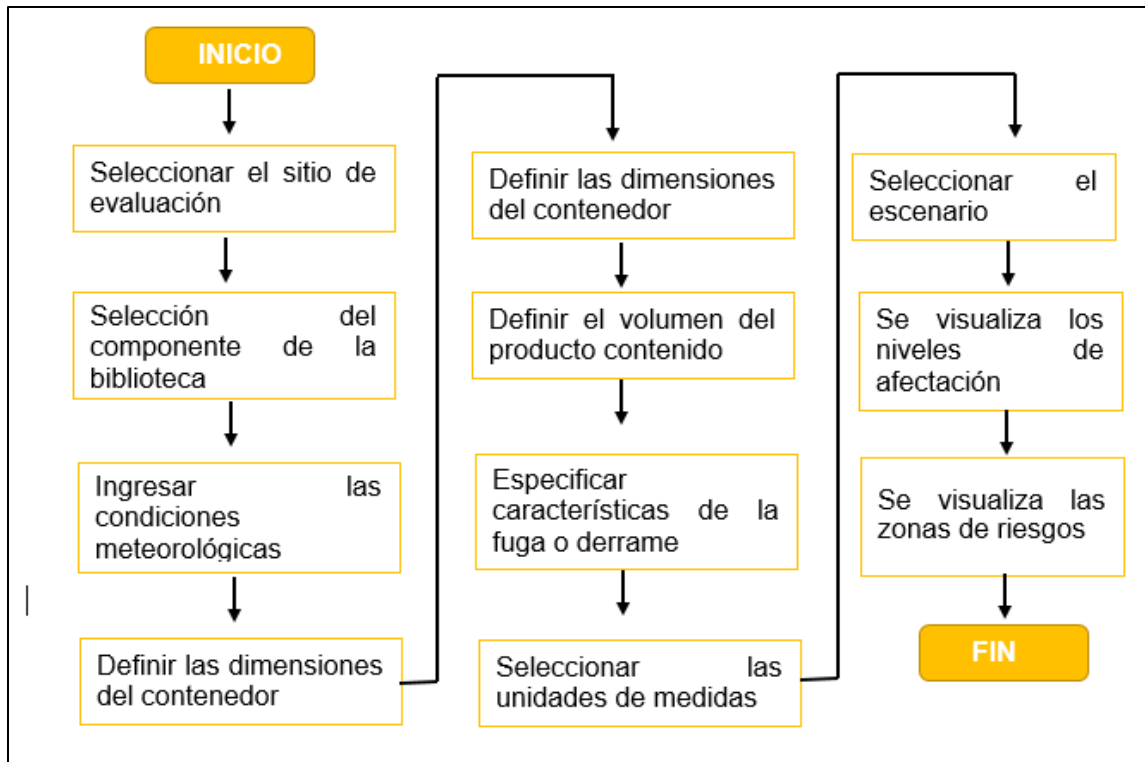


Figura 20. Procedimiento de aplicación del software ALOHA
Gálvez , 2020

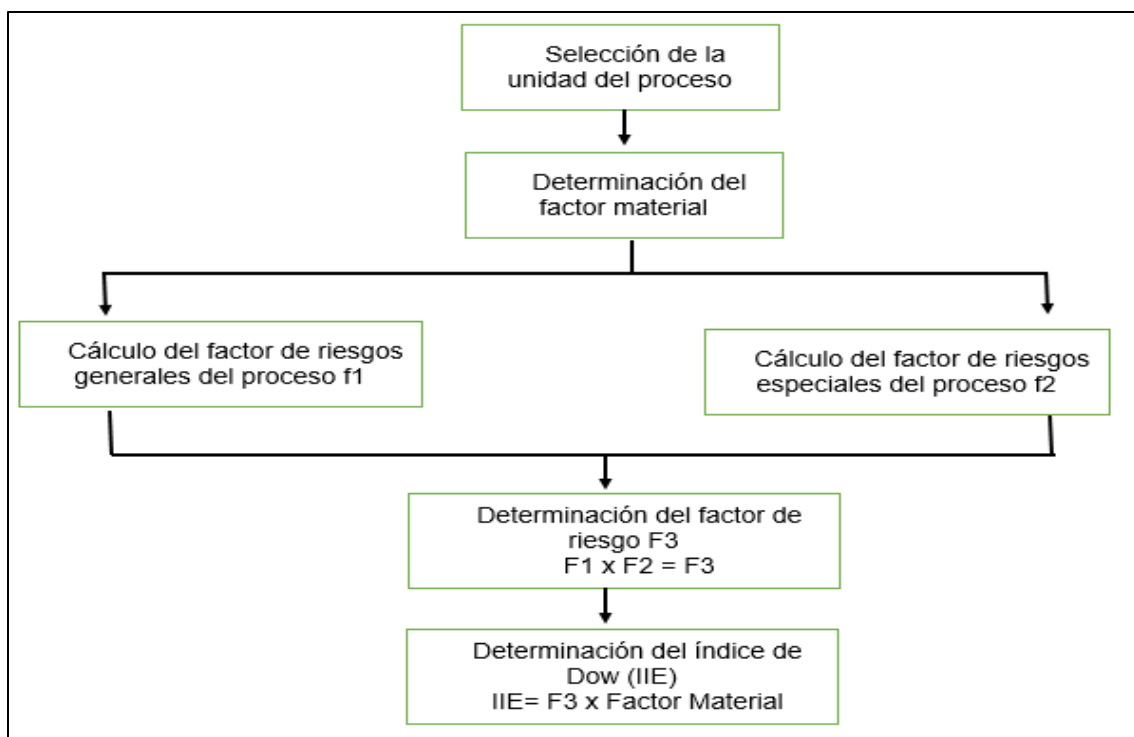


Figura 21. Esquema del procedimiento del cálculo del índice de Dow
Gálvez, 2020