

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ
MIGUEL CARRERA

**PLAN DE PROTECCIÓN PARA LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR
FRENTE A INCENDIOS FORESTALES**

Trabajo de Titulación para optar
al Título de Ingeniero en
PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES Y
AMBIENTALES

Alumno:

Sr. Danny Antonio Bahamondes González

Profesor Guía:

Ing. Alex Rojas Gutiérrez.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Plan de Protección Para la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar Frente a Incendios Forestales

Nombre del candidato(a): Danny Antonio Bahamondes González

Carrera / Grado: Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales

Campus: Viña del Mar Departamento: Construcción y Prevención de Riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Alex Rojas Gutiérrez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

X El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24-10-2025 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 24-10-2025 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a todas las personas que han contribuido de manera directa e indirecta a la realización de este trabajo de título.

En segundo lugar, quiero agradecer a todos mis profesores Alex Rojas, Claudio Acuña, Sebastián Amaro por brindarme su apoyo incondicional durante mi periodo universitario y término de esta etapa tan prolongada, pero con mucha experiencia adquirida.

En tercer lugar, a mi psicólogo Igor Valdenegro que me ayudó y acompañó durante este largo proceso para convertirme en un profesional y eliminar todo obstáculo ocasionado por una mente perturbada y dañada.

En cuarto lugar, a mis abuelos Nolberto Alvarado y Josefina Letelier por ser un apoyo en esta etapa universitaria.

En quinto lugar, agradecer a mi padre Danny Bahamondes y Macarena González mi madre y por su comprensión, ayuda y motivación para seguir adelante durante este último periodo, a pesar de la distancia esto no justifica el hecho de no tenerlo presente en mi vida.

En sexto lugar, quiero agradecer a mi amigo más cercano Jorge Bustos Aballay por su compañía y motivación hacia mi persona durante este periodo.

En séptimo lugar, agradecer a mis amistades y colegas de la carrera de ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y ambientales por su compañía y ayuda mutua durante estos años universitarios extensos.

En octavo lugar, a mi grupo de amigos que me acompañaron durante mi proceso de sanación y siempre estuvieron para mí: Javiera Muñoz, Aylin Astudillo, Macarena Santander, Kandra Aróstica, Francisco Ramírez, José Palacios, Felipe Villagra, Edgard Vilo, Daniel Gajardo, Patricia Serrano, Diego Aguilera, Juan Pablo Cáceres, Iván Pérez, Darío Bustos y Héctor Velásquez. Siempre estaré eternamente agradecido por su ayuda.

En noveno lugar, agradecer a mi amiga especial Tiare Rivera por su apoyo a mi persona durante los momentos más difíciles de mi etapa psicológica.

En décimo lugar, a mi pareja Mariel Castillo por enseñarme lo que es el amor real, sincero y recíproco.

Finalmente quiero agradecerme a mi persona por no rendirme durante un periodo de depresión extenso. Gracias a mí por seguir adelante y seguir apreciando lo hermoso que es vivir.

“Todo hombre herido se ve forzado a la metamorfosis. El deseo constante de morir y de seguir resistiendo, sólo eso es el amor.”

- Franz Kafka | La Metamorfosis.

RESUMEN

KEYWORDS: PLAN; INCENDIO FORESTAL; UNIVERSIDAD; PROTECCIÓN;

En el tema principal de la presente tesis se propuso un plan de protección y respuesta ante incendios forestales para la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) específicamente la sede Viña del Mar, combinando principalmente la evaluación de dos puntos críticos distribuidos dentro de las instalaciones y analizando un posible escenario catastrófico donde ocurra una explosión de gas de vapor no confinado o el fenómeno Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE).

Después de analizar los escenarios se entregó una serie de medidas defensivas seleccionadas de manera que los resultados de un posible incendio forestal no afectaran las inmediaciones y el daño causado al entorno fuera mínimo.

La metodología de este estudio se estructuró en varios capítulos. En el primer capítulo se profundizó en la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar, desde su propósito y más específicamente en su ubicación donde está expuesta a que se llevara a cabo un incendio forestal por su área verde y boscosa.

El segundo capítulo se dividió en dos partes. En la primera, se presentó el marco teórico, detallando los orígenes de un incendio forestal, las variedades de un incendio, temperaturas y las distintas medidas defensivas generales para cualquier establecimiento. La segunda parte abordó el marco legal relevante para la implementación de estas herramientas de evaluación en el entorno.

El tercer capítulo se llevó a un diagnóstico con resultados obtenidos de radio de explosión en función a la distancia y el BLEVE a las dos zonas críticas ubicadas dentro de la Universidad.

En el cuarto capítulo, se diseñaron diversas medidas preventivas para una mejora significativa en el área de medio ambiente y cuidado de las dos zonas críticas dentro de las instalaciones universitarias.

Finalmente, en la conclusión del estudio se propondrá la realización de cualquier medida defensiva en esta tesis para mejorar el bienestar estudiantil y así mejorar significativamente la prevención y cuidado de nuestro entorno.

GLOSARIO

UTFSM: Universidad Técnica Federico Santa María.

CONAF: Corporación Nacional Forestal. Entidad encargada de la prevención, detección y combate de incendios forestales en Chile.

SENAPRED: Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres.

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion O Explosión de Vapor de Líquido en Ebullición.

EVNC: La explosión de vapor de gas no confinado es la ignición explosiva de una nube de gas inflamable que se encuentra en un espacio amplio, cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición.

IUR: Interfaz Urbano Rural.

microorganismos edáficos: organismos que viven en el suelo (hongos, bacterias).

Hidrofobicidad: Capacidad que tiene un material de repeler el agua de su superficie, es decir, no absorber agua.

Silvopecuario: Sector económico que abarca actividades agrícolas, forestales y ganaderas.

Deflagración: explosión en la que la velocidad de la llama es inferior a la velocidad del sonido.

INDICE	
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
GLOSARIO.....	4
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
METODOLOGIA	12
ALCANCE.....	13
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA UNIVERSIDAD.....	14
TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR.....	14
1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA	15
1.1.2 HISTORIA DE ORIGEN DE LA UNIVERSIDAD SANTA MARÍA	16
1.1.3 EVOLUCIÓN Y EXPANSIÓN	16
1.1.4 OFERTA ACADEMICA.....	18
1.1.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR.....	20
1.1.6 ESTABLECIMIENTOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR.....	21
1.1.7 UBICACIONES DENTRO DE LA SEDE VIÑA DEL MAR.....	22
1.2 GESTIÓN PREVENTIVA DESARROLLADA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MÁRIA SEDE VIÑA DEL MAR.....	25
1.2.1 MARCO GENERAL.....	25
1.2.2 AREAS CLAVES.....	25
CAPÍTULO 2: MARCO TÉORICO Y LEGAL.....	26
2.1 MARCO TEORICO	27
2.1.1 ¿QUE ES UN INCENDIO FORESTAL?	27
2.1.2 IGNICIÓN.....	27
2.1.3 PROPAGACIÓN	28
2.1.4 ZONAS AFECTADAS	30
2.1.5 TEMPERATURA	33
2.1.6 VIENTO	34
2.1.7 QUEBRADAS	36
2.1.8 CÁLCULO PROPAGACIÓN DE INCENDIO.....	37
2.1.9 EXPLOSIÓN DE VAPOR DE GAS NO CONFINADO	38
2.1.10 BLEVE.....	38
2.1.11 ORGANIZACIONES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES	40
2.1.12 CORTAFUEGOS.....	43
2.1.13 ESTANQUE DE AGUA.....	44
2.2 MARCO LEGAL.....	45
2.2.1 LEYES DE INCENDIO	45
CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD DE PERSONAS Y INSTALACIONES	47
3.1 ESTIMACIÓN DE EFECTOS EN CASO DE EVNC Y BLEVE.....	48
3.2 PUNTOS CRITICOS	48

3.2.1 PUNTO CRITICO “A” CANCHA DE PASTO.....	48
3.2.2 PUNTO CRITICO “B” COMEDOR Y FOTOCOPIADORA.....	49
3.3 CALCULO RADIO DE EXPLOSIÓN EN FUNCIÓN A LA DISTANCIA.....	50
3.3.1 CALCULO PUNTO CRITICO “A” CANCHA DE PASTO.....	50
3.2.2 CALCULO PUNTO CRITICO B	54
3.3 BLEVE.....	58
3.3.1 EXPLOSIÓN BLEVE ZONA CRITICA “A” CANCHA DE PASTO.....	58
3.3.2 BLEVE ZONA COMEDOR	65
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE PLAN DE PROTECCIÓN.....	73
DE LA SEDE VIÑA DEL MAR FRENTE A INCENDIOS FORESTALES	73
4.1 MEDIDAS PREVENTIVAS.....	74
4.2 PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN	75
4.2.1 PROGRAMA DE MEDIDAS DEFENSIVAS.....	76
4.2.2 CORTAFUEGOS ACTUAL	77
4.2.3 ACTIVIDAD DE LIMPIEZA Y PODA DE VEGETACIÓN.....	78
4.2.4 INSPECCIONES PERIÓDICAS	81
4.2.5 IMPLEMENTACIÓN ESTANQUE DE AGUA.....	81
4.2.6 CORTAFUEGOS ZONA CRITICA 1 Y 2	85
4.2.7 ORGANIZACIONES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES.	86
4.2.8 MANTENIMIENTO ESTANQUES GAS LICUADO PROPANO	88
4.2.9 REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA DEL FUEGO (GRIFOS, MANGUERAS, POTENCIA DE AGUA).	89
4.2.10 PROPUESTA DE COMUNICACIÓN Y DE DIFUSIÓN SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES.....	89
4.3 COTIZACIÓN FINAL (PRECIOS ESTIMADOS)	93
4.3.1 COTIZACIÓN ESTANQUE DE HORMIGÓN 100.000 LITROS (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR).....	93
4.3.2 COTIZACIÓN CORTAFUEGOS EXPANSIÓN DEL ACTUAL Y EL DE ZONAS CRÍTICAS “A” Y “B” CON APOYO DE VOLUNTARIOS (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR). .	93
4.3.3 COTIZACIÓN MANTENIMIENTO ESTANQUES DE GLP (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR).....	94
4.3.4 COTIZACIÓN ACTIVIDADES DE MEDIDAS DEFENSIVAS Y DIFUSIÓN	94
4.4 COTIZACIÓN FINAL TOTAL (PRECIOS ESTIMADOS)	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXO I	100
ANEXO II.....	102
ANEXO III.....	103
ANEXO IV	104
ANEXO V	105
ANEXO VI.....	105
ANEXO VII.....	106
ANEXO VIII.....	107
ANEXO IX.....	110
ANEXO X	111

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1-1. Captura satelital de las inmediaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar. 15

Figura 1-2: captura satelital amplia de las zonas consumidas por el incendio forestal cerca de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar. 20

Figura 1-3: captura extraída desde Planet Scopes donde muestra la zona afectada por el incendio forestal en el año 2024. 20

Figura 1-4: Plano estructurado de la Universidad destacando las instalaciones que posee dentro 21

Figura 2-1: muestra las proporciones de incendio a lo largo del país en zonas urbano-rurales y ciudades. 32

Figura 2-2: Logo CONAF actual 40

Figura 2-3: Logo SENAPRED actual..... 41

Figura 2-4: Logo de bomberos de Chile actual 42

Figura 2-5 Logo defensa civil 43

Figura 3-1: captura simulada del radio de explosión de 23, 75 y 100 metros desde el punto crítico A. 50

Figura 3-2: captura simulada del radio de explosión de 30, 50 y 100 metros desde el punto crítico B. 54

Figura 3-3: Representación esquemática del cálculo del BLEVE. 58

Figura 4-1: Representación cortafuegos natural dentro de la Sede viña del mar. 77

Figura 4-2: Representación de las zonas críticas donde rojo es nivel alto, amarillo medio y verde bajo..... 82

Figura 4-3: Representación distancia desde zona critica a la Universidad. 82

Figura 4-4: Representación ubicación de estanque de agua cerca de la cancha de pasto.... 83

Figura 4-5: Representación ubicación de estanque de agua cerca de la entrada portón sur. 83

ÍNDICE DE IMAGENES.

Imagen 1-1: Fotografía entrada principal de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar..... 22

Imagen 1-2: Fotografía Plaza Cívica de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar..... 22

Imagen 1-3: Fotografía del comedor y estacionamiento de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar. 23

Imagen 1-4: Fotografía pasillo donde se distribuyen distintos talleres en la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar. 23

Imagen 1-5: Fotografía donde se ubica la fotocopidora de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar. 24

Imagen 1-6: Fotografía laboratorios de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar..... 24

Imagen 2-1: incendio de suelo en una zona forestal..... 28

Imagen 2-2: incendio superficial consumiendo vegetación. 29

Imagen 2-3: Incendio de copa en las inmediaciones del jardín botánico. 29

Imagen 2-4: Incendio secundario que muestra el momento donde cae ceniza lejos del foco principal. 30

Imagen 2-5: Las llamas consumen una casa durante la madrugada, cerca de la ciudad de Santa Juana (Chile) zona habitada por personas. 31

Imagen 2-6: ejemplo de una quebrada en Valparaíso donde existe vegetación. 36

Imagen 2-7: fotografía ubicación punto crítico A. 48

Imagen 2-8: fotografía ubicación punto crítico B. 49

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1: descripción de efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo.. 33

**Tabla 3-1: muestra la formula y los distintos riesgos expuestos a las diferentes
sobrepresiones 52**

Tabla 3-2: resultados punto crítico A..... 53

..... 54

**Tabla 3-3: muestra la formula y los distintos riesgos expuestos a las diferentes
sobrepresiones 56**

Tabla 3-4: Resultados punto crítico B..... 57

Tabla 3-5: Variación de los diferentes flujos de radiación con sus respectivos efectos..... 64

Tabla 3-6: Resultados de radiación con sus respectivos efectos..... 65

Tabla 3-7: Variación de los diferentes flujos de radiación con sus respectivos efectos..... 71

Tabla 3-8: Resultados de radiación con sus respectivos efectos..... 72

Tabla 4-1: programa de medidas defensivas 77

Tabla 4-2: Diagrama de actividades del cortafuegos natural. 78

Tabla 4-3: diseño del cortafuegos natural 78

Tablas 4-4: Diagrama de actividades..... 80

Tablas 4-5: Tabla de inspecciones. 81

Tabla 4-6: datos del estanque de agua. 84

Tabla 4-7: Tabla informativa con el diseño del cortafuegos..... 85

Tabla 4-8: cronograma de implementación de cortafuegos..... 86

Tabla 4-9: Organizaciones para la protección contra incendios. 87

Tabla 4-10: Protocolo de mantenimiento..... 88

Tabla 4-11: Tabla con información sobre la evaluación de infraestructura. 89

Tabla 4-12: Tabla con información sobre los medios de difusión. 90

Tabla 4-13: Tabla con información sobre posibles actividades presenciales. 91

Tabla 4-14: Tabla informativa sobre la feria. 92

Tabla 4-15: cotización de valores del estanque de hormigón..... 93

Tabla 4-16: cotización de valores del cortafuego. 94

Tabla 4-17: cotización de valores de la mantención de estanques GLP..... 94

Tabla 4-18: cotización de valores de las medidas preventivas..... 94

INTRODUCCIÓN

La Universidad Técnica Federico Santa María, sede Viña del Mar, se encuentra ubicada en una región de Chile donde su tasa de exposición frente a incendios forestales es muy alta debido a su clima de tipo mediterráneo, caracterizado por veranos calurosos, secos y vientos intensos. Estos factores sumados a una vegetación que actúa como combustible natural en quebradas y zonas aledañas, convierten a este sector en un área crítica de riesgo.

Los incendios forestales en esta zona no solo representan una amenaza para el entorno de la biodiversidad y el equilibrio ecológico de la región, sino también se expone la seguridad de estudiantes, docentes y funcionarios, así como la integridad de la infraestructura educativa. En este contexto, resulta prioritario contar con la elaboración de un plan de protección contra incendios forestales para la Universidad que permita anticipar, mitigar y responde de la manera más efectiva a emergencias asociadas con este tipo de fenómenos.

La presente investigación surge como una respuesta a esa necesidad y tiene por objetivo desarrollar un plan de protección frente a incendios forestales para la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. En el presente plan se integra la identificación de áreas vulnerables dentro de la Sede, la evaluación de escenarios de riesgo incluyendo explosiones asociadas al almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP) bajo las condiciones de un incendio forestal. Entregando la propuesta de medidas de protección que contribuyan a salvaguardar la seguridad de la comunidad y la continuidad académica.

El estudio se enfoca en analizar los riesgos específicos que enfrenta la Universidad y desarrollar medidas preventivas ante la eventualidad de un incendio forestal, promoviendo una cultura de seguridad y de esta manera estar preparados para un suceso de catástrofe como fue el mega incendio del mes de febrero del año 2024 donde se consumieron más de 8500 hectáreas y 15.500 viviendas afectadas.

Este acontecimiento demuestra la urgencia de implementar estrategias preventivas y gestión del riesgo en instituciones educativas que concentran población y recursos críticos en zonas de interfaz urbano-rural.

En consecuencia, este plan de defensa contra incendios forestales para la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar no solo busca reducir la vulnerabilidad, sino también fomentar la cultura de prevención y resiliencia para las comunidades estudiantiles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan de protección de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar frente a incendios forestales para minimizar los daños potenciales, garantizando la seguridad de la comunidad universitaria, infraestructura y la protección del entorno natural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los factores de riesgo y las áreas vulnerables a incendios forestales dentro de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar utilizando un mapeo de la vegetación, infraestructuras y otras características del terreno para estimar los daños en caso de un incendio forestal.
2. Evaluar los daños de posibles escenarios por los estanques de gas licuado inflamable si un incendio forestal afectara las instalaciones.
3. Elaborar el programa de protección contra incendios forestales.

METODOLOGIA

El presente trabajo de título consta de 3 etapas a desarrollar:

La primera etapa es la investigación del fenómeno de los incendios forestales y que leyes aplican en nuestro país para la protección del medio ambiente y las consecuencias por provocar este acto.

La segunda etapa consta de 2 métodos aplicados a los 3 estanques de Gas Licuado propano ubicados dentro de las instalaciones universitarias. La Explosión de Vapor No Confinado y el BLEVE son los principales estudios que se realizan en este trabajo de título y el motivo del plan de defensa para la Universidad.

Como etapa final se tiene una propuesta de plan de protección de la sede donde se mencionan diferentes medidas preventivas para evitar que un presunto incendio forestal afecte de manera grave las inmediaciones del establecimiento reduciendo así su daño por este fenómeno.

ALCANCE

La investigación sobre la prevención y control de incendios forestales en la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar se centrará exclusivamente en este establecimiento. Se incluirán todas las áreas verdes, edificaciones y zonas adyacentes que puedan verse afectadas por incendios forestales realizando una hipótesis de qué podría pasar ante un presunto incendio forestal que afecte las instalaciones y como prevenir este suceso catastrófico.

El plan se orienta en 3 dimensiones principales:

- Prevención: con la implementación de cortafuegos, mantenimiento de la vegetación y estanques de agua para prevenir la propagación del fuego.
- Protección de infraestructura crítica: Resguardando los estanques de GLP, sistemas de abastecimiento de agua y edificios esenciales.
- Gestión comunitaria: Fortaleciendo la cultura preventiva mediante capacitaciones, difusión de información y simulacros de evacuación.

El trabajo no solamente se limita a un análisis técnico, sino también contempla la dimensión humana y organizacional, muy importante para una respuesta de manera efectiva frente a una catástrofe.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

La Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) es una institución líder en educación superior, reconocida por su excelencia académica y su enfoque en la formación integral de profesionales altamente capacitados en diversas áreas del conocimiento. Fundada en 1931 en Chile, la UTFSM cuenta con diferentes campus distribuidos estratégicamente en ciudades importantes del país, incluyendo Valparaíso, Viña del Mar, Santiago y Concepción.

La UTFSM se destaca por su compromiso con la investigación de vanguardia y la innovación tecnológica, así como por su estrecha relación con la industria y el sector productivo. Sus programas académicos abarcan una amplia variedad de disciplinas, desde ingeniería y ciencias hasta negocios y humanidades, brindando a sus estudiantes una formación integral que fomenta el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas.

Además, la UTFSM se enorgullece de su comunidad académica diversa y talentosa, compuesta por profesores altamente calificados y estudiantes motivados de diferentes partes del país y del mundo. Esta diversidad enriquece el ambiente de aprendizaje y promueve el intercambio de ideas y experiencias, preparando a los graduados de la UTFSM para enfrentar los desafíos del mundo laboral con éxito y contribuir de manera significativa al desarrollo social, económico y tecnológico de Chile y más allá.



Fuente: Google Maps.

Figura 1-1. Captura satelital de las inmediaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

1.1.2 HISTORIA DE ORIGEN DE LA UNIVERSIDAD SANTA MARÍA

La historia de la Universidad Santa María no comienza por un decreto gubernamental, sino por la voluntad de una persona: Don Federico Santa María Carrera.

Don Federico, un adinerado empresario chileno que hizo su fortuna en la bolsa de París, falleció en 1925. En su testamento, redactado a puño y letra, dejó una cláusula importante que sería el génesis de la Universidad. La famosa frase: *“Encontraré suerte al dejar en la República de Chile, de un modo enérgico, una obra de cultura y de progreso: la Universidad que lleve mi nombre y en la cual, pobres y ricos, sino en igualdad de condiciones, han de poderlo todo los que se sientan con la fuerza y la voluntad de luchar por ella, sin más ayuda que su talento.”*

La visión de Don Federico era romper con las barreras económicas para el acceso a la educación Técnica de primer nivel. Quería formar mejores ingenieros y técnicos del país, sin importar su origen social, basándose únicamente en el mérito y el esfuerzo. Su sueño era una institución que impulsara la industrialización de Chile.

Tras un proceso complejo legal y administrativo para ejecutar el testamento, la Universidad Santa María fue formalmente fundada el 20 de diciembre de 1931. La “Casa Central” ubicada en los cerros de Valparaíso, con un diseño de hormigón armado y su imponente ubicación la convirtieron de inmediato en un icono arquitectónico y educativo.

1.1.3 EVOLUCIÓN Y EXPANSIÓN

Los primeros años de la Casa Central en Valparaíso tras su inauguración en 1935 se consolidó rápidamente como un referente de excelencia. Su modelo, inspirado en escuelas Técnicas europeas, era el único el Chile. Se caracterizaba por su ingreso riguroso basado en pruebas de alta exigencia, una formación teórico-práctica intensiva que combinaba ciencias básicas sólidas con aplicación en laboratorios y talleres desde los primeros años, una disciplina casi militar que reflejaba en las normas de actitud y asistencia para formar carácter en conjunto con la responsabilidad.

El prestigio y demanda para la década de 1950, el "Santa María" ya era sinónimo del ingeniero de más alto nivel. Sus titulados eran extremadamente cotizados por la industria minera, eléctrica y manufacturera. Este prestigio generó una demanda que superaba la capacidad de la Casa Central, planteando la necesidad de expandirse.

La creación del departamento de industrias en los años 70 es el evento más importante en la expansión de la USM. En 1971, se crea el Departamento de Industrias, pero no en Valparaíso, sino inicialmente en Santiago.

Para un contexto nacional de Chile es que vivía un proceso de industrialización y sustitución de importaciones. Existía una necesidad crítica de Técnicos Universitarios e Ingenieros de Ejecución especializados, es decir, profesionales con un perfil más aplicado y de formación más corta que el Ingeniero Civil, pero con una base científica superior a la de un técnico de centro de formación.

El objetivo del Departamento de industrias nació con la misión explícita de satisfacer esta demanda. Su principal enfoque era:

- Carreras de duración más corta programadas de 4 años para ingeniería de Ejecución y de 2 a 2.5 años para los Técnicos Universitarios.

- Un vínculo directo con el sector productivo en las mallas curriculares que estaban especialmente diseñadas en consulta con las empresas.
- Una ubicación estratégica en zonas industriales o de alta actividad económica para facilitar la práctica de los estudiantes.

El éxito del modelo del Departamento de Industrias impulsó la creación de sedes en regiones claves para la economía nacional:

- La Sede Viña del Mar Surgió poco después, como una extensión natural del Departamento de Industrias para la Región de Valparaíso. Su creación respondió a la necesidad de formar técnicos y profesionales para el cordón industrial de la zona (puertos, refinerías, manufactura). Partió con carreras como Técnico Universitario en Mecánica, Electricidad e Informática, evolucionando luego a incluir carreras profesionales como Ingeniería de Ejecución e incluso Ingeniería Civil en Informática.
- La Sede Rancagua que su creación (1989) y fue una respuesta directa a la necesidad de la gran minería del cobre. Se ubicó estratégicamente en el corazón de la División El Teniente de Codelco. Sus carreras están totalmente orientadas a la industria minera: Técnico Universitario e Ingeniería de Ejecución en Minas, Metalurgia, Electricidad y Prevención de Riesgos, formando a los profesionales que mantienen en funcionamiento la principal riqueza de Chile.
- El Campus Vitacura (Santiago) que es el Departamento de Industrias en Santiago y se estableció en la comuna de San Joaquín. Con el tiempo, y debido a su crecimiento y prestigio, se trasladó a Vitacura, un barrio de alta concentración de empresas y tecnología. Este campus se especializó no solo en carreras de ejecución, sino que también comenzó a impartir Ingenierías Civiles (como Civil Industrial e Informática) y programas de postgrado, compitiendo directamente con las mejores Universidades de la capital.
- Por último, el Campus Talcahuano (Concepción) la cual esta sede se estableció en la región del Biobío, el segundo polo industrial más importante de Chile. Su foco está en las industrias portuaria, siderúrgica, pesquera y energética. Ofrece carreras como Técnico Universitario en Mecánica de Mantenimiento Industrial, Electricidad y Automatización, directamente vinculadas a empresas como CAP, ENEX y la actividad portuaria de Talcahuano.

Un fenómeno crucial es que muchas de estas sedes no se estancaron en la formación Técnica. Evolucionaron, llevando así de Técnicos a Ingenieros y Posgrados.

La Sede Viña del Mar y el Campus Vitacura, por ejemplo, empezaron con Técnicos Universitarios y luego agregaron programas de Ingeniería de Ejecución. Más adelante, implementaron Ingenierías Civiles, mientras que la Casa Central y el Campus Vitacura desarrollaron una robusta escuela de postgrado, con magísteres y doctorados en áreas científicas y tecnológicas, consolidando a la USM no solo como una Universidad de docencia, sino también de investigación de punta.

1.1.4 OFERTA ACADEMICA

La Universidad Santa María es primordialmente una Universidad de Ingenierías y Ciencias. Su oferta se concentra en estas áreas, con algunos programas en el ámbito de la arquitectura y las humanidades Técnicas, las carreras de Pregrado (Título Profesional y Grado Académico) se imparten principalmente en la Casa Central (Valparaíso) y el Campus Vitacura (Santiago). Algunos ejemplos destacados:

- Ingeniería Civil:
- Ingeniería Civil Electrónica
- Ingeniería Civil Eléctrica
- Ingeniería Civil Mecánica
- Ingeniería Civil Química
- Ingeniería Civil Industrial
- Ingeniería Civil Informática
- Ingeniería Civil Telemática
- Ingeniería Civil Matemática
- Ingeniería Civil Física
- Ingeniería Civil en Minas
- Ingeniería Civil en Metalurgia
- Ingeniería de Ejecución / Ingeniería:
- Ingeniería de Ejecución en Electricidad
- Ingeniería de Ejecución en Mecánica
- Ingeniería en Diseño de Productos

Otras Áreas:

- Arquitectura
- Licenciatura en Ciencias, mención Física o Matemática
- Química y Farmacia
- Técnico Universitario (programas de menor duración)

Mientras que la oferta en la Sede Viña del Mar se caracteriza por carreras más cortas y con un enfoque muy práctico, aunque también ofrece carreras profesionales, dentro de estas se incluye: Carreras de Ingeniería y otras Profesionales (Generalmente Ingeniería de Ejecución y/o con Licenciatura):

- Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales (También vespertina y programa de reconversión).
- Ingeniería en Fabricación y Diseño Industrial.
- Ingeniería en Informática.
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Mantenimiento Industrial.
- Ingeniería en Construcción, con Licenciatura (PEIV - Programa de Ingenierías Vespertinas).
- Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial (PEIV).
- Ingeniería de Ejecución en Gestión de la Calidad (PEIV).

- Ingeniería de Ejecución en Gestión Industrial.
- Ingeniería de Ejecución en Proyectos de Ingeniería (PEIV).
- Ingeniería de Ejecución en Sistemas Computacionales (PEIV).

Y carreras Técnicas Universitarias (Técnico Universitario):

- Técnico Universitario en Construcción.
- Técnico Universitario en Control de Alimentos.
- Técnico Universitario en Control del Medio Ambiente.
- Técnico Universitario en Electricidad.
- Técnico Universitario en Electrónica.
- Técnico Universitario en Energías Renovables.
- Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial.
- Técnico Universitario en Matricería para plásticos y metales.
- Técnico Universitario en Mecánica Automotriz.
- Técnico Universitario en Mecánica Industrial.
- Técnico Universitario en Prevención de Riesgos.
- Técnico Universitario en Informática.
- Técnico Universitario en Proyectos de Ingeniería.
- Técnico Universitario en Química, mención Química Analítica.
- Técnico Universitario en Telecomunicaciones y Redes.
- Técnico Universitario en Minería y Metalurgia.
- Técnico Universitario en Administración de Empresas.
- Técnico Universitario en Biotecnología.
- Técnico Universitario en Ciencia de Datos.

También la Universidad Santa María es fuerte en postgrados, especialmente en los campus de Valparaíso y Santiago, ofreciendo un Magister en diversas especialidades de ingeniería (Eléctrica, Mecánica, Informática, Química, etc.), Ciencias y Tecnología. También cuenta con Doctorados en Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Química, Mecánica, etc. Teniendo un importante aporte en la actividad de investigación científica.

1.1.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR

La Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar se encuentra ubicada en Av. Federico Sta. María 6090 en la ciudad de Viña del Mar, Valparaíso.

Durante los días 02 y 03 del mes de febrero del año 2024 ocurre un incendio forestal de grandes proporciones afectando la comuna de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache, el cual ha sido categorizado como uno de los desastres más grandes del país durante estos últimos 30 años. Según CONAF se consumieron alrededor de 9215,9 hectáreas.



Fuente: Google Maps

Figura 1-2: captura satelital amplia de las zonas consumidas por el incendio forestal cerca de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.



Fuente: Planet Scopes febrero 2024

Figura 1-3: captura extraída desde Planet Scopes donde muestra la zona afectada por el incendio forestal en el año 2024.

1.1.6 ESTABLECIMIENTOS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR

De manera más detallada, se cuenta con el plano de la Universidad que incluye la ubicación de todos los edificios y la SUPERFICIE que la rodean.



Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María

Figura 1-4: Plano estructurado de la Universidad destacando las instalaciones que posee dentro

1.1.7 UBICACIONES DENTRO DE LA SEDE VIÑA DEL MAR

Dentro de la Sede Viña del Mar se cuenta con distintos puntos importantes distribuidos los cuales se describen como:



Imagen 1-1: Fotografía entrada principal de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

Ingreso general de alumnos y funcionarios que está ubicada en Av. Federico Sta. María 6090.



Imagen 1-2: Fotografía Plaza Cívica de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

Plaza principal dentro de la Universidad donde generalmente se llevan a cabo actividades de índole variada donde participan alumnos, funcionarios y organizaciones externas.



Imagen 1-3: Fotografía del comedor y estacionamiento de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

Ubicación que muestra el comedor de la Universidad junto con el estacionamiento donde también se realizan actividades universitarias en fechas preestablecidas.

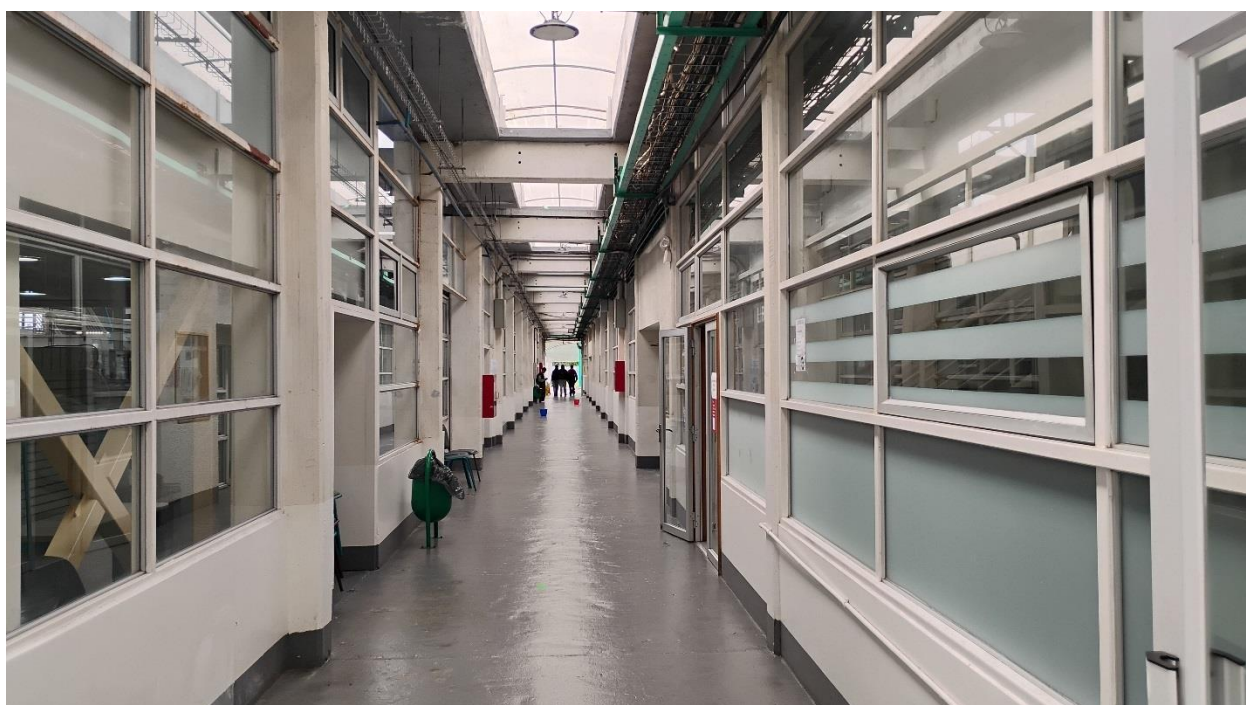


Imagen 1-4: Fotografía pasillo donde se distribuyen distintos talleres en la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

Salas con alta presencia de maquinaria se ubican en distintas zonas del edificio.



Imagen 1-5: Fotografía donde se ubica la fotocopidora de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

La fotocopidora es un lugar concurrido principalmente por estudiantes a cualquier hora de la jornada estudiantil.



Imagen 1-6: Fotografía laboratorios de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar.

Principalmente los laboratorios son foco de diversas sustancias que no pueden tener contacto con el calor y son de alto riesgo en caso de un incendio forestal.

1.2 GESTIÓN PREVENTIVA DESARROLLADA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MÁRIA SEDE VIÑA DEL MAR.

la gestión preventiva en la UTFSM se rige por el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) de la Universidad, el cual se aplica de manera integral en todos sus campus, incluida la Sede Viña del Mar.

1.2.1 MARCO GENERAL

La Universidad Técnica Federico Santa María cuenta con una Dirección de Seguridad, Salud y Medio Ambiente a nivel central, que define las políticas y procedimientos que se implementan en cada sede. En Viña del Mar, existe una unidad que aplica estos lineamientos.

1.2.2 AREAS CLAVES

Se cuenta con un foco en la prevención de riesgos para estudiantes y funcionarios. Esto se lleva a cabo con una inducción de seguridad, donde a inicio de cada año, los nuevos estudiantes reciben información sobre las normas generales dentro de la Universidad, ubicaciones de zonas de seguridad y equipos de emergencia, finalizando con un protocolo de actuación en caso de algún caso de emergencia.

La universidad cuenta con diversos laboratorios y talleres, por ende, los estudiantes deben estar informados sobre el cuidado que deben tener al momento de ingresar, esto incluye instrucciones claras antes de entrar al laboratorio o taller asistiendo a una capacitación específica sobre los riesgos. El uso de elementos de protección personal es de carácter obligatorio y el estudiante debe cumplir con los estándares básicos de protección antes de ingresar al laboratorio o taller.

Todas las áreas cuentan con su señalización correspondiente para que los estudiantes tengan un aviso del nivel de peligrosidad del elemento.

Para los funcionarios se realizan evaluaciones periódicas en los puestos de trabajo para identificar los riesgos ergonómicos, de accidentes e incluso psicosociales. Se les ofrece capacitación continua en temas de manejo de extintores, correcta manipulación de carga y ergonomía.

Todo evento ocurrido dentro de la universidad es investigado para identificar la causa y aplicar acciones correctivas.

La universidad cuenta con un plan de emergencias y evacuación en caso de alguna catástrofe formado por el comité de emergencia, procedimiento y alarmas dentro del establecimiento.

Se debe cumplir todo lo propuesto en el reglamento interno de orden, higiene y seguridad que es totalmente obligatorio.

Finalmente, la Universidad cuenta con:

- Una prevencionista de riesgos a cargo del cuidado y bienestar de las personas dentro del establecimiento.
- Comité paritario de higiene y seguridad formado por funcionarios para evaluar y mejorar las condiciones que se presentan dentro de la universidad.
- Monitores de emergencia que están especializados en evacuación y control de estudiantes y funcionarios en caso de una catástrofe.
- Difusión de material preventivo, talleres de capacitación y simulacros, pero en menor medida.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y LEGAL

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 ¿QUE ES UN INCENDIO FORESTAL?

Los incendios forestales son fuegos en bosques naturales o plantados producidos por la acción del ser humano o causados por la naturaleza, y que avanzan sin ningún control ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales. Es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es el fuego que quema árboles, matorrales y pastos. Es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son materiales vegetales y que, en su propagación puede destruir ganado, viviendas, como también vidas humanas.

Explicando de manera más detallada se tiene que los incendios forestales constan de diferentes causas, las cuales principalmente son:

- **Causas naturales:** La aparición de truenos en tormentas eléctricas son la causa más común de incendio forestal, estos tienen una probabilidad de impactar los árboles causando el denominado incendio de copa y pasto o vegetación seca que consecuencia de esto es el inicio del fuego que conlleva a causar el incendio superficial.
- **Causa por el humano:** Es la principal causa de los incendios forestales, El acto humano de hacer fogatas en el bosque y no apagarlas, las quemas no controladas, chispas causadas por maquinarias, colillas de cigarros mal apagadas, o simplemente para causar algún mal son el factor común de los incendios causados a gran escala en el país.

En Chile, existen cuatro grupos de causas de incendios forestales: incendios accidentales, intencionales, naturales y causa desconocida.

2.1.2 IGNICIÓN

Dentro del área de incendios forestales, la ignición se hace referencia al proceso por el cual un material combustible se calienta lo suficiente como para entrar en el proceso de combustión y comenzar a arder. Este proceso es el inicio la secuencia del incendio y se puede desencadenar por diferentes fuentes de calor, de manera natural como también humana.

Para que se produzca ignición deben existir ciertas condiciones ambientales críticas como la presencia de material combustible seco y abundante, temperaturas elevadas hacen que se acelere el calentamiento de la vegetación, y la presencia de fuentes de calor a causa de actividades humana. La sequedad del material vegetal es especialmente importante, ya que la vegetación seca es altamente inflamable y puede alcanzar fácilmente la temperatura de ignición cuando se expone a condiciones climáticas cálidas y secas.

La combinación de estos factores origina un entorno adecuado para que ocurra la ignición y se inicie un incendio forestal, que puede propagarse rápidamente bajo la influencia de vientos y condiciones climáticas favorables.

2.1.3 PROPAGACIÓN

Una vez que se produce la ignición, el fuego se propaga rápidamente a través de la vegetación seca y otros materiales combustibles, como ramas caídas, hojarasca y árboles muertos. La velocidad y dirección de propagación dependen del viento, la topografía y la humedad. Una característica común de estos incendios es que el combustible es un material poroso sólido compuesto por productos orgánicos y esencialmente celulosa.

Se puede identificar cuatro tipos de propagación de incendio forestal:

- Incendio de suelo: estos incendios no cuentan con llamas, pero se propagan consumiendo la capa orgánica sobre el suelo, su avance es muy lento y no genera preocupaciones de seguridad. Sin embargo, su duración es prolongada y la gran cantidad de humo liberado pueden causar un impacto perjudicial en el suelo y los organismos cercanos.



Fuente: fotografía extraída de los archivos de la CONAF

Imagen 2-1: incendio de suelo en una zona forestal.

- Incendio superficial: Estos incendios son aquellos que avanzan consumiendo la vegetación que se encuentra en la superficie del suelo como las hierbas, arbustos y árboles pequeños. Por lo general, se propagan con un frente de fuego que quema las partes más finas de la vegetación, principalmente material muerto con bajo contenido de humedad. Esta forma de propagación del fuego es muy común y ha sido ampliamente estudiada.



Fuente: fotografía extraída de Fire fuel, behaviour and bushfire risk

Imagen 2-2: incendio superficial consumiendo vegetación.

- Incendio de copa: Son aquellos que se propagan a través de las copas verdes de árboles y arbustos, a menudo con el respaldo de un incendio superficial en el suelo. Estos incendios pueden extenderse rápidamente y causar una destrucción considerable en los bosques, generando un impacto ambiental significativo. Son altamente destructivos e indirectamente pueden amenazar la vida humana al afectar estructuras urbanas y producir brasas que pueden iniciar nuevos incendios en áreas distantes.



Fuente: Imagen extraída de “ADN” jardín botánico

Imagen 2-3: Incendio de copa en las inmediaciones del jardín botánico.

- Incendios Secundarios: aquellos que son causados por partículas ardientes que son liberadas por la combustión de muchos tipos de combustibles, también se les llama focos secundarios.



Fuente: Imagen extraída de Biobío Chile al momento de caer cenizas del mega incendio en Viña del Mar.

Imagen 2-4: Incendio secundario que muestra el momento donde cae ceniza lejos del foco principal.

2.1.4 ZONAS AFECTADAS

Las zonas afectadas principalmente en nuestro país desde 1985 hasta 2023 por incendios forestales son la Región del Maule, Región del Biobío, Región de La Araucanía, Región de Los Lagos, Región del Ñuble, Región de Valparaíso y la Región Metropolitana de Santiago. Estas regiones experimentan una alta tasa de incendios forestales debido a condiciones climáticas favorables para su propagación, como el clima seco, los vientos fuertes y la vegetación inflamable.

- La Región del Biobío debido a su extensa cobertura forestal y condiciones climáticas secas durante el verano. La combinación de plantaciones de pino y eucalipto con vegetación nativa y el viento costero crea un entorno altamente inflamable.
- La Región del Maule debido a sus extensas plantaciones forestales y terrenos agrícolas. Los veranos secos y calurosos exacerban la situación, facilitando la ignición y propagación del fuego.
- La Región de Valparaíso que incluye sectores urbanos y rurales, ha sufrido grandes incendios forestales que han afectado tanto áreas forestales como viviendas. La mezcla de bosques, matorrales y terrenos agrícolas contribuye a la propagación del fuego.
- La Región metropolitana de Santiago especialmente en la zona precordillerana y áreas periurbanas, los incendios forestales pueden ser frecuentes. La proximidad de áreas forestales a zonas urbanas presenta un riesgo significativo para las personas y propiedades.

En Chile los incendios son causados, principalmente, por los humanos, ya sea de forma accidental o por una acción deliberada e intencional. De hecho, la ocurrencia de incendios se relaciona estrechamente con la distancia y ubicación de centros urbanos e infraestructuras como caminos,

líneas férreas y sitios recreacionales, siendo las zonas de interfaz urbano-rural especialmente relevantes, pues aumentan el riesgo de incendios” (González et al, 2020)

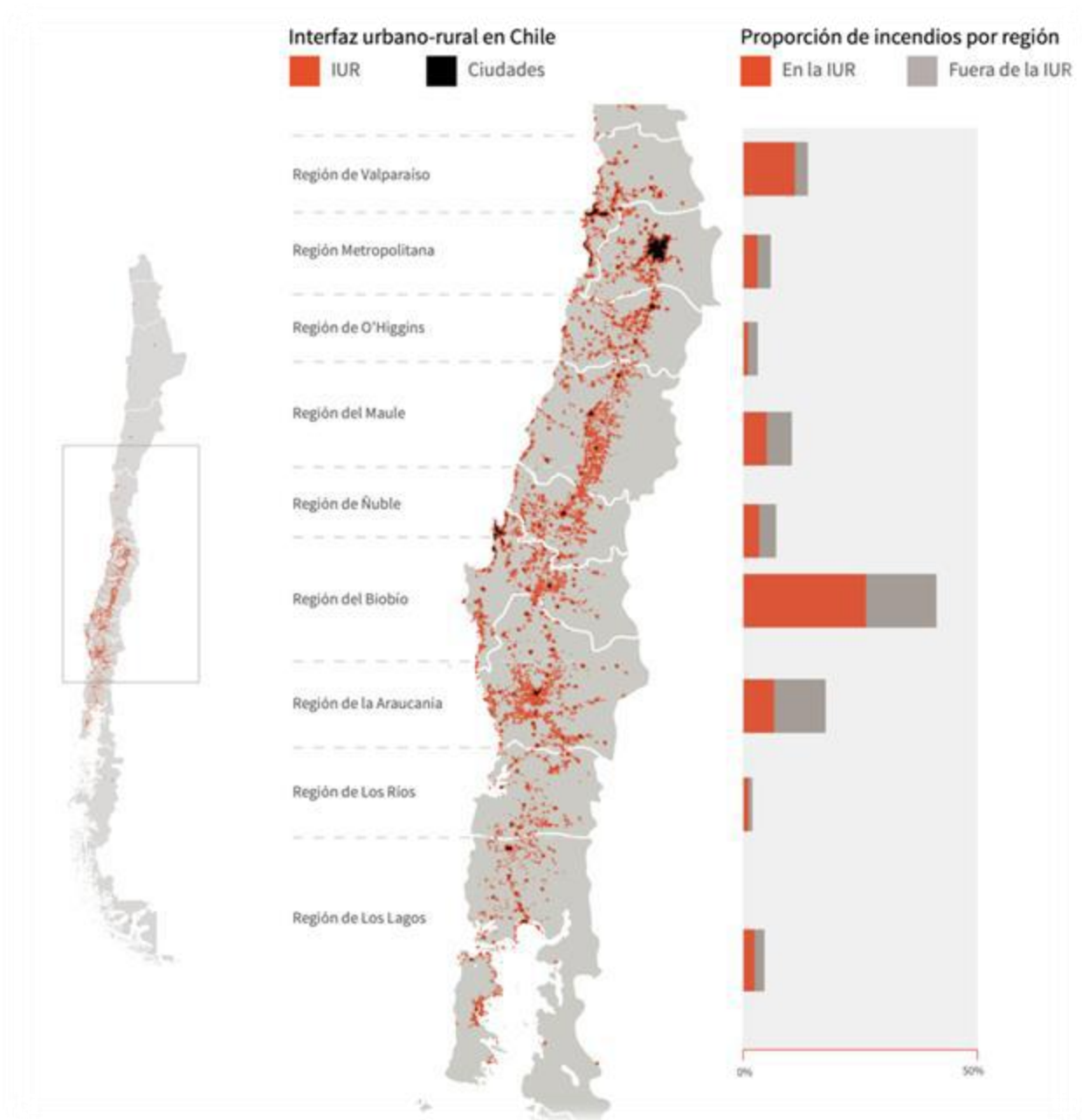


Fuente: CONAF “Fotógrafo Pablo Hidalgo”

Imagen 2-5: Las llamas consumen una casa durante la madrugada, cerca de la ciudad de Santa Juana (Chile) zona habitada por personas.

La interfaz urbano-rural es aquella zona donde conviven las comunidades humanas con coberturas vegetales propensas a incendios. Por ejemplo, un conjunto de viviendas que se encuentre inmediatamente al lado de un matorral o plantación forestal. A nivel mundial, es en este espacio donde los incendios causan un mayor número de muertes y pérdidas de viviendas y otras construcciones, por lo que su identificación y la evaluación de alternativas de manejo del paisaje son de suma importancia para las políticas de planificación territorial” (Miranda et al, 2021).

El régimen de incendios forestales en Chile se caracteriza por siniestros intensos durante los meses con mayores temperaturas y bajas precipitaciones, en donde la crisis climática incrementa la sequía y las olas de calor, aumentando la frecuencia e intensidad de los incendios. En la última década, el cambio climático ha contribuido a las condiciones idóneas para incendios extremos y destructivos, como también la acumulación del material combustible. (CONAF, 2021)



Fuente: Zonas de interfaz urbano-rural en Chile identificadas en función de los umbrales definidos a escala nacional y proporción relativa de incendios por región, dentro y fuera de la IUR propuesta” (González et al, 2020)

Figura 2-1: muestra las proporciones de incendio a lo largo del país en zonas urbano-rurales y ciudades.

Hoy existen más de 40 zonas sensibles a la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur del país, entre las que se cuentan 29 comunas críticas, concepto que se asocia a áreas de interfaz urbano-forestal con una alta incidencia y probabilidad de eventos de este tipo. Parte importante de estas zonas de mayor riesgo corresponden a áreas rurales cercanas a núcleos de población donde han proliferado parcelaciones sin mayor gestión del territorio. (Fuentes, 2022).

Actualmente, el centro-sur de Chile cuenta con extensas áreas de plantaciones forestales, las cuales pueden llegar a formar unidades continuas de 300.000 hectáreas, por lo tanto, hay un riesgo latente para los asentamientos cercanos a la interfaz urbano-rural. Asimismo, el crecimiento de la población y la expansión urbana hacia estas zonas de interfaz, debido principalmente a la construcción de segundas viviendas, cambio de uso de suelo y escasez de terrenos en sectores urbanos (CONAF, 2023)

2.1.5 TEMPERATURA

Las temperaturas que se alcanzan en el suelo son muy variadas dependiendo de los factores implicados. En general, y puesto que el suelo es un mal conductor del calor, las temperaturas que se alcanzan en capas profundas del suelo son bajas, a pesar de que en las llamas se sobrepasen en ocasiones los 1400°C (DeBano et al., 1998). Varios trabajos muestran que en superficie se alcanzan temperaturas entre 500-800°C. En profundidad, la variabilidad de registros es muy amplia; Desde una variación irrelevante a 5 cm de profundidad a máximos de entre 100-300°C.

TEMPERATURA °C	ALTERACIÓN
40-70	Degradación de proteínas y muerte de tejidos biológicos.
48-54	Deshidratación de determinadas raíces o muerte.
70-90	Muerte de determinadas semillas.
50-121	Muerte de microorganismos edáficos.
180-300	Destilación destructiva y combustión de alrededor del 85% del horizonte orgánico.
200-250	Puede incrementarse la hidrofobicidad del suelo mineral.
200-315	Comienza la destilación de la materia orgánica del suelo.
270-300	Destrucción de la hidrofobicidad del suelo (propiedad del suelo que retrasa la infiltración del agua).
200-400	Comienza la destilación de nutrientes.
>300	Los horizontes orgánicos superficiales del suelo son enteramente consumidos.
420	Pérdidas de agua en los minerales de la fracción arcilla.
450	Completo consumo de la materia orgánica.

Fuente: “Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. Incendios forestales, suelos y erosión hídrica”

Tabla 2-1: descripción de efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo.

2.1.6 VIENTO

El viento es un factor fundamental que influye de manera importante en el comportamiento y la distribución de los incendios forestales. Además, hay tres factores que más afectan el comportamiento de los incendios forestales y que forman el triángulo del fuego son: el clima, la topografía y el combustible (Morvan et al., 2014). El viento influye de manera significativa en los incendios forestales, afectando su velocidad, dirección, intensidad y comportamiento general. Otros factores de viento descritos de manera detallada serían los siguientes:

- **Velocidad del viento:** El viento que va a gran la velocidad influye de manera significativa la propagación del fuego. A mayor velocidad del viento, mayor será la velocidad de avance del incendio. El viento proporciona oxígeno al fuego, esto hace que vaya aumentando su intensidad y permite que se mueva más rápido a través de la vegetación que le funciona como combustible.
- **Dirección del viento:** La dirección del viento determina para donde se propagará el incendio. Esto puede influir en la manera en que se combate el incendio, ya que los bomberos y equipos de emergencia deben anticipar la dirección en la que se moverá el fuego y tomar medidas preventivas.
- **Cambios en la dirección del viento:** Los cambios de manera abrupta en la dirección del viento pueden complicar aún más la gestión de un incendio forestal.
- **Fuerza de las ráfagas de viento:** Las ráfagas de viento pueden aumentar el poder calorífico del incendio de manera brusca y rápida. Estas pueden aumentar las llamas y llevar partes de material encendido a una distancia mayor, lo que puede provocar el inicio de nuevos focos de incendio o la propagación del fuego a áreas previamente no afectadas.
- **Influencia en la estrategia de combate:** Los bomberos y equipos de emergencia deben tener en cuenta el viento al planificar de manera efectiva la ubicación de cortafuegos, el despliegue de equipos y la evacuación de áreas amenazadas. Además, el viento puede afectar la eficacia de Técnicas como el uso de helicópteros para arrojar agua sobre el fuego.

2.1.6.1 CÁLCULO DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Para realizar una aproximación sobre la velocidad del viento durante un incendio forestal, es posible utilizar la fórmula simplificada de la ley de balance de presiones, esta es utilizada en el campo de la gestión de incendios forestales para considerar un valor estimado de la velocidad del viento basada en la altura de la columna de humo. Esta fórmula se deriva de consideraciones físicas sobre el equilibrio entre el flujo ascendente generado por el fuego y la velocidad del viento:

$$V = 2.87 \times \sqrt{H}$$

Donde:

- V es la velocidad del viento en millas por hora (mph).
- H es la altura de la capa de mezcla del humo generado por el fuego en pies (ft).
- 2.87 es un valor empírico para convertir la altura de la columna de humo en una estimación de la velocidad del viento

Esta fórmula asume que el viento está en equilibrio con el flujo de aire que va ascendiendo generado por el incendio. La altura H hace referente a la altura de la capa de mezcla del humo y puede ser estimada observando la columna de humo o a través de mediciones más precisas si están disponibles.

Es importante tener en cuenta que esta fórmula es una aproximación y puede variar dependiendo de las condiciones específicas del incendio y del entorno.

2.1.7 QUEBRADAS

Las quebradas son formaciones naturales que consisten en valles estrechos y profundos formados por la acción del agua, generalmente a lo largo de un curso de agua intermitente o permanente. Estas formaciones pueden variar en tamaño y profundidad, y suelen encontrarse en terrenos montañosos o colinas.

Los incendios forestales en quebradas tienen un comportamiento diferente en comparación con los incendios en terreno plano debido a las características topográficas de las quebradas, este influye en el viento, el material, el riesgo de activación, la dificultad de acceso, etc. El viento cumple un rol fundamental ya que este puede acelerarse y cambiar su dirección por el poco espacio de las quebradas y lo hace muy impredecible.

Otro factor importante es que las quebradas funcionan como un canal de ventilación natural que puede aumentar el fuego y la velocidad del viento, consecuencia de esto la propagación es más rápida y la distribución en área le es más fácil. Aparte de la ventilación las quebradas contienen el principal punto de material combustible (hojas secas, ramas, basura por el ser humano que puede incluir material de carácter explosivo).

La dificultad de acceso por parte de estas hace que el equipo de bomberos le sea más difícil apagar un foco en estas partes ya que pueden causar un retraso inicial y limitar las opciones disponibles para apagar el fuego.

Todo esto finalmente engloba a un riesgo de reactivación ya que en las quebradas los focos de fuego pueden persistir durante más tiempo debido a la protección proporcionada por el área. Esto aumenta el riesgo de reactivación del incendio incluso después de que aparentemente haya sido controlado.



Fuente: SoyChile.cl

Imagen 2-6: ejemplo de una quebrada en Valparaíso donde existe vegetación.

2.1.8 CÁLCULO PROPAGACIÓN DE INCENDIO

El cálculo que es utilizado para estimar la tasa de propagación del fuego a través del combustible en un incendio forestales. El modelo de Rothermel que fue desarrollado por Richard Rothermel en la década de 1970.

Este modelo se basa en principios físicos y considera varios factores clave que afectan la propagación del fuego. Algunos de los factores más importantes incluyen:

- Tipo y estado del combustible: considera la composición, tamaño, forma, densidad y humedad del combustible disponible en el área afectada por el incendio. Estos factores influyen en la velocidad a la que el fuego puede moverse a través del combustible.
- Velocidad del viento: La velocidad y dirección del viento son críticas para determinar cómo se comportará el fuego. El viento afecta la intensidad y la dirección de la propagación del fuego, así como la forma en que interactúa con el combustible disponible.
- Humedad relativa: La humedad del aire y del combustible es un factor importante que afecta la capacidad de combustión y la tasa de avance del fuego. El modelo de Rothermel considera cómo la humedad influye en la combustibilidad del material vegetal.
- Pendiente del terreno: La pendiente del terreno afecta la velocidad de propagación del fuego debido a la distribución desigual del calor y el combustible en las laderas.
- Altura de la capa de combustible: La altura y densidad del combustible influyen en la cantidad de material disponible para quemar y en cómo se propaga el fuego a través de la vegetación.

Formula:

$$ROS = \frac{I \times R \times B \times L}{60 \times F}$$

Donde:

- ROS: es la velocidad de propagación del fuego en pies por minuto (ft/min).
- I: es el contenido de humedad de la capa de combustible muerto (expresado como fracción decimal, por ejemplo, 0.05 para 5% de humedad).
- R: es la tasa de propagación de la reacción, que representa la velocidad a la que el combustible disponible se está consumiendo (expresado en libras por pie cuadrado por minuto, lb/ft²/min).
- B: es el factor de densidad del combustible, que tiene en cuenta la cantidad de combustible presente en el área afectada por el fuego (expresado en libras por pie cúbico, lb/ft³).

- L: es el factor de tamaño del fuego, que considera el tamaño característico de las llamas (expresado en pies, ft).
- F: es el factor de efectividad del viento, que ajusta la velocidad de propagación del fuego en función de la velocidad del viento y otros parámetros atmosféricos.

La fórmula integra principios fundamentales de la ciencia del fuego y es utilizada por profesionales en gestión de incendios forestales para predecir la velocidad y comportamiento del fuego en el campo.

2.1.9 EXPLOSIÓN DE VAPOR DE GAS NO CONFINADO

La traducción del término inglés “Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE)” se define como la ignición explosiva de una nube de gas inflamable que se encuentra en un espacio amplio, cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición (Sierra ET AL 1999).

Las explosiones no confinadas ocurren al aire libre y generalmente son originadas por un escape rápido de un fluido junto a una dispersión moderada para formar una nube inflamable muy grande de aire e hidrocarburo.

En general las explosiones de nubes de vapor no confinadas son deflagraciones y en contadas ocasiones se han transformado en detonaciones. Esto ha sido ocasionado por las causas anteriores que provocan cierto confinamiento y a las que también se puede añadir las fuentes de ignición potentes.

Para su cálculo se realiza la siguiente formula:

$$F_v = C_p \frac{T - T_b}{h_{fg}}$$

Donde:

F_v = Fracción vaporizada del líquido derramado

C_p = Calor específico a presión constante (promediado entre T y T_b)

T = Temperatura absoluta inicial del líquido (K)

T_b = Temperatura absoluta de ebullición del líquido a presión atmosférica (K)

h_{fg} = Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición (kJ/kg).

2.1.10 BLEVE

La Oficina de Seguridad en Procesos Químicos ha definido la Explosión de vapores en expansión de líquidos en ebullición (BLEVE, por sus siglas en inglés) como “una liberación repentina de una gran masa de líquido sobrecalentado presurizado al ambiente” y este fenómeno es uno de los accidentes más terribles que pueden ocurrir en cualquier lugar donde exista un gas licuado a presión.

Otra definición válida da a entender que es un fenómeno producido por la falla estructural de un recipiente a presión, lo que ocasiona una explosión con liberación de vapores que se expanden al hervir un líquido.

Este acontecimiento puede ocurrir debido a una falla en el contenedor provocada por el envolvimiento en fuego, el impacto de un proyectil, corrosión, defectos de fabricación, sobrecalentamiento interno, etc. El BLEVE es especialmente importante debido a su severidad y al hecho de que involucran simultáneamente diversos efectos que pueden cubrir grandes áreas entre ellos la sobrepresión, radiación térmica y expulsión de proyectiles."

$N^{\circ} \text{ de fragmentos} = .3,77 + 0,0096V.$

2.1.11 ORGANIZACIONES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES

Frente al panorama de los incendios forestales, las organizaciones dedicadas a la protección contra este desastre desempeñan un papel esencial en la mitigación de riesgos, la defensa de ecosistemas vulnerables y la seguridad de las comunidades humanas.

Estas instituciones, tanto públicas como privadas, no solo implementan estrategias de prevención y combate, sino que también promueven la investigación, la educación ambiental y la cooperación internacional para fortalecer las capacidades de respuesta ante emergencias.

- Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Desde su creación, en 1972, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha cumplido el rol de organismo técnico en protección contra incendios forestales en Chile. A esta institución le corresponde programar y ejecutar acciones que propendan a la protección de los recursos forestales, En cumplimiento a lo establecido por la legislación vigente.

CONAF administra el Programa Nacional de Protección Contra Incendios Forestales, el cual opera mediante la organización y funcionamiento de programas regionales mediante los cuales se llevan a cabo las principales acciones de prevención y combate bajo un régimen descentralizado. Bajo su responsabilidad, le ha tocado coordinar innumerables incendios de interfaz de distintas magnitudes y escalas de complejidad, destacándose por la alta eficiencia en la asignación de tareas y protocolos de acción para hacer frente a complicados incendios. Los casos más destacados en Chile se concentran en las regiones de Valparaíso, Bio-bío y la Araucanía, todas caracterizadas por una alta ocurrencia de incendios de interfaz. A través de acuerdos de colaboración recíproca e instancias de coordinación, se llevan a efecto diversas acciones conjuntas tales como campañas de prevención, detección y operaciones de combate.

La misión de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) consiste en contribuir al desarrollo del país mediante el manejo sostenible de los ecosistemas forestales y la mitigación de los efectos del cambio climático. Para ello, la institución promueve y fiscaliza el cumplimiento de la legislación forestal y ambiental, protege los recursos vegetaciones y administra las Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Estas acciones están orientadas a garantizar la conservación y uso responsable de los recursos naturales, tanto para las generaciones presentes como para las futuras.



Figura 2-2: Logo CONAF actual

- Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED)

La Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) cambió su nombre al Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) el 1 de enero de 2023 todo esto con el fin de Mejorar los estándares de excelencia en la gestión de desastres, Seguir una senda basada en los Principios para la Gestión del Riesgo de Desastres, Incorporar los avances desarrollados en función de las buenas prácticas y lecciones aprendidas y Enfatizar en tareas como prevención, planificación, organización y supervisión.

Es el organismo técnico del Estado establecido por la Ley 21.364 que “establece el sistema nacional de prevención y respuesta ante desastres, sustituye la oficina nacional de emergencia por el servicio nacional de prevención y respuesta ante desastres, y adecúa normas que indica”, Busca planificar y coordinar los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o provocados por la acción humana, proporcionando a los ministerios, delegaciones, gobernaciones regionales, municipios y organismos de Protección Civil de nivel nacional, regional, provincial y comunal, modelos y planes de gestión permanente para la prevención y manejo de emergencias, desastres y catástrofes.

Asimismo, para dar cumplimiento a su mandato legal, corresponderá a SENAPRED movilizar, dentro de los parámetros establecidos por el Estado, los recursos disponibles tanto del ámbito público como privado para evitar o mitigar el potencial impacto de ocurrencia de una situación riesgo, emergencia o catástrofe.

Su misión consiste en generar conciencia y promover acciones que reduzcan el riesgo de desastres en el país. Para ello, planifica, coordina, organiza, supervisa y asesora al Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED) utilizando los instrumentos de coordinación y gestión vigentes. Además, integra el enfoque de género en las fases de mitigación, preparación, respuesta y rehabilitación.



Figura 2-3: Logo SENAPRED actual

- Bomberos de Chile

Los bomberos han cumplido históricamente una importante labor en el combate de incendios forestales en sectores de grandes ciudades, o de zonas rurales donde existe un alto riesgo a centros poblados. En el pasado incendio de Viña del Mar (febrero del 2024) desempeñaron una labor fundamental para que los daños producidos por la combustión masiva de casas y vegetación no hubiesen sido aún mayores. El cuerpo de bomberos de distintas compañías municipales destaca

por su alto grado de compromiso con la protección civil, y se integran comúnmente a los operativos de extinción de incendios con otros organismos tales con CONAF, Carabineros, Fuerzas Armadas y voluntarios de otras instituciones de protección. En el contexto de la gestión institucional, las Compañías de Bomberos se encuentran consideradas transversalmente en todos los protocolos de protección y atención de emergencias en eventos de incendios de interfaz.

Para operar en forma eficiente, en Bomberos de Chile trabaja una planta administrativa, que tiene por objetivo aplicar las políticas e instrucciones emanadas desde la Asamblea Nacional, directorio nacional y/o Consejo Ejecutivo. La planta administrativa, a cargo de Gerencia General, está conformada por Contraloría, Jurídico, Administración y Finanzas, Gestión de Personas, Comunicaciones, Estudio y Desarrollo, Técnico, Infraestructura, Tecnología y Comunicaciones y Servicio Generales.

Bomberos de Chile y los Cuerpos de Bomberos cuentan para su funcionamiento principalmente con fondos tanto de carácter público como privado. Los recursos de origen público constituyen una fuente importante de sus ingresos y provienen de la Ley de Presupuesto de la Nación, la Ley de Sociedades Anónimas, de los Gobiernos Regionales y Municipalidades. Los recursos de origen privado provienen principalmente de aportes de empresas particulares, del apoyo de la comunidad y de las cuotas y aportes de los propios voluntarios.

Su misión es velar que el servicio bomberil sea eficaz por medio de una estandarización y sistematización de sus procesos.



Figura 2-4: Logo de bomberos de Chile actual

- Otras Organizaciones Publicas

Chile dispone de otras organizaciones que apoyan activamente a los sistemas de protección civil contra incendios de interfaz, y en general, en incendios forestales. Los planes de emergencias normalmente son atendidos directamente por SENAPRED, quien se encarga de coordinar las acciones y tareas de Fuerzas Armadas, Cruz Roja, Defensa Civil, Servicios Meteorológicos, Servicios de Salud, Clubes aéreos y el apoyo de los servicios públicos tales como electricidad y agua potable. En casos de alerta roja activada por incendios catastróficos, la condición de riesgo a la población civil se enfrenta mediante el funcionamiento de protocolos de intervención en forma gradual y progresiva, dependiendo de las demandas zonales y la disponibilidad Técnica de recursos de extinción y presupuestos de emergencia. En el caso de las faenas de evacuación, también de reconstrucción y alertas sanitarias, se activan estas organizaciones para apoyar a las instituciones principales antes mencionadas. Este apoyo se verifica tanto a nivel nacional, en lo que respecta a

la formulación de políticas, estrategias globales y en el diseño e implementación de acciones Técnicas específicas, como también en el ámbito regional, en el que mayormente está referido a acciones específicas de prevención y combate.



Figura 2-5 Logo defensa civil

2.1.12 CORTAFUEGOS

Los incendios forestales a pesar de ser desastres naturales son provocados principalmente por la acción humana, lo que provoca que sea necesario desarrollar importantes labores preventivas, Sin embargo, Es posible disminuir el efecto incontrolado de los incendios a través de la modificación del combustible forestales y/o construcción de cortafuegos. Estas actividades son preventivas, es decir, se realizan antes que vengan las jornadas de incendios con el fin que pueda retardar su propagación y de forma indirecta apoyar la supresión.

para atacar este problema es necesario no solo contar con una mejor capacidad tecnológica y humana disponible, sino que también con acciones preventivas las cuales son más eficiente y efectivas, siendo uno de los aspectos sin considerar de las políticas públicas vinculadas a los incendios forestales Dentro de estas actividades se encuentra la reducción de combustibles forestales, cosecha forestal planificada, quemas prescritas, y construcción de cortafuegos.

Existe evidencia científica de que es posible modificar el comportamiento y propagación de los incendios forestales a través de una adecuada ubicación de cortafuegos las actividades de prevención, estrategias, y políticas de manejo y ordenamiento del paisaje, deben ser asumidas como prioritarias con el objetivo de evitar y/o disminuir el daño y pérdidas económicas y ambientales provocadas por los incendios, más aún en un contexto de cambio climático que a pesar de las medidas tomadas por los gobiernos es bastante probable que en las próximas décadas sigan aumentado la ocurrencia de incendios forestales. Por lo tanto, la clave para enfrentar este problema es la prevención, siendo necesario generar políticas de planificación y diseño del territorio que ayuden a reducir el riesgo y daños causados por los incendios forestales.

Los cortafuegos en término general se refieren a porciones del territorio que carecen de vegetación o donde existen construcciones u otros, que detienen o reducen la propagación del fuego y pueden ser naturales como ríos, esteros, afloramientos rocosos, etc., o bien artificiales, es decir, hechos por el ser humano, ya sea para la protección contra incendios forestales, y pueden ser construidos antes o durante un incendio, o bien para otros fines, como por ejemplo un camino.

Para construir un cortafuego se deberá raspar el suelo de todo tipo de vegetación. Su ancho va a depender de la vegetación o recurso a proteger, en general, es posible señalar que deberá ser a lo menos 2 veces la altura de lo que se protege.

2.1.13 ESTANQUE DE AGUA

Los incendios forestales forman una de las principales amenazas para la zona de la Universidad Técnica Federico Santa María junto con su infraestructura, la seguridad del personal de trabajo y estudiantes presentes en el día a día. La búsqueda de estrategias que ayuden a mejorar el medio ambiente es incansable y de alguna manera en poca o en gran medida, todas siguen un mismo objetivo, disminuir el daño a nuestro planeta. Esto debido a la combinación de terrenos que cuentan con una vegetación densa y seca son recurrentes, por lo tanto, incrementa significativamente la posibilidad de que se genere un incendio forestal.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de implementar medidas preventivas defensivas y de mitigación que permitan proteger tanto la biodiversidad que rodea a la Universidad como la infraestructura y a las personas que forman parte de esta comunidad. Entre estas medidas, la instalación de un estanque de agua surge como una solución estratégica y sostenible, capaz de proporcionar un recurso esencial para enfrentar incendios y reducir los daños derivados de su ocurrencia.

Se tiene como objetivo analizar las características, diseño y ubicación más adecuada para dicho estanque, integrando aspectos técnicos, de prevención y sostenibilidad. De esta manera, se busca fortalecer las estrategias de control de incendios forestales en la Universidad, promoviendo un entorno más seguro y preparado frente a posibles emergencias.

2.2 MARCO LEGAL

2.2.1 LEYES DE INCENDIO

La siguiente lista es extraída de la página web oficial de la CONAF en donde indica la ley y los decretos sobre los incendios forestales que rigen en nuestro país.

2.2.1.1 Ley de Bosques (Decreto 4363/1931), Ministerio de Tierras y Colonización que prohíbe el fuego en Áreas Silvestres Protegidas y establece castigos a los que provocan incendios forestales.

Que cita textualmente en el artículo 22 ter “Si el incendio se produjera en un Área Silvestre Protegida o se propagase a alguna de ellas, el responsable del uso del fuego u otras fuentes de calor en las zonas y terrenos a que alude el inciso anterior sufrirá la pena de presidio menor en su grado máximo y multa de cien a doscientas unidades tributarias mensuales.”

2.2.1.2 Decreto Supremo 276/1980, Ministerio de Agricultura que reglamenta el uso del fuego en terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal en forma de quema controlada y con los fines que indica.

Esta cita en el artículo 3 “En los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal, hayan sido o no estos últimos declarados como tales ante la Corporación Nacional Forestal, solamente se podrá usar el fuego en forma de "Quema Controlada", y siempre que ésta tenga por fin uno o más de los siguientes objetivos:

- a) Quema de rastrojos;
- b) Quema de ramas y materiales leñosos en terrenos aptos para cultivos;
- c) Requema para siembras inmediatas;
- d) Quema de zarzamoras u otra vegetación cuando se trate de construir y limpiar vías de comunicación, canales o cercos divisorios;
- e) Quemas de especies vegetales consideradas perjudiciales, y Quemas en terrenos de aptitud preferentemente forestal y con el fin de habilitarlos para cultivos silvopecuarios o con fines de manejo silvícola, siempre que no se infrinja el Decreto Ley N.º 701, artículo 5º de la Ley de Bosques, la Ley N° 20.283, Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal y demás disposiciones sobre protección pertinentes.

2.2.1.3 Decreto 733/1982, Ministerio del Interior que establece la responsabilidad de protección contra incendios forestales.

Que cita en el “Artículo 1º.- La prevención y combate de incendios forestales constituirá normal y fundamental tarea y responsabilidad del Ministerio de Agricultura, quien la ejercerá por intermedio de la Corporación Nacional Forestal, sin perjuicio de las funciones que, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes, le competen a Carabineros y a

Investigaciones de Chile.” Y en el Artículo 2°.- No obstante lo dispuesto en el artículo anterior, en el caso de incendios forestales de gran magnitud por su extensión o valores afectados o que amenacen la vida, salud o bienes de las personas o que puedan llegar a constituir una catástrofe por su cercanía con centros poblados u obras públicas, la Corporación Nacional Forestal comunicará de inmediato este hecho al Alcalde, Gobernador Provincial o Intendente Regional, según corresponda, quien calificará la emergencia y dispondrá los recursos que permitan la movilización urgente de los elementos humanos y materiales destinados a combatir dichos siniestros, e informará por el canal de Gobierno Interior.

2.2.1.4 Decreto Supremo 100/1990, Ministerio de Agricultura el cual prohíbe el uso del fuego en la Región Metropolitana y en provincias de la Región de O'Higgins por un periodo.

- a) ” Prohíbese el uso del fuego para la quema de rastrojos, de ramas y materiales leñosos, de especies vegetales consideradas perjudiciales y, en general, para cualquier quema de vegetación viva o muerta que se encuentre en los terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal, desde el 15 de marzo al 31 de agosto de cada año, en todas las provincias de la Región Metropolitana de Santiago, y entre el 1° de mayo al 31 de agosto de cada año, en la provincia de Cachapoal de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.
- b) Prohíbese, en todo el territorio nacional, la quema de neumáticos u otros elementos contaminantes para la agricultura como práctica para prevenir o evitar los efectos de las heladas.

A pesar de que existen normativas vigentes que ayuden a disminuir el impacto del incendio, estas no se realizan, son mal ejecutadas o son insuficientes con respecto a la necesidad real de cada lugar, sobre todo en lugares con altas pendientes y vientos locales intensos, condiciones que favorecen la expansión del incendio. Esta fue una de las razones del violento incendio en Valparaíso en abril del 2014, donde se quemaron más de 3.000 casas y 15 personas fallecieron, en un área donde no se intervino con fines preventivos. Chile no cuenta con una evaluación y diagnóstico que permita generar un plan integrado contra los incendios en las zonas de interfaz urbano rural, considerando las condiciones de cada lugar para generar acciones factibles y oportunas, por lo tanto, existe la necesidad urgente de contar con herramientas de gestión territorial que ayude a mantener segura a la población frente a los incendios.

CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD DE PERSONAS Y INSTALACIONES

3.1 ESTIMACIÓN DE EFECTOS EN CASO DE EVNC Y BLEVE

En el siguiente capítulo se realiza la elaboración de 2 métodos que se utilizan para calcular el índice de peligro que se puede ocasionar en la Universidad por la ubicación de los estanques de Gas Licuado Propano establecidos en la sede.

Los métodos que se llevarán a cabo son:

- Explosión de Vapor No Confinado (EVNC).
- Explosión de Vapor de Líquido en Ebullición.(BLEVE).

Cada método tiene un estudio de cálculos donde se lleva de manera real un escenario donde las posibilidades de ocurrencia son altas por la ubicación de la Universidad y de los GLP.

Los cálculos se realizan a los 2 GLP ubicados en 2 puntos críticos de la Universidad y posteriormente tomando en cuenta el entorno donde se distribuyen los tres estanques y la peligrosidad que pueden ser en caso de un incendio forestal o sobrecalentamiento interno de estos contenedores.

3.2 PUNTOS CRITICOS

La Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar cuenta con 2 ubicaciones de puntos críticos tomados a considerar en este estudio de cálculos.

3.2.1 PUNTO CRITICO “A” CANCHA DE PASTO

Punto crítico ubicado cerca de la cancha de pasto y del edificio R.



Imagen 3-1: fotografía ubicación punto crítico A.

Observaciones:

- 1 estanque de GLP con la capacidad de 3000L
- Se encuentra rodeado por vegetación que es altamente combustible y causa de esto puede caer material dentro de la cerca donde se ubica el estanque de GLP.
- El estanque de GLP se encuentra bajo tierra, pero eso no lo hace inmune a algún eventual incendio forestal, si el fuego persiste por un largo periodo el calor puede transmitirse a través del suelo, afectando la temperatura del estanque y causando una explosión de vapor no confinado.

- Tapa del estanque abierta.
- Aunque el cuerpo del estanque está bajo tierra, las válvulas que sobresalen a la superficie pueden ser vulnerables al calor y las llamas. Si estas partes son alcanzadas por el fuego, puede causar un fallo y por ende explotar.
- La capacidad del suelo para transmitir calor dependerá de su composición. El estanque está cubierto por un suelo compacto pero seco.
- No hay instalaciones eléctricas cercanas.
- Señalética existente que da aviso sobre la ubicación del estanque de GLP, pero no es visible.
- El grifo de agua está alejado de la ubicación.
- Plan de mantenimiento para las válvulas.

3.2.2 PUNTO CRITICO “B” COMEDOR Y FOTOCOPIADORA.

Punto crítico ubicado cerca del comedor y la fotocopiadora.



Imagen 3-2: fotografía ubicación punto crítico B.

Observaciones:

- 2 estanques de GLP con la cantidad de 3000L con un total de 6000L.
- Se encuentra rodeado por vegetación que es altamente combustible y causa de esto puede caer material dentro de la cerca donde se ubican los estanques de GLP.
- El estanque de GLP se encuentra bajo tierra, pero eso no lo hace inmune a algún eventual incendio forestal, si el fuego persiste por un largo periodo el calor puede transmitirse a través del suelo, afectando la temperatura del estanque y causando una explosión de vapor no confinado.
- Aunque el cuerpo del estanque está bajo tierra, las válvulas que sobresalen a la superficie pueden ser vulnerables al calor y las llamas. Si estas partes son alcanzadas por el fuego, puede causar un fallo y por ende explotar.
- La capacidad del suelo para transmitir calor dependerá de su composición. El estanque está cubierto por un suelo compacto pero rodeado de vegetación.
- No hay instalaciones eléctricas cercanas.

- Existe la señalética que da aviso sobre la ubicación del estanque de GLP.

3.3 CALCULO RADIO DE EXPLOSIÓN EN FUNCIÓN A LA DISTANCIA.

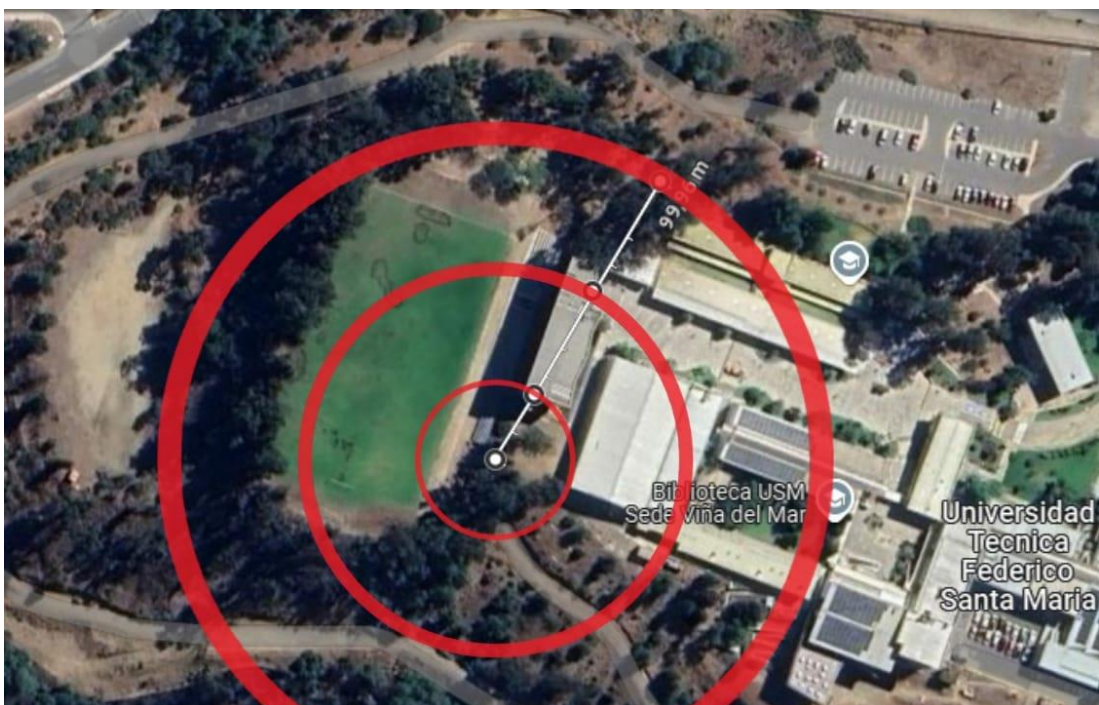
Los métodos más comunes para el cálculo de los efectos de la onda expansiva generada por una explosión de nube de vapor son los modelos del equivalente en TNT.

El método del equivalente en TNT es el modelo más sencillo y fácil de aplicar, pero no tiene en cuenta las características del espacio donde se da la explosión y sus resultados se ven afectados por parámetros empíricos, por lo cual no siempre son acertados.

3.3.1 CALCULO PUNTO CRITICO “A” CANCHA DE PASTO.

Primero se va a evaluar el riesgo por sobrepresión generado por la deflagración de una nube de vapor no confinada a causa de la rotura de una esfera de almacenamiento de GLP de 3000L de capacidad a temperatura ambiente de 25 °C en la ubicación 1 cerca de la cancha de pasto de la Universidad.

La medición se hará a 23 m por la gradas, 75 metros por el edificio R y 100 la cancha de pasto completa.



Fuente: Google Maps

Figura 3-1: captura simulada del radio de explosión de 23, 75 y 100 metros desde el punto crítico A.

DESARROLLO FORMULA 1

- Densidad del propano-butano líquido: 550 [kg/m³].
- Calor específico a presión constante: $C = 2,45$ [kJ / kg. K] (promedio entre 231 a 298 K).
- Temperatura de ebullición : - 42 °C.
- Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición h_{fg} : 429 [kJ / kg].
- Calor de combustión inferior (potencia calorífica inferior) del propano a 25 °C: 46 389 [kJ/kg].
- Calor de combustión (detonación) del TNT: 4 680 [kJ/kg].

$$F_V = C_p \frac{T - T_b}{h_{fg}}$$

F_V = Fracción vaporizada del líquido derramado

C_p = Calor específico a presión constante (promediado entre T y T_b)

T = Temperatura absoluta inicial del líquido [K].

T_b = Temperatura absoluta de ebullición del líquido a presión atmosférica [K].

h_{fg} = Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición [kJ/kg].

Reemplazamos:

$$F_V = 2,45 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \times \frac{298[\text{K}] - 231[\text{K}]}{429 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} = 0,38$$

En realidad, se debe añadir una masa importante de líquido arrastrado en forma de aerosol. Se recomienda, para estos casos, doblar ese valor por lo que el porcentaje de masa total derramada implicado en la nube:

$$2 \times 0,38 = 0,76 = 76\%.$$

$$M = 3[\text{m}^3] \times \frac{550[\text{kg}]}{\text{m}^3} \times \frac{76}{100} = 1254[\text{kg}]$$

La masa es de 1254[kg].

DESARROLLO FORMULA 2

Datos:

W_{TNT} = Masa equivalente en TNT. [kg]

$\eta = 0,1$

$M = 1254$ [kg]

$E_c = 45,3$ (mj/kg) $\rightarrow 45300$ [kj/kg]

$E_{TNT} = 4680$ [kj/kg]

• $W_{TNT} = \frac{\eta M E_c}{E_{TNT}}$

reemplazamos

$$W_{TNT} = \frac{0,1 \times 1254 \text{ [kg]} \times 45300 [\frac{Kj}{kg}]}{4680 [\frac{Kj}{kg}]} = 1213 \times 2 = 2427 \text{ [kg TNT]}$$

A continuación, se lleva a la fórmula de Sadovski y el R se reemplaza por la distancia real de medición:

$\Delta P = 0,95 [(W^{1/3}) R^{-1}] + 3,9 [(W)^{2/3} R^{-2}] + 13 [W R^{-3}]$

Donde:

ΔP : Sobrepresión (Atm) debe convertirse a mBar.

W : Masa Equivalente de TNT. (Kg.)

R : Distancia real. (m)

Para la evaluación de los daños y consecuencias Método de Evaluación se hará conforme a las siguientes tablas¹⁸:

Daños Personales	Sobrepresiones	Daños Estructurales	Sobrepresiones
Umbral de muerte por lesión pulmonar	70.000 Pa (0,70 Bar)	Demolición total.	0,80 Bar
Umbral de rotura de tímpano.	35.000 Pa (0,35 Bar)	Daños irreversibles.	0,40 Bar
Umbral Zona de Intervención.	12500 Pa (0,125 Bar)	Daños estructurales importantes.	0,18 Bar
Umbral Zona de Alerta.	5000 Pa (0.050 Bar)	Daños graves reparables.	0,15 Bar

Fuente: Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias

Tabla 3-1: muestra la formula y los distintos riesgos expuestos a las diferentes sobrepresiones

A) R= 23 metros (estacionamiento)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(2427)^{\frac{1}{3}}}{23^1} \right] + 3,9 \left[\frac{(2427)^{\frac{2}{3}}}{23^2} \right] + 13 \left[\frac{2427}{23^3} \right]$$

$$\Delta P = 0,95 [35,17] + 3,9 [3711,61] + 13 [0,20]$$

$$\Delta P = 33,41 + 14475,279 + 2,6$$

$$\Delta P = \frac{14511 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,14 \text{ [bar]} \text{ umbral zona de alerta y daños estructurales reparables.}$$

B) R=75 metros (comedor)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(2427)^{\frac{1}{3}}}{75^1} \right] + 3,9 \left[\frac{(2427)^{\frac{2}{3}}}{75^2} \right] + 13 \left[\frac{2427}{75^3} \right]$$

$$\Delta P = 0,95 [10,79] + 3,9 [349,06] + 13 [0,0057]$$

$$\Delta P = 10,25 + 1361,3 + 0,074$$

$$\Delta P = \frac{1372 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,013 \text{ [bar]} \text{ umbral zona de alerta y daños estructurales reparables}$$

C) R =100 metros (laboratorios)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(2427)^{\frac{1}{3}}}{100^1} \right] + 3,9 \left[\frac{(2427)^{\frac{2}{3}}}{100^2} \right] + 13 \left[\frac{2427}{100^3} \right]$$

$$\Delta P = 0,95 [8,09] + 3,9 [196,34] + 13 [0,002427]$$

$$\Delta P = 7,6855 + 765,726 + 0,031551$$

$$\Delta P = \frac{5885 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,058 \text{ [bar]} \text{ umbral zona de alerta y daños estructurales reparables}$$

Distancia [m]	Valor [Pa]	Valor [bar]	Instalaciones	Efectos
23	14511	0,14 [bar]	Daños estructurales reparables.	Umbral zona de alerta
75	1372	0,013 [bar]	Daños graves reparables.	Umbral zona de alerta
100	5885	0,058 [bar]	Daños graves reparables.	Umbral zona de alerta

Tabla 3-2: resultados punto crítico A

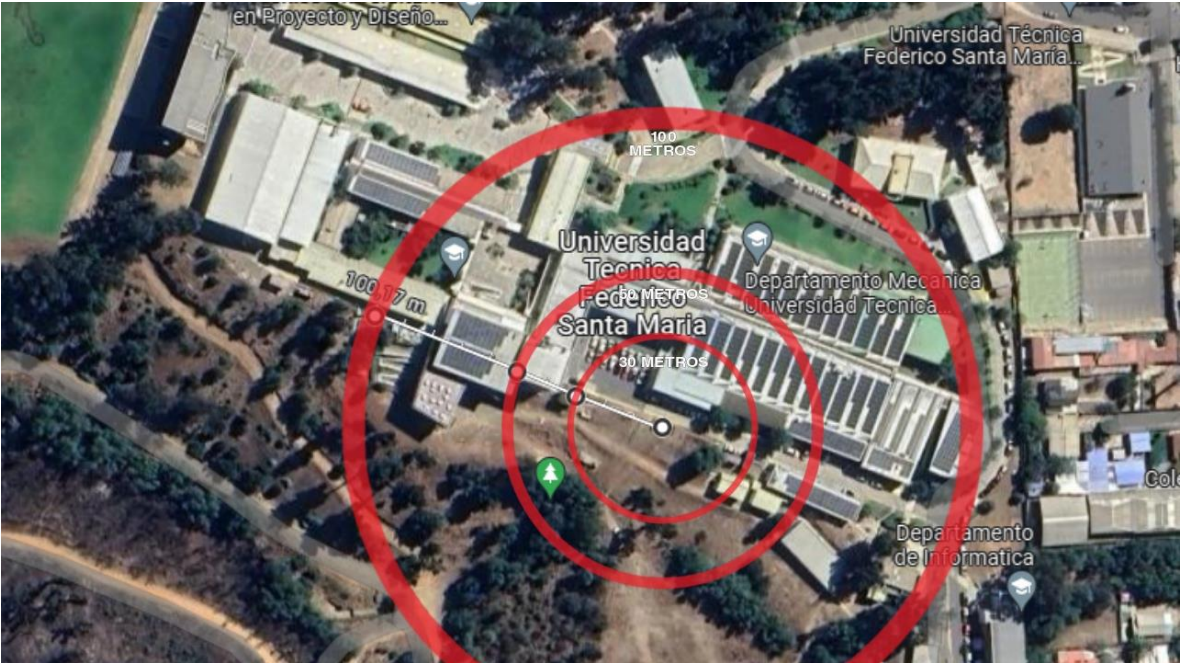
Con este resultado se estima que en una explosión de vapor no confinado las instalaciones a 23, 75 y 100 metros sufren daños estructurales importantes y en las personas se llega a un umbral de zona de intervención.

Se seleccionaron 3 puntos importantes ubicados de manera que a 23 metros las gradas son concurridas por alumnos, a 75 metros el denominado edificio “R” donde se imparten clases de manera continua y a 100 metros por la cancha de pasto completa por ser un punto fijo concurrido de talleres de deporte.

3.2.2 CALCULO PUNTO CRITICO B

Segundo se va a evaluar el riesgo por sobrepresión generado por la deflagración de una nube de vapor no confinada a causa de la rotura de almacenamiento de GLP de 6000L de capacidad a temperatura ambiente de 25 °C en la ubicación 2 cerca del comedor de la Universidad.

El cálculo se lleva a cabo a 30 metros ubicado los estacionamientos y la fotocopiadora, 75 metros que cubre la zona del comedor y 100 metros que se encuentran ubicados los laboratorios de la Universidad.



Fuente Google Maps

Figura 3-2: captura simulada del radio de explosión de 30, 50 y 100 metros desde el punto crítico B.

DESARROLLO FORMULA 1

- Densidad del propano-butano líquido 550 [kg/m3].
- Calor específico a presión constante.
- C = 2,45 [kJ / kg. K] (promedio entre 231 a 298 K).
- Temperatura de ebullición = - 42 °C.
- Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición $h_{fg} = 429$ [kJ / kg].
- Calor de combustión inferior (potencia calorífica inferior) del propano a 25 °C = 46 389 [kJ/kg].
- Calor de combustión del TNT = 4 680 [kJ/kg].

$$F_v = C_p \frac{T - T_b}{h_{fg}}$$

F_v = Fracción vaporizada del liquido derramado

C_p = Calor especifico a presión constante (promediado entre T y T_b)

T = Temperatura absoluta inicial del líquido [K].

T_b = Temperatura absoluta de ebullición del líquido a presión atmosférica [K].

h_{fg} = Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición [kJ/kg].

Reemplazamos:

$$F_v = 2,45 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{298[K] - 231[K]}{429[\frac{kJ}{kg}]} = 0,38$$

Tal como en el caso anterior del punto crítico “A” se debe considerar añadir una masa importante de líquido arrastrado en forma de aerosol por lo tanto se debe doblar el valor del resultado obtenido:
 $2 \times 0,38 = 0,76 = 76\%$.

$$M = 6m^3 \times \frac{550[kg]}{m^3} \times \frac{76}{100} = 2508[kg]$$

DESARROLLO FORMULA 2

Datos:

W_{TNT} = Masa equivalente en TNT. [kg]

$\eta = 0,1$

$M = 2508$ [kg]

$E_c = 45,3$ [mj/kg) $\rightarrow 45300$ [kj/kg]

$E_{TNT} = 4680$ [kj/kg]

$$\bullet \quad W_{TNT} = \frac{\eta M E_c}{E_{TNT}}$$

reemplazamos

$$W_{TNT} = \frac{0,1 \times 2508 [kg] \times 45300 [\frac{KJ}{kg}]}{4680 [\frac{KJ}{kg}]} = 2428 \times 2 = 4856 [kg \text{ TNT}]$$

A continuación, se lleva a la fórmula de Sadovski y el R se reemplaza por la distancia de real de medición:

$$\Delta P = 0,95 [(W^{1/3}) R^{-1}] + 3,9 [(W)^{2/3} R^{-2}] + 13 [W R^{-3}]$$

Donde:

- ΔP** : Sobrepresión (Atm) debe convertirse a mBar.
- W** : Masa Equivalente de TNT. (Kg.)
- R** : Distancia real. (m)

Para la evaluación de los daños y consecuencias Método de Evaluación se hará conforme a las siguientes tablas¹⁸:

Daños Personales	Sobrepresiones	Daños Estructurales	Sobrepresiones
Umbral de muerte por lesión pulmonar	70.000 Pa (0,70 Bar)	Demolición total.	0,80 Bar
Umbral de rotura de tímpano.	35.000 Pa (0,35 Bar)	Daños irre recuperables.	0,40 Bar
Umbral Zona de Intervención.	12500 Pa (0,125 Bar)	Daños estructurales importantes.	0,18 Bar
Umbral Zona de Alerta.	5000 Pa (0.050 Bar)	Daños graves reparables.	0,15 Bar

Fuente: Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias

Tabla 3-3: muestra la formula y los distintos riesgos expuestos a las diferentes sobrepresiones

D) R= 30 metros (estacionamiento y fotocopiadora)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(4856^{\frac{1}{3}})}{30^1}\right] + 3,9 \left[\frac{(4856)^{\frac{2}{3}}}{30^2}\right] + 13 \left[\frac{4856}{30^3}\right]$$

$$\Delta P = 0,95 [53,96] + 3,9 [8734] + 13 [0,17]$$

$$\Delta P = 51,262 + 34063 + 2,33$$

$\Delta P = \frac{34117 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,34 \text{ [bar]}$ umbral zona de rotura de tímpano y daños estructurales irreparables.

E) R=50 metros (comedor)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(4856^{\frac{1}{3}})}{50^1}\right] + 3,9 \left[\frac{(4856)^{\frac{2}{3}}}{50^2}\right] + 13 \left[\frac{4856}{50^3}\right]$$

$$\Delta P = 0,95 [32,37] + 3,9 [3144] + 13 [0,038]$$

$$\Delta P = 30,75 + 12262 + 0,50$$

$\Delta P = \frac{12293 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,12 \text{ [bar]}$ umbral zona de intervención y daños graves reparables

F) R =100 metros (laboratorios)

$$\Delta P = 0,95 \left[\frac{(4856^{\frac{1}{3}})}{100^1}\right] + 3,9 \left[\frac{(4856)^{\frac{2}{3}}}{100^2}\right] + 13 \left[\frac{4856}{100^3}\right]$$

$$\Delta P = 0,95 [16,19] + 3,9 [786,02] + 13 [0,0048]$$

$$\Delta P = 15,3805 + 3065 + 0,063$$

$$\Delta P = \frac{3080 \text{ [Pa]}}{100000} = 0,030 \text{ [bar]} \text{ umbral zona de alerta y daños estructurales reparables}$$

distancia [m]	Valor [Pa]	Valor [bar]	Instalaciones	Efectos
30	34117	0,34 [bar]	Daños irrecuperables.	Umbral rotura de tímpano.
50	12293	0,12 [bar]	Daños graves reparables	Umbral zona de alerta
100	3080	0,030 [bar]	Daños graves reparables	Umbral zona de alerta

Tabla 3-4: Resultados punto crítico B.

Con este resultado se estima que en una explosión de vapor no confinado las instalaciones a 30 son las que sufren mayores daños por la explosión de vapor de gas no confinado y las personas quedan expuestas a una rotura de tímpanos, mientras que a 50 y 100 metros sufren daños estructurales importantes y en las personas se llega a un umbral de zona de intervención por lo cual es importante que no exista gente presente al momento de la explosión.

Se seleccionaron 3 puntos importantes para la zona del punto crítico “B” ubicados de manera que a 30 metros el estacionamiento con presencia de vehículos ocasionará una explosión en cadena que aumentará los daños estructurales, a 50 metros se encuentra el comedor de alumnos y funcionarios con un alto tráfico de personas y a 100 metros los laboratorios que contienen elementos químicos de alto riesgo.

3.3 BLEVE

3.3.1 EXPLOSIÓN BLEVE ZONA CRITICA “A” CANCHA DE PASTO

Datos:

El depósito de $3[m^3]$, está lleno en un 100% con propano (almacenado licuado a presión, a temperatura ambiente), se calienta por un incendio hasta $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (19 bar aproximadamente) y estalla. Hay que calcular la radiación térmica y la sobrepresión a una distancia de 23, 75 y 100 metros.

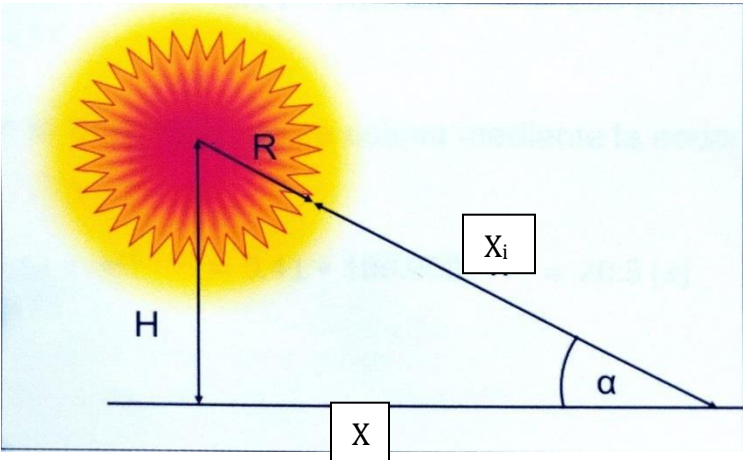
Datos

- Temperatura ambiente = $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $H_R = 50\%$ [Presión parcial del vapor de agua 1155 Pa]
- $\gamma = 1,14$
- $H_V = 4,3 \times 10^5 [J\text{ }kg^{-1}]$
- $H_c = 46000 [kj\text{ }kg^{-1}]$
- $T_{cr} = 369,8 [K]$
- $T_{eb\text{ }p.atm.} = 231,1 [K]$
- $P_{liquido,20^{\circ}C} = 500 [kg\text{ }m^{-3}]$
- $P_{liquido,55^{\circ}C} = 444 [kg\text{ }m^{-3}]$
- $P_{vapor,55^{\circ}C} = 37 [kg\text{ }m^{-3}]$
- $C_{p\text{ }liquido} = 2,4 \times 10^3 J [kg^{-1}\text{ }K^{-1}]$

Primeramente, se calcula la masa de propano:

$$M = V_l \times P_{liq\text{ }20^{\circ}C}$$
$$M = 1 \times 3m^3 \times 500 \frac{kg}{m^3} = 3 \times 500 \frac{kg}{m^3} = 1500 [kg]$$

Representación esquemática



Fuente: Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias
Figura 3-3: Representación esquemática del cálculo del BLEVE.

1) Cálculo de la radiación térmica

- Se calcula el diámetro máximo de la bola de fuego [m]:

$$D_{max} = 6,48 \times M^{0,325} = 6,48 \times 1500^{0,325} = 70 [m]$$

El diámetro de la bola de fuego es de 70 [m]

- La duración estimada de la bola de fuego[seg]:

$$t_{BLEVE} = 0,852 \times M^{0,26} = 0,852 \times 1500^{0,26} = 5,70 [s]$$

La duración de la bola de fuego es de 5,70 [s]

- Altura de la bola de fuego [m]

$$H_{BLEVE} = 0,75 \times D_{max} = 0,75 \times 70 = 52,5 [m]$$

La altura de la bola de fuego es de 52,5 [m]

- Diámetro inicial de la semiesfera a nivel de suelo [m]:

$$D_{inicial} = 1,3 \times D_{max} = 1,3 \times 70 = 91 [m]$$

El diámetro inicial de la semiesfera a nivel de suelo es de 91m

- El flujo de radiación por unidad de superficie y tiempo se obtiene [kW/m²]:

$$\begin{aligned} I_{media} &= \frac{(F_r * (-\Delta H_c) * M)}{\pi * (D_{max})^2 * t_{BLEVE}} = \frac{(0,3 * (46300) * 1500 [kg])}{\pi * (70m)^2 * 5,70s} \\ &= \frac{20835000}{3,14 * 4900 * 5,70s} \\ &= \frac{20835000}{87700} \\ I_{media} &= 237,57 [kW/m^2] \end{aligned}$$

El flujo de radiación por unidad de superficie es 237,57 [kW/m²]

Calculo a 23,75,100 metros.

Datos:

$$D_{\max} = 70[\text{m}]$$

$$t_{\text{BLEVE}} = 5,70[\text{s}]$$

$$H_{\text{BLEVE}} = 52,5[\text{m}]$$

$$D_{\text{inicial}} = 91[\text{m}]$$

$$I_{\text{media}} = 237,57 [\text{kW/m}^2]$$

Desarrollo:

Para la primera distancia el recorrido de la radiación $[x_i]$ se calcula conforme a 23 [m]:

$$\begin{aligned}x_i &= (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{\max}}{2}\right) = [(52,5^2 + 23^2)]^{0,5} - \left(\frac{70}{2}\right) \\&= [(2756 + 529)]^{0,5} - 35 \\&= [3285]^{0,5} - 35 \\&= 57,3 - 35 \\x_i &= 22,3[\text{m}]\end{aligned}$$

El recorrido de la radiación x_i es de 22,3[m]

- El factor de visión para esa distancia:

$$\begin{aligned}F_v &= \frac{D_{\max}^2}{4\left[\left(\frac{D_{\max}}{2}\right) + x_i\right]^2} = \frac{70^2}{4\left[\left(\frac{70}{2}\right) + 22,3\right]^2} \\F_v &= \frac{4900}{4[35 + 22,3]^2} \\F_v &= 0,37\end{aligned}$$

El factor de visión es de 0,37

- La Transmisividad Atmosférica $[\tau]$ se calcula:

$$\begin{aligned}\tau &= 2,02 (P_w * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 22,3)^{-0,09} \\&= 2,02 (52,15)^{-0,09} \\&= 2,02 * 0,70 \\ \tau &= 1,41\end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,41

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación $[I_r]$ se utiliza la fórmula:

$$\begin{aligned}I_r &= I_{\text{media}} * \tau * F_v = 237,57 * 1,41 * 0,37 \\I_r &= 124[\text{kW/m}^2]\end{aligned}$$

El cálculo de intensidad de radiación es de 124 [kW/m²]

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real [I_{real}]:

$$\begin{aligned}
 I_{real} &= I_r * \cos \alpha \\
 \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right) \\
 \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{52,5}{23} \right) = 2,28 \\
 - \text{Tg } 2,28 &= 66,31 \\
 \cos 66,31 &= 0,40 \\
 I_{real} &= 124 \text{ [kW/m}^2\text{]} * 0,40 \\
 I_{real} &= 49,6 \text{ [kW/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la radiación real A 23m es de 49,6kW/m².

Para la segunda distancia el recorrido de la radiación [x_i] se calcula conforme a 75 [m]:

$$\begin{aligned}
 x_i &= (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{max}}{2} \right) = [(52,5^2 + 75^2)]^{0,5} - \left(\frac{70}{2} \right) \\
 &= [(2756 + 5625)]^{0,5} - 35 \\
 &= [8381]^{0,5} - 32,5 \\
 &= 91,5 - 32,5 \\
 x_i &= 59 \text{ [m]}
 \end{aligned}$$

El recorrido de la radiación x_i es de 59m

- El factor de visión para esa distancia:

$$\begin{aligned}
 Fv &= \frac{D_{max}^2}{4[(\frac{D_{max}}{2}) + x_i]^2} = \frac{70^2}{4[(\frac{70}{2}) + 59]^2} \\
 Fv &= \frac{4900}{4[35 + 59]^2} \\
 Fv &= 0,13
 \end{aligned}$$

El factor de visión es de 0,13

- La Transmisividad Atmosférica [τ] se calcula:

$$\begin{aligned}
 \tau &= 2,02 (P_w * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 59)^{-0,09} \\
 &= 2,02 (138)^{-0,09} \\
 &= 2,02 * 0,64 \\
 \tau &= 1,29
 \end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,29

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación $[I_r]$ se utiliza la fórmula:

$$I_r = I_{media} * \tau * F_v = 237,57 * 1,29 * 0,13$$

$$I_r = 40[\text{kW/m}^2]$$

El cálculo de intensidad de radiación es de 40 $[\text{kW/m}^2]$.

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real $[I_{real}]$:

$$I_{real} = I_r * \cos \alpha$$

$$\text{Tg } \alpha = \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right)$$

$$\text{Tg } \alpha = \left(\frac{52,5}{75} \right) = 0,7$$

$$- \text{Tg } 0,7 = 35$$

$$\cos 35 = 0,81$$

$$I_{real} = 40 [\text{kW/m}^2] * 0,81$$

$$I_{real} = 32,4[\text{kW/m}^2]$$

Por lo tanto, la radiación real a 75m es de 32,4 $[\text{kW/m}^2]$.

Para la tercera distancia el recorrido de la radiación $[x_i]$ se calcula conforme a 100 [m]:

$$x_i = (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{max}}{2} \right) = [(52,5^2 + 100^2)]^{0,5} - \left(\frac{70}{2} \right)$$

$$= [(2756 + 10000)]^{0,5} - 35$$

$$= [12756]^{0,5} - 35$$

$$= 113 - 35$$

$$x_i = 78[\text{m}]$$

El recorrido de la radiación x_i es de 78[m]

- El factor de visión para esa distancia:

$$F_v = \frac{D_{max}^2}{4[(\frac{D_{max}}{2}) + x_i]^2} = \frac{70^2}{4[(\frac{70}{2}) + 78]^2}$$

$$F_v = \frac{4900}{4[35 + 78]^2}$$

$$F_v = 0,09$$

El factor de visión es de 0,09

- La Transmisividad Atmosférica $[\tau]$ se calcula:

$$\begin{aligned}\tau &= 2,02 (P_w * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 78)^{-0,09} \\ &= 2,02 (182)^{-0,09} \\ &= 2,02 * 0,62 \\ \tau &= 1,26\end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,26

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación $[I_r]$ se utiliza la fórmula:

$$\begin{aligned}I_r &= I_{media} * \tau * F_v = 237,57 * 1,26 * 0,09 \\ I_r &= [27 \text{ kW/m}^2]\end{aligned}$$

El cálculo de intensidad de radiación es de 27 kW/m²

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real $[I_{real}]$:

$$\begin{aligned}I_{real} &= I_r * \cos \alpha \\ \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right) \\ \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{52,5}{100} \right) = 0,525 \\ - \text{Tg } 0,525 &= 27,7 \\ \cos 27,7 &= 0,88 \\ I_{real} &= 27 [\text{kW/m}^2] * 0,88 \\ I_{real} &= 23,76 [\text{kW/m}^2]\end{aligned}$$

Por lo tanto, la radiación real a 100m es de 23,76 [kW/m²]

Tabla que muestra los valores del flujo de radiación térmica y sus consecuencias:

Flujo de radiación térmica Kw/m²	Tiempo máximo de exposición para personas (segundos)	Efectos sobre personas a mayor tiempo de exposición. Otros efectos sobre los materiales y estructuras
1,2	–	Recibida del sol en verano a mediodía
1,4	Infinito	(1)
1,6	–	Umbral de sensación dolorosa
2,1	60	Dolor
4,0	30	Aparición de ampollas en la piel no protegida
4,7 (2)	15-20 30	Dolor Quemaduras de primer grado Deshidratación de la madera
9,5	6	Descomposición de la madera
12,6	4	Ignición de la madera Fusión de los recubrimientos plásticos en cables eléctricos
23,0	–	Estructuras ligeras, tanques de almacenamiento y otros elementos de equipo ligeros y no protegidos pueden fallar
37,8	–	Pérdida de resistencia del acero no protegido y colapso de estructuras no ligeras

NOTAS:
(1) Nivel de intensidad de radiación térmica que se considera totalmente seguro para personas sin protecciones especiales (incluye la radiación solar).
(2) Nivel normalmente utilizado para la ubicación de antorchas para incineración en instalaciones industriales.

Fuente: Manual de métodos de análisis de riesgos y consecuencias

Tabla 3-5: Variación de los diferentes flujos de radiación con sus respectivos efectos.

Resultados de efectos de la radiación en las 3 distancias calculadas de la zona crítica “A”:

DISTANCIA	RADIACIÓN REAL	EFECTOS POR TIEMPO DE EXPOSICIÓN
23 metros	49,6 [kW/m²]	Desde la exposición recibida por el sol a mediodía hasta la incineración corporal de la piel y la debilidad resistencia de acero no protegido junto con el colapso de estructuras ligeras.
75 metros	32,4 [kW/m²]	Desde la exposición recibida por el sol para el ser humano que llega a la combustión instantánea hasta la perdida de resistencia de acero y colapso de estructuras.
100 metros	23,76[kW/m²]	Desde la exposición recibida por el sol sin posibilidad de evacuación de la persona ya que el impacto de radiación es instantáneo a mediodía hasta que fallen las estructuras ligeras, tanques de

		almacenamiento, elementos de equipo ligero no protegidos.
--	--	---

Tabla 3-6: Resultados de radiación con sus respectivos efectos.

Para las 3 distancias es recomendable que no exista presencia humana al momento del BLEVE ya que el efecto en tiempo de exposición es instantáneo y no dará tiempo a evacuar. En este caso la radiación térmica disminuye a medida que la distancia incrementa. A 23 metros el receptor está muy cerca de la bola de fuego, por lo que la densidad de energía está en su valor máximo 49,6[kW/m²].

A 100 metros el calor ya se dispersó en un volumen mucho mayor, la intensidad es baja lo que reduce el riesgo de fallas estructurales.

3.3.2 BLEVE ZONA COMEDOR

Dos estanques que juntos hacen 6 [m³], llenos en un 100% con propano (almacenado licuado a presión, a temperatura ambiente), es calentado por un incendio hasta 55 °C (19 bar aproximadamente) y estalla. Se debe calcular la radiación térmica y la sobrepresión a una distancia de 30, 75 y 100 metros.

Datos

- Temperatura ambiente = 20 °C
- $H_R = 50\%$ (Presión parcial del vapor de agua 1155 Pa)
- $\gamma = 1,14$
- $H_V = 4,3 \times 105[J\ kg^{-1}]$
- $H_c = 46000\ [kJkg^{-1}]$
- $T_{cr} = 369,8[K]$
- $T_{eb\ p.atm.} = 231,1[K]$
- $P_{liquido,20^{\circ}C} = 500[kg\ m^{-3}]$
- $P_{liquido,55^{\circ}C} = 444[kg\ m^{-3}]$
- $P_{vapor,55^{\circ}C} = 37[kg\ m^{-3}]$
- $C_{P\ liquido} = 2,4 \times 103\ [J\ kg^{-1}\ k^{-1}]$

Primeramente, se calcula la masa de propano:

$$M = V_l \times P_{liq\ 20^{\circ}C}$$

$$M = 1 \times 6m^3 \times 500\frac{kg}{m^3} = 6 \times 500\frac{kg}{m^3} = 3000[kg]$$

2) Cálculo de la radiación térmica

- Se calcula el diámetro máximo de la bola de fuego [m]:

$$D_{max} = 6,48 \times M^{0,325} = 6,48 \times 3000^{0,325} = 87,4[m]$$

El diámetro de la bola de fuego es de 87,4[m]

- La duración estimada de la bola de fuego[seg]:

$$t_{BLEVE} = 0,852 \times M^{0,26} = 0,852 \times 3000^{0,26} = 6,83[s]$$

La duración de la bola de fuego es de 6,83[s]

- Altura de la bola de fuego [m]

$$H_{BLEVE} = 0,75 \times D_{max} = 0,75 \times 87,4 = 65,55[m]$$

La altura de la bola de fuego es de 65,55[m]

- Diámetro inicial de la semiesfera a nivel de suelo [m]:

$$D_{inicial} = 1,3 \times D_{max} = 1,3 \times 87,4 = 113,62m$$

El diámetro inicial de la semiesfera a nivel de suelo es de 113,62m]

- El flujo de radiación por unidad de superficie y tiempo se obtiene [kW/m²]:

$$\begin{aligned} I_{media} &= \frac{(F_r * (-\Delta H_c) * M)}{\pi * (D_{max})^2 * t_{BLEVE}} = \frac{(0,3 * (46300) * 3000)}{\pi * (87,4m)^2 * 6,83s} \\ &= \frac{41670000}{3,14 * 7639 * 6,83s} \\ &= \frac{41670000}{163827} \\ I_{media} &= 254 [kW/m^2] \end{aligned}$$

El flujo de radiación por unidad de superficie es 254 [kW/m²]

Cálculo de recorrido entre 30,50,100 metros

$$D_{\max} = 87,4[\text{m}]$$

$$t_{\text{BLEVE}} = 6,83[\text{s}]$$

$$H_{\text{BLEVE}} = 65,55[\text{m}]$$

$$D_{\text{inicial}} = 113,62[\text{m}]$$

$$I_{\text{media}} = 254 [\text{kW}/\text{m}^2]$$

Para la primera distancia el recorrido de la radiación (x_i) se calcula conforme a 30 [m]:

$$\begin{aligned} x_i &= (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{\max}}{2}\right) = [(65,55^2 + 30^2)]^{0,5} - \left(\frac{87,4}{2}\right) \\ &= [(4297 + 900)]^{0,5} - 43,7 \\ &= 72 - 43,7 \\ x_i &= 28,3[\text{m}] \end{aligned}$$

El recorrido de la radiación x_i es de 28,3[m]

- El factor de visión para esa distancia:

$$Fv = \frac{D_{\max}^2}{4\left[\left(\frac{D_{\max}}{2}\right) + x_i\right]^2} = \frac{87,4^2}{4\left[\left(\frac{87,4}{2}\right) + 28,3\right]^2}$$

$$Fv = \frac{7639}{20736}$$

$$Fv = 0,36$$

El factor de visión es de 0,36

- La Transmisividad Atmosférica [τ] se calcula:

$$\begin{aligned} \tau &= 2,02 (P_W * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 28,3)^{-0,09} \\ &= 2,02 (66,1937)^{-0,09} \\ &= 2,02 * 0,68 \\ \tau &= 1,37 \end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,37

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación (I_r) se utiliza la fórmula:

$$\begin{aligned} I_r &= I_{\text{media}} * \tau * Fv = 254 * 1,37 * 0,36 \\ I_r &= 125 [\text{kW}/\text{m}^2] \end{aligned}$$

El cálculo de intensidad de radiación es de 125 [kW/m²]

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real [I_{real}]:

$$\begin{aligned}
I_{real} &= I_r * \cos \alpha \\
\operatorname{Tg} \alpha &= \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right) \\
\operatorname{Tg} \alpha &= \left(\frac{65,55}{30} \right) = 2,185 \\
- \operatorname{Tg} 2,185 &= 65,40 \\
\cos 65,40 &= 0,41 \\
I_{real} &= 125 \text{ kW/m}^2 * 0,41 \\
I_{real} &= 51,25 [\text{kW/m}^2]
\end{aligned}$$

La radiación real a 30 metros es de 51,25 [kW/m²]

Para la segunda distancia el recorrido de la radiación (x_i) se calcula conforme a 50 [m]:

$$\begin{aligned}
x_i &= (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{max}}{2} \right) = [(65,55^2 + 50^2)]^{0,5} - \left(\frac{87,4}{2} \right) \\
&= [(4297 + 2500)]^{0,5} - 43,7 \\
&= 82,4 - 43,7 \\
x_i &= 38,7 [\text{m}]
\end{aligned}$$

El recorrido de la radiación x_i es de 38,7[m]

- El factor de visión para esa distancia:

$$\begin{aligned}
Fv &= \frac{D_{max}^2}{4 \left[\left(\frac{D_{max}}{2} \right) + x_i \right]^2} = \frac{87,4^2}{4 \left[\left(\frac{87,4}{2} \right) + 38,7 \right]^2} \\
Fv &= \frac{7639}{27159} \\
Fv &= 0,28
\end{aligned}$$

El factor de visión es de 0,28

- La Transmisividad Atmosférica [τ] se calcula:

$$\begin{aligned}
\tau &= 2,02 (P_w * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 38,7)^{-0,09} \\
\tau &= 1,34
\end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,34

- Intensidad de Radiación [I_r]:

$$I_r = I_{media} * \tau * F_v = 254 * 1,34 * 0,28$$

$$I_r = 95,3[\text{Kw/m}^2]$$

La respuesta del cálculo de intensidad de radiación es de 95,3 [Kw/m²]

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real [I_{real}]:

$$I_{real} = I_r * \cos \alpha$$

$$\text{Tg } \alpha = \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right)$$

$$\text{Tg } \alpha = \left(\frac{65,55}{50} \right) = 1,311$$

$$- \text{Tg } 1,311 = 52,66$$

$$\cos 52,66 = 0,60$$

$$I_{real} = 95,3 [\text{kW/m}^2] * 0,60$$

$$I_{real} = 57,18[\text{kW/m}^2]$$

La radiación real a 50 m es de 57,18 kW/m²

- El recorrido de la radiación [x_i] se calcula conforme a 100 [m]:

$$x_i = (H^2 + x^2)^{0,5} - \left(\frac{D_{max}}{2} \right) = [(65,55^2 + 100^2)]^{0,5} - \left(\frac{87,4}{2} \right)$$

$$x_i = 76\text{m}$$

El recorrido de la radiación x_i es de 76[m]

- El factor de visión para esa distancia:

$$F_v = \frac{D_{max}^2}{4[(\frac{D_{max}}{2}) + x_i]^2} = \frac{87,4^2}{4[(\frac{87,4}{2}) + 76]^2}$$

$$= \frac{7639}{57312}$$

$$F_v = 0,13$$

El factor de visión es de 0,13

- La Transmisividad Atmosférica (τ) se calcula:

$$\begin{aligned}
 \tau &= 2,02 (P_w * x_i)^{-0,09} = 2,02 (2.339 * 76)^{-0,09} \\
 &= 2,02 (197,6455)^{-0,09} \\
 &= 2,02 * 0,62 \\
 \tau &= 1,25
 \end{aligned}$$

La transferencia atmosférica es de 1,25

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación [I_r] se utiliza la fórmula:

$$\begin{aligned}
 I_r &= I_{media} * \tau * F_v = 254 * 1,25 * 0,13 \\
 I_r &= 41,2 [\text{kW/m}^2]
 \end{aligned}$$

El cálculo de intensidad de radiación es de 41,2 [kW/m²]

- Para el cálculo final de Intensidad de Radiación Real [I_{real}]:

$$\begin{aligned}
 I_{real} &= I_r * \cos \alpha \\
 \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{\text{cateto op}}{\text{cat ad}} \right) \\
 \text{Tg } \alpha &= \left(\frac{65,55}{100} \right) = 0,6555 \\
 - \text{Tg } 0,6555 &= 33,24 \\
 \cos 33,24 &= 0,83 \\
 I_{real} &= 41,2 \text{ kW/m}^2 * 0,83 \\
 I_{real} &= 34 [\text{kW/m}^2]
 \end{aligned}$$

La radiación real a 100 m es de 34 [kW/m²]

Utilizamos nuevamente la tabla de los efectos de radiación por el flujo y tiempo de exposición:

Flujo de radiación térmica Kw/m ²	Tiempo máximo de exposición para personas (segundos)	Efectos sobre personas a mayor tiempo de exposición. Otros efectos sobre los materiales y estructuras
1,2	–	Recibida del sol en verano a mediodía
1,4	Infinito	(1)
1,6	–	Umbral de sensación dolorosa
2,1	60	Dolor
4,0	30	Aparición de ampollas en la piel no protegida
4,7 (2)	15-20 30	Dolor Quemaduras de primer grado Deshidratación de la madera
9,5	6	Descomposición de la madera
12,6	4	Ignición de la madera Fusión de los recubrimientos plásticos en cables eléctricos
23,0	–	Estructuras ligeras, tanques de almacenamiento y otros elementos de equipo ligeros y no protegidos pueden fallar
37,8	–	Pérdida de resistencia del acero no protegido y colapso de estructuras no ligeras

NOTAS:
(1) Nivel de intensidad de radiación térmica que se considera totalmente seguro para personas sin protecciones especiales (incluye la radiación solar).
(2) Nivel normalmente utilizado para la ubicación de antorchas para incineración en instalaciones industriales.

Tabla 3-7: Variación de los diferentes flujos de radiación con sus respectivos efectos.

Resultado de efectos de la radiación en las 3 distancias calculadas de la zona crítica “B”:

DISTANCIA	RADIACIÓN REAL	EFFECTOS POR TIEMPO DE EXPOSICIÓN
30 metros	51,25 [kW/m ²]	Desde la exposición recibida por el sol a mediodía hasta la pérdida de vidas humanas por combustión junto de la resistencia de acero no protegido y colapso de estructuras ligeras.
50 metros	57,18 [kW/m ²]	Desde la exposición recibida por el sol a mediodía hasta un aumento de la pérdida de vidas humanas por combustión junto a la resistencia de acero no protegido y colapso de estructuras ligeras.
100 metros	34 [kW/m ²]	Desde la exposición recibida por el sol a mediodía sin que la persona tenga tiempo a escapar y sumando que falla la estructura ligera, tanques de almacenamiento,

		elementos de equipo ligero no protegidos.
--	--	---

Tabla 3-8: Resultados de radiación con sus respectivos efectos.

Se tiene que la radiación térmica esperada es siempre decreciente con la distancia, pero en este caso la radiación a 50[m] es mayor que a 30[m] probablemente a un factor de visión. A corta distancia los edificios, el suelo o vehículos podrían obstruir parcialmente la visión del receptor hacia la bola de fuego en expansión. A 50[m], el receptor tiene una vista completa y sin ningún obstáculo frente a la bola de fuego en el punto máximo de potencia, lo que da como resultado el valor más alto de la radiación antes de que se disperse el calor.

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE PLAN DE PROTECCIÓN
DE LA SEDE VIÑA DEL MAR FRENTE A INCENDIOS FORESTALES

4.1 MEDIDAS PREVENTIVAS

Los incendios forestales representan una amenaza constante para las zonas boscosas de la Universidad y las comunidades cercanas alrededor de ella. Por ello, la implementación de medidas preventivas resulta fundamental dentro de cualquier estrategia de protección y gestión del riesgo. Entre estas medidas, los cortafuegos juegan un papel crucial al limitar la propagación del fuego y facilitar las labores de extinción. Asimismo, la instalación de estanques de agua permite contar con fuentes de agentes de extinción estratégicas para la respuesta ante emergencias. La organización de brigadas especializadas fortalece la vigilancia y detección temprana de incendios, mientras que la difusión de información y la educación ambiental dentro la comunidad universitaria contribuyen a la concienciación y participación en la prevención.

Este capítulo se centrará en la descripción de acciones de protección diseñadas para reducir los daños frente a un incendio forestal afecte directamente los estanques de GLP y otras infraestructuras críticas de la Universidad.

4.2 PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN

En base a lo analizado, se lleva a cabo un listado de medidas preventivas defensivas que se deben implementar dentro de las instalaciones de la Universidad para hacer frente a un posible incendio forestal y minimizar el riesgo de daños a personas, bienes y medio ambiente.

Dentro de las medidas se encuentra:

- Programa de medidas defensivas.
- Cortafuegos natural.
- Programa de limpieza y poda de vegetación.
- Inspecciones periódicas.
- Implementación Estanque de agua.
- Cortafuego para zona 1 y zona 2.
- Organizaciones para la Protección Contra Incendios Forestales.
- Mantenimiento estanques Gas Licuado Propano.
- Revisión de los sistemas de protección activa del fuego (grifos, mangueras, potencia de agua).
- Propuesta de comunicación y de difusión sobre los incendios forestales.

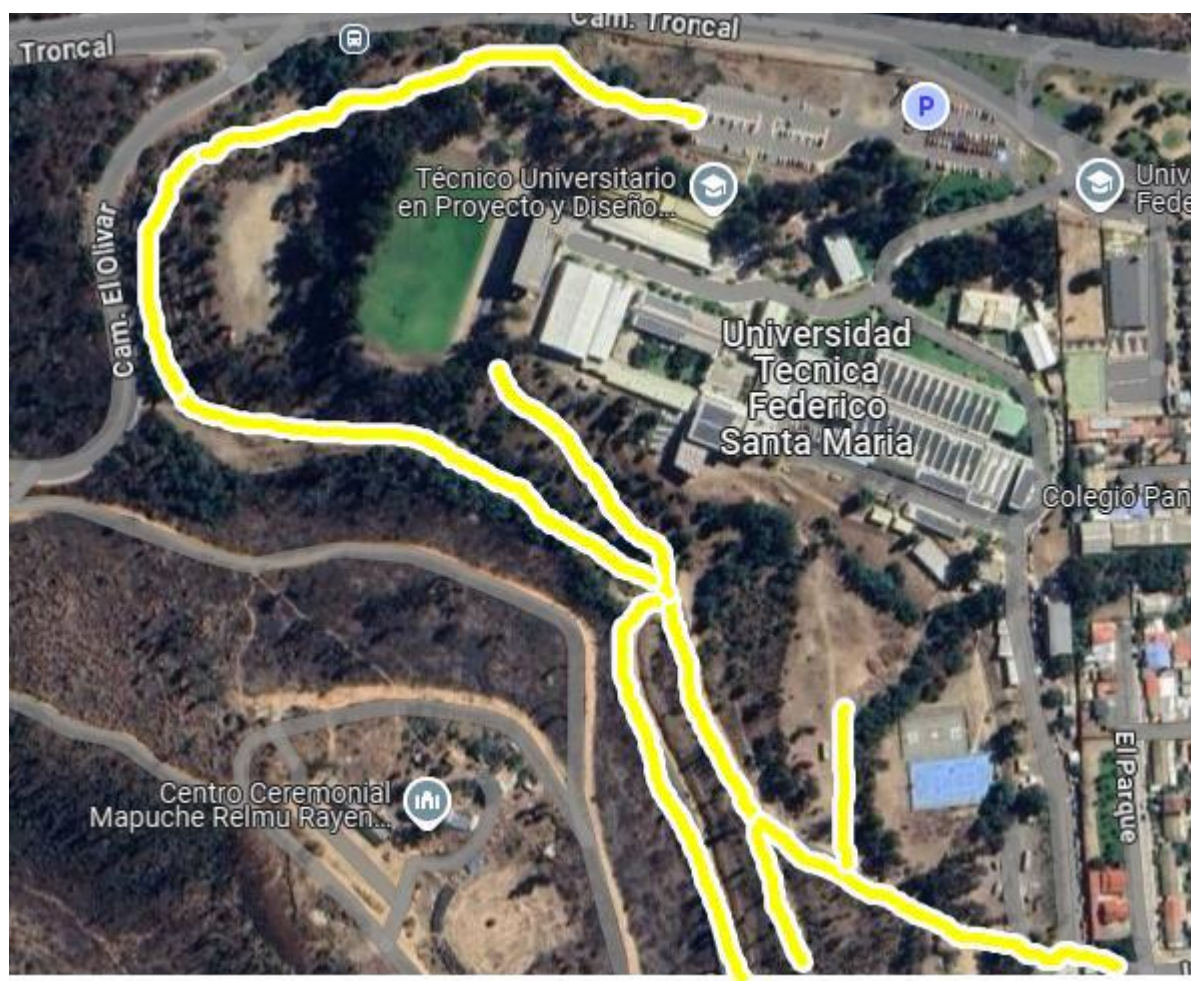
4.2.1 PROGRAMA DE MEDIDAS DEFENSIVAS

N.º	TAREA	RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN	LUGAR	PLAZO (MESES)
1	Implementación de cortafuegos perimetrales.	Encargado de Infraestructura UTFSM y Empresa contratista.	Construcción de cortafuegos naturales y artificiales en zonas críticas adyacentes al campus	Perímetro de la sede, especialmente sectores con vegetación densa.	6–12
2	Programa de limpieza y poda de vegetación.	Voluntarios y Jardinería.	Eliminación de material combustible (ramas secas, hojas, matorrales) y poda de árboles para disminuir continuidad vertical del fuego	Áreas verdes internas y quebradas cercanas.	Cada 6
3	Instalación de estanques de agua.	Infraestructura UTFSM y Empresa de servicios hidráulicos.	Montaje de estanques de agua de apoyo para uso exclusivo en emergencias	Zona cercana a cancha de pasto y portón sur.	6–9
4	Inspecciones periódicas de puntos críticos.	Departamento de Prevención de Riesgos y Comité de Emergencias.	Verificación de condiciones de seguridad de estanques GLP, grifos, mangueras y rutas de acceso	Puntos críticos A y B; sistemas de agua; accesos principales.	Cada 3
5	Mantenimiento de estanques de GLP.	Empresa distribuidora de gas y Departamento de Infraestructura.	Revisión de válvulas, tapas y protección térmica de estanques GLP para evitar fugas y BLEVE.	Puntos críticos A y B.	Cada 6
6	Programa de difusión y capacitación.	Prevención de Riesgos y Comunicaciones UTFSM.	Charlas, talleres y entrega de material informativo a estudiantes y funcionarios sobre prevención y evacuación.	Salas de clases, auditorios, plataformas digitales.	Cada 4
7	Simulacros de evacuación.	Comité de Emergencias UTFSM, SENAPRED y Bomberos	Ejercicios prácticos de evacuación y respuesta frente a incendios forestales.	Campus completo, con rutas y puntos de encuentro señalizados.	Cada 6
8	Evaluación y actualización del plan.	Comité de Emergencias UTFSM.	Análisis de la efectividad de las medidas y actualización.	Dirección de sede UTFSM.	Cada 12

Tabla 4-1: programa de medidas defensivas

4.2.2 CORTAFUEGOS ACTUAL

Según CONAF las líneas de Cortafuegos deben ser dos veces y media la altura dominante de los árboles y al menos quince metros cuando se realicen en el interior de zonas arboladas y Diez metros cuando se realicen en zonas de vegetación arbustiva o de matorral que circunden las zonas a proteger.



Fuente: Google Maps

Figura 4-1: Representación cortafuegos natural dentro de la Sede viña del mar.

La medida base del cortafuegos debe ser de 15 metros tomando en consideración que la Universidad cuenta con una zona arbolada cerca de la cancha de pasto y rodeando las otras 2 canchas deportivas.

Una buena mantención consecutiva al cortafuegos en climas de alta temperatura es una manera efectiva para evitar la propagación de incendios forestales y un método defensivo para evitar daños y catástrofes dentro de la Universidad.

4.2.2.1 MANTENCIÓN DEL CORTAFUEGOS NATURAL

	MES											
ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Limpieza intensiva de la ruta de la Universidad.												
Monitoreo y mantenimiento ligero.												
Evaluación y replantación (si es necesario).												

Tabla 4-2: Diagrama de actividades del cortafuegos natural.

4.2.2.2 CARACTERISTICAS DEL CORTAFUEGOS ACTUAL

DISEÑO DEL CORTAFUEGOS			
PARAMETRO	MEDIDA ACTUAL	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA QUE DEBE CUMPLIR	FUNDAMENTO NORMATIVO
Ancho del cortafuegos.	4 metros.	15 metros.	CONAF Chile (Manual de Cortafuegos, 2022).
Pendiente	No posee.	Si el terreno es inclinado, ampliar el ancho (+10 metros en pendientes >15%).	Recomendación CONAF para zonas de interfaz.

Tabla 4-3: diseño del cortafuegos natural

4.2.3 ACTIVIDAD DE LIMPIEZA Y PODA DE VEGETACIÓN

4.2.3.1 OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

- Reducir el riesgo de incendios forestales en el campus universitario.
- Proteger la infraestructura, la comunidad universitaria y el medio ambiente.
- Establecer un plan de mantenimiento periódico y sostenible.

4.2.3.2 FASES DE LA ACTIVIDAD

- Fase 1: Diagnóstico y Planificación

Identificación de zonas críticas: Realizar un mapeo de la Universidad para identificar áreas con alta acumulación de vegetación, cercanas a edificios, vías de evacuación o fuentes de ignición (cables eléctricos, laboratorios, etc.).

Evaluación de riesgos: Contar con expertos en gestión forestal o el prevencionista de riesgo para evaluar el nivel de riesgo de cada zona.

Establecimiento de prioridades: Definir qué áreas requieren atención inmediata y cuáles pueden ser atendidas a mediano o largo plazo.

- Fase 2: Diseño de Acciones

Limpieza de suelo: Retirar hojas secas, ramas y otros restos vegetales.

Poda de árboles y arbustos: Eliminar ramas secas, bajas o densas para evitar la propagación vertical del fuego.

Manejo de residuos: Establecer un sistema para la disposición adecuada de los restos vegetales (compostaje, trituración, etc.).

- Fase 3: Implementación

Equipos de trabajo: Formar brigadas de mantenimiento integradas por personal de la Universidad, estudiantes voluntarios para una correcta limpieza.

Herramientas y recursos: Proveer equipos como motosierras, desbrozadoras, rastrillos y equipo de protección personal.

Cronograma: Establecer fechas específicas para la ejecución de las actividades, priorizando la temporada previa a la época de incendios (mediados de otoño-invierno).

- Fase 4: Monitoreo y Mantenimiento

Evaluación periódica: Realizar inspecciones regulares para identificar nuevas zonas de riesgo o áreas que requieran mantenimiento.

Actualización del plan: Ajustar el programa según los resultados obtenidos y los cambios en el entorno.

Educación continua: Capacitar a la comunidad universitaria sobre la importancia de la limpieza y el cuidado del área verde dentro de la Universidad y cómo pueden contribuir a esta.

4.2.3.4 RECURSOS NECESARIOS

Humanos: Personal capacitado en poda y manejo de vegetación, así como voluntarios.

Materiales: Herramientas de poda, equipos de protección personal, contenedores para residuos vegetales.

Financieros: Presupuesto para la adquisición de herramientas, contratación de expertos y campañas de educación.

4.2.3.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

- Temporada previa a incendios (primavera):
- Limpieza intensiva de suelo.
 - Poda de árboles y arbustos.
 - Creación de cortafuegos.
- Temporada de incendios (verano):
- Monitoreo constante de los puntos críticos.
 - Mantenimiento ligero (retirar restos vegetales nuevos).
- Temporada posterior a incendios (otoño):
- Evaluación de daños.
 - Posible implementación de nuevas mejoras para la Universidad.

4.2.3.6 ACTIVIDADES MENSUALES DE LIMPIEZA Y PODA DE VEGETACIÓN

ACTIVIDADES	MES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Diagnósticos y planificación												
Limpieza intensiva y poda.												
Monitoreo y mantenimiento ligero												
Evaluación y replantación (si es necesario).												

Tablas 4-4: Diagrama de actividades.

4.2.4 INSPECCIONES PERIÓDICAS

Un programa de inspecciones periódicas garantiza que las medidas preventivas (como la limpieza de vegetación, redes húmedas y cortafuegos) se mantengan en óptimas condiciones.

4.2.4.1 OBJETIVOS DEL PROGRAMA

- Verificar el estado de las medidas defensivas.
- Identificar riesgos nuevos (ej. Acumulación de vegetación seca).
- Garantizar el funcionamiento de infraestructuras críticas (hidrantes, vías de evacuación).
- Cumplir con normativas.

4.2.4.2 FRECUENCIA DE INSPECCIÓN

Tipo de inspección	Frecuencia	Responsable
Inspección visual rápida	Semanal	Mantenimiento
Inspección Técnica	Mensual	Personal especializado (jardineros)
Auditoria	Anual (Antes de la temporada de incendios)	Expertos externos y el comité de seguridad.

Tablas 4-5: Tabla de inspecciones.

4.2.4.3 CHECKLIST DE INSPECCIÓN

El checklist está diseñado para evaluar periódicamente las medidas defensivas contra incendios forestales en la Universidad. Cubre aspectos clave como limpieza de vegetación, estado de infraestructuras (hidrantes, cortafuegos), seguridad en edificios y cumplimiento de protocolos. Su objetivo es identificar riesgos, priorizar acciones correctivas y garantizar un entorno seguro para la comunidad universitaria.

4.2.5 IMPLEMENTACIÓN ESTANQUE DE AGUA

4.2.5.1 UBICACIÓN

- A menos de 150 metros de áreas críticas (norma CONAF).

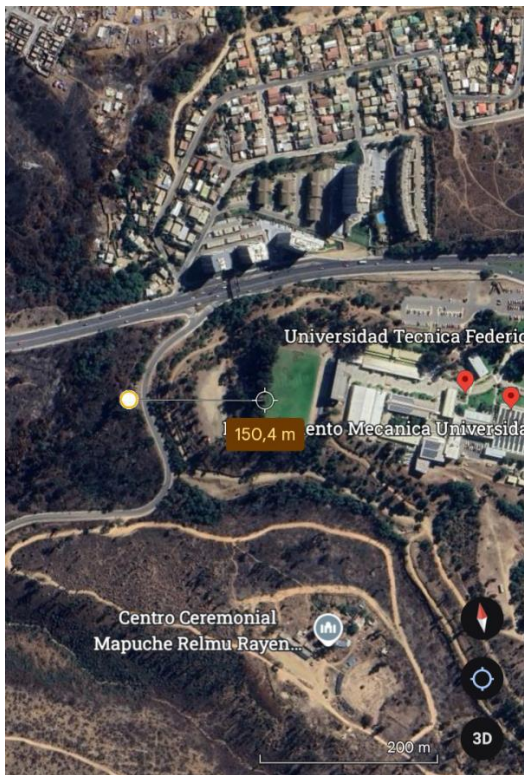
Utilizando el visor Chile preparado se puede obtener información sobre las zonas críticas que son más propensas a ser afectadas por un presunto incendio forestal.



Fuente: Visor Chile Preparado

Figura 4-2: Representación de las zonas críticas donde rojo es nivel alto, amarillo medio y verde bajo.

La Universidad se encuentra situada en el nivel medio-alto del mapa, por lo cual es importante tener como punto de referencia la zona roja para estimar los 150 metros.



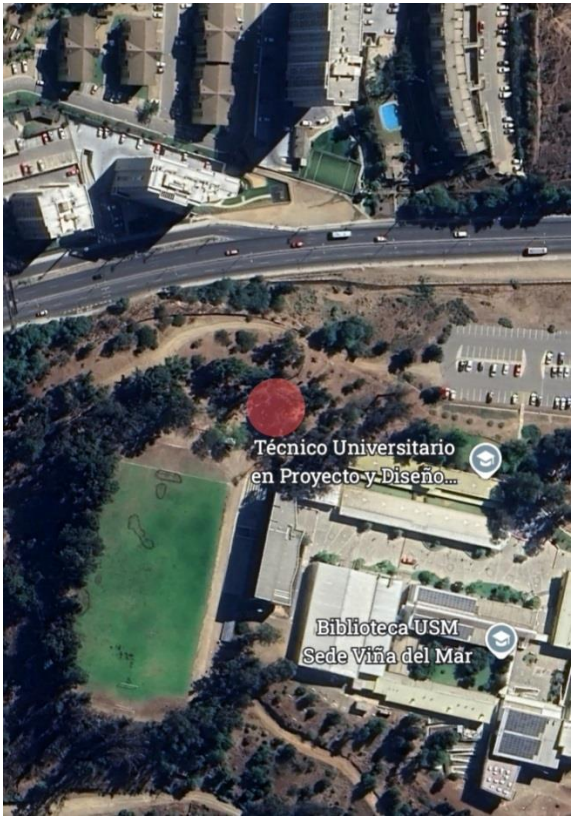
Fuente: Google Earth

Figura 4-3: Representación distancia desde zona critica a la Universidad.

- Acceso directo para camiones bomba (camino de 4 m de ancho).

La ubicación del estanque de agua debe ser alejada de la zona crítica y de los puntos críticos de los estanques de Gas Licuado Propano.

Como referencia se utiliza la cancha de fútbol y la entrada sur cerca del edificio X.



Fuente: Google Earth

Figura 4-4: Representación ubicación de estanque de agua cerca de la cancha de pasto.



Fuente: Google Earth

Figura 4-5: Representación ubicación de estanque de agua cerca de la entrada portón sur.

4.2.5.2 INFORMACIÓN PARA EL ESTANQUE

CAPACIDAD Y MATERIALES	
TEMA	DESCRIPCIÓN
Volumen	100000 litros (lo recomendado para la región)
Material	Hormigón Armado o tanques metálicos con protección UV
INFRAESTRUCTURA	
Sistema de extracción	bocas de 3 pulgadas (estándar de bomberos de Chile), bomba eléctrica con generador Diesel en caso de corte de energía.
Riesgo preventivo	Instala aspersores perimetrales para humedecer vegetación en días de alto riesgo.
PLAN DE EMERGENCIA	
Protocolo de uso	Coordinación con Bomberos y CONAF para capacitación en extracción y Simulacros semestrales con el estanque como punto clave.
Monitoreo	Inspecciones mensuales (registro en bitácora).

Tabla 4-6: datos del estanque de agua.

4.2.6 CORTAFUEGOS ZONA CRITICA 1 Y 2

Los estanques de Gas Licuado de Petróleo (GLP) son infraestructuras críticas con alto riesgo de explosión en caso de incendio forestal. Para protegerlos, se propone un cortafuegos perimetral.

4.2.6.1 DISEÑO ACTUAL DEL CORTAFUEGOS ZONA CRITICA “A” Y “B”

DISEÑO DEL CORTAFUEGOS			
PARAMETRO	DISEÑO ACTUAL	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	FUNDAMENTO NORMATIVO
Ancho del cortafuegos	No posee.	20–30 metros (mínimo 3 veces la altura de la vegetación adyacente).	CONAF Chile (Manual de Cortafuegos, 2022).
Pendiente	Los 2 puntos críticos poseen pendientes.	Si el terreno es inclinado, ampliar el ancho (+10 metros en pendientes >15%).	Recomendación CONAF para zonas de interfaz.
Materiales	Tierra y vegetación.	Capa de grava volcánica (5 cm) o suelo compactado.	NFPA 1142 (prevención de reignición).

Tabla 4-7: Tabla informativa con el diseño del cortafuegos.

4.2.6.2 MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

- contar con protección activa que se puede implementar al Instalar aspersores alimentados por el estanque de agua de la Universidad, activables en días de Alerta Roja (según CONAF) y Mangueras de emergencia en los Puntos de conexión cerca de los estanques (diámetro 2.5” para Bomberos).
- Debe existir señalización de carteles “anti-chispas” los cuales son el prohibido fumar o usar equipos eléctricos a 50m cerca del contenedor GLP.
- Vía de acceso despejada con un camino de 4m de ancho para el paso de vehículos de emergencia.

4.2.6.3 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN		
ETAPA	ACCIONES	PLAZO
Diagnóstico	Topografía y medición de área crítica.	1 mes.
Limpieza inicial	Retiro de vegetación, raíces y material combustible.	2 meses.
Construcción	Instalación de grava, sistema de riego y señalización.	2 meses.
Validación	Inspección de Bomberos y CONAF.	1 semana.

Tabla 4-8: cronograma de implementación de cortafuegos.

4.2.7 ORGANIZACIONES PARA LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS FORESTALES.

Para proteger la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) de incendios forestales, es clave trabajar con organizaciones expertas como CONAF, Bomberos de Chile, ONEMI, y municipios.

4.2.7.1 TABLA DE ORGANIZACIONES

ALIANZAS CON ORGANIZACIONES CLAVE PARA LA DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES.			
ORGANIZACIÓN	ACCIONES CLAVE	BENEFICIOS	PLAZO
CONAF	Cuenta con un Diagnóstico gratuito de riesgo en zonas críticas, la posibilidad de realizar una capacitación en uso de herramientas y Sistema Integrado de Alerta Temprana (SIAT) a una brigada y la Integración al	Acceso a mapas de riesgo actualizados Y la posibilidad de una asesoría técnica especializada.	El diagnostico de riesgo cuenta con un plazo de 0 a 3 meses. La capacitación entre 3 a 6 meses. La integración del plan nacional de protección contra incendios de 6 a 12 meses.

	Plan Nacional de Protección contra Incendios.		
Bomberos.	La posibilidad de realizar simulacros trimestrales para instruir al alumnado y personas presentes en caso de una emergencia.	Obtener una respuesta rápida ante una emergencia y la validación de la infraestructura hídrica.	Cada 3 meses y es permanente.
SENAPRED.	La realización de Talleres de evacuación y contar con el apoyo en planes de emergencia.	Protocolos estandarizados de evacuación.	Talleres de evacuación de no más de 1 mes y el plan de emergencia durante 3 a 6 meses.
Municipalidad De Viña del Mar.	Posibilidad de contar con Fondos FNDR para infraestructura y realizar una Coordinación con Protección Civil.	Financiamiento.	En un plazo de 6 a 12 meses realizar el financiamiento y las mejoras correspondientes.

Tabla 4-9: Organizaciones para la protección contra incendios.

4.2.8 MANTENIMIENTO ESTANQUES GAS LICUADO PROPANO

4.2.8.1 PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO

PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
ACTIVIDAD	FRECUENCIA	ENCARGADO	PROCEDIMIENTO
Inspección visual De los estanques GLP.	Cada 3 meses.	Empresa distribuidora de gas y prevención de riesgos.	Verificar corrosión, abolladuras y estado de válvulas.
Limpieza perimetral.	Cada 6 meses.	Departamento de mantención de la Universidad.	Retiro de vegetación en 10 m alrededor del estanque (radio extendido a 15 m en temporada de incendios).
Pintura protectora.	Cada 1 año.	Departamento de Mantención de la Universidad.	Aplicación de pintura anticorrosiva (color blanco para reflejar radiación térmica).
Revisión de señaléticas.	Cada 6 meses.	Prevención de riesgos.	Verificar que las señaléticas de los estanques no estén rayadas, desgastadas o en malas condiciones.

Tabla 4-10: Protocolo de mantenimiento

4.2.8.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES DEFENSIVAS

- Barrera Térmica: Instalación de malla ignífuga (material: fibra de vidrio con recubrimiento cerámico) a 5 m del tanque para Reducir la transferencia de calor en caso de un incendio cercano.
- Señalización: Distancia mínima segura (30 m).
- Coordinación con bomberos: Simulacro específico para fugas de GLP + incendio forestal (2 veces/año).
- Registro y documentación: Realizar una bitácora donde indique la fecha de mantenimiento, Responsable, los hallazgos y las acciones correctivas.

- Casos de estudio: Tomar en consideración situaciones y acciones realizadas durante un evento importante utilizando como ejemplo una ola de calor en la zona. Seguido de esto llevar un registro de resultados y posibles mejoras a futuro.

4.2.9 REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA DEL FUEGO (GRIFOS, MANGUERAS, POTENCIA DE AGUA).

Se tiene que cumplir un correcto mantenimiento a los sistemas de protección activa contra el fuego para aumentar de manera excepcional la correcta medida defensiva contra un presunto incendio forestal que afecte las inmediaciones de la Universidad.

4.2.9.1 EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

COMPONENTE	PARAMETRO A EVALUAR	FRECUENCIA DE REVISIÓN
Hidrantes	Presión residual y caudal	Cada 3 meses.
Mangueras	Integridad (grietas y fugas) y longitud.	Cada 3 meses.
Bocas de salida	Diámetro y tipo de acople.	Cada 6 meses.
Bombas de agua	Potencia (HP) y autonomía	Cada 1 año.

Tabla 4-11: Tabla con información sobre la evaluación de infraestructura.

4.2.10 PROPUESTA DE COMUNICACIÓN Y DE DIFUSIÓN SOBRE LOS INCENDIOS FORESTALES

El principal objetivo es el educar a la comunidad universitaria sobre los riesgos presentes y los protocolos a seguir durante una emergencia. Con el fin de Fomentar la participación estudiantil y docente logrando adquirir una respuesta inmediata ante una catástrofe por parte de la comunidad.

4.2.10.1 CANALES DE DIFUSIÓN

MEDIO DE DIFUSIÓN		
CANAL	CONTENIDO	FRECUENCIA
Redes sociales	Infografías sobre “Qué hacer en caso de incendio” y “Zonas seguras” dentro de la Universidad.	Semanal en temporada de riesgo alta y mensual en temporada baja.
Correo institucional	Boletines con el estado actual del cortafuegos, el mantenimiento de hidrantes, salidas de emergencias obstruidas o no disponibles.	Mensual con los avisos correspondientes para mantener informada a la comunidad.
Señalética física	Mantener visibles las señaléticas de zonas seguras dentro de la Universidad y demarcar flechas en el suelo que indiquen la dirección a las salidas.	Permanente.

Tabla 4-12: Tabla con información sobre los medios de difusión.

4.2.10.2 ACTIVIDADES PRESENCIALES

TALLERES PARTICIPATIVOS			
TIPO DE TALLER	PUBLICO OBJETIVO	FRECUENCIA	EJEMPLO DE ACTIVIDAD
Simulacros con humo	Estudiantes y funcionarios.	Semestral.	Evaluación guiada con máscaras.
Construcción de un cortafuegos	Voluntarios.	Anual y previo a la temporada alta de incendios.	Limpieza practica de vegetación dentro de la Universidad.
Charlas con bomberos	Docentes y personal administrativo.	Trimestral.	Demostración con mangueras y extintores.

Tabla 4-13: Tabla con información sobre posibles actividades presenciales.

4.2.10.3 EDUCACIÓN Y CONCIENCIACIÓN

- Talleres sobre prevención de incendios.
- Uso y manejo de extintores.
- Campañas de voluntariado para limpieza y poda.
- Material informativo (folletos, carteles, redes sociales).

4.2.10.4 INDICADORES DE ÉXITO

- Reducción de material inflamable en la Universidad.
- Disminución de incidentes relacionados con incendios.
- Mayor concienciación y participación de la comunidad universitaria.
- Mejora en la protección de infraestructuras y áreas verdes.

4.2.10.5 FERIAS DE SEGURIDAD

Las ferias de seguridad son eventos interactivos que combinan educación, práctica y participación comunitaria. Su objetivo es generar conciencia mediante experiencias memorables, especialmente en zonas de alto riesgo como Valparaíso y viña del mar.

Estructura base:

Nombre del evento: “UTFSM Previene: Día Contra el Fuego”

Duración: 12:15 a 14:00 horas.

Ubicación: Patio central (de fácil acceso para todos).

Frecuencia: Anual (en noviembre, previo a la temporada de incendios).

STANDS TEMÁTICOS			
STAND	ACTIVIDAD	ALIADO ESTRATÉGICO	MATERIALES DE USO
CONAF	Demostración de drones de detección temprana y un mapa interactivo de incendios históricos en la región.	CONAF	Pantallas táctil y drones.
Bomberos	Simulador de uso de mangueras (con agua a baja presión), Charla sobre Primeros 5 minutos ante una emergencia, manipulación de extintores.	Bomberos de Chile	Mangueras, trajes de bomberos, extintores.
Brigada de emergencia UTFSM.	Taller de armado de mochilas de emergencia (kit básico) y demostración de zonas seguras.	Brigada de emergencia.	Mochilas, silbato y mascarilla.
SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles)	Exposición de estanques GLP seguros vs. Inseguros y Demostración de sellos de certificación.	SEC	Maquetas de estanque o planos descriptivos, folletos.

Tabla 4-14: Tabla informativa sobre la feria.

Finalizar la actividad con una encuesta de satisfacción enviada al correo institucional para retroalimentar y mejorar la siguiente feria de seguridad.

4.3 COTIZACIÓN FINAL (PRECIOS ESTIMADOS)

4.3.1 COTIZACIÓN ESTANQUE DE HORMIGÓN 100.000 LITROS (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR).

N.º	CONCEPTO	ENCARGADO	TOTAL (CLP)	TOTAL (UF)
1	Excavación y preparación de terreno.	Constructora externa.	\$1800000	45,53
2	Concreto estructural 3000 psi.	Constructora externa.	\$11000000	278,26
3	Enfierradura.	Constructora externa.	\$2000000	50,59
4	Moldaje.	Constructora externa.	\$6000000	151,78
5	Impermeabilización interior y exterior.	Constructora externa.	\$5000000	126,48
6	Mano de obra especializada.	Constructora externa.	\$3000000	75,89
7	Válvulas y accesorios hidráulicos.	Constructora externa.	\$700000	17,71
-	TOTAL, ESTIMADO.	-	\$29500000	746,24

Tabla 4-15: cotización de valores del estanque de hormigón.

4.3.2 COTIZACIÓN CORTAFUEGOS EXPANSIÓN DEL ACTUAL Y EL DE ZONAS CRÍTICAS “A” Y “B” CON APOYO DE VOLUNTARIOS (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR).

N.º	CONCEPTO / RUBRO	ENCARGADO	TOTAL, ESTIMADO (CLP)	TOTAL (UF)
1	Limpieza y desmalezamiento	Departamento de mantención, empresa externa y voluntarios.	\$1000000	25,30
2	Poda de árboles y eliminación de ramas secas	Departamento de mantención, empresa externa y voluntarios.	\$500000	12,65
3	Excavación / despeje faja de tierra (zanjas, maquinaria)	Empresa externa	\$1000000	25,30

4	Barrera física mínima ignífuga a los puntos críticos	Departamento de mantención y empresa externa	\$3000000	75,89
5	Supervisión Técnica y coordinación profesional	Departamento de mantención	\$500000	12,65
6	Transporte de maquinaria	Empresa externa	\$500000	12,65
-	TOTAL, ESTIMADO	-	\$6500000	164,43

Tabla 4-16: cotización de valores del cortafuego.

4.3.3 COTIZACIÓN MANTENIMIENTO ESTANQUES DE GLP (PRECIOS REFERENTES, PUEDE VARIAR).

N.º	ACTIVIDAD	UNIDAD	TOTAL (CLP)	TOTAL (UF)
1	Revisión de válvulas y protecciones térmicas.	2 estanques de GLP.	\$500000	12,65
2	Mantenimiento completo.	2 estanques de GLP.	\$1000000	25,30
-	TOTAL, ESTIMADO	-	\$1500000	37,94

Tabla 4-17: cotización de valores de la mantención de estanques GLP.

4.3.4 COTIZACIÓN ACTIVIDADES DE MEDIDAS DEFENSIVAS Y DIFUSIÓN

N.º	CONCEPTO	ENCARGADO	TOTAL (CLP)	TOTAL (Uf)
1	Capacitación y talleres preventivos	Comité paritario de higiene y seguridad.	\$100000	2,53
2	Señaléticas de evacuación	Prevencionista de riesgo.	\$250000	6,32
3	Simulacro de evacuación	Comité paritario de higiene y seguridad y bomberos	\$200000	5,06
4	Inspección Técnica	Prevencionista de riesgo.	\$100000	2,53
5	Campañas educativas (digital y material impreso)	Empresa externa y comité paritario de higiene y seguridad.	\$200000	5,06
-	TOTAL, ESTIMADO	-	\$850000	21,50

Tabla 4-18: cotización de valores de las medidas preventivas.

4.4 COTIZACIÓN FINAL TOTAL (PRECIOS ESTIMADOS)

El resultado final es que se obtiene una cotización de \$38350000 millones de pesos (970,11 UF).

El valor total puede variar dependiendo de la empresa o constructora que lleve a cabo el proyecto.

Como objetivo prioritario se debería hacer un mantenimiento a los estanques de GLP de manera urgente así aseguramos una base de prevención por algún desastre a causa de un mal cuidado.

El objetivo secundario debería ser mantener a la comunidad universitaria informada de los sucesos ocurridos e instruirlos con los talleres para generar resiliencia y conciencia social para el cuidado de la Universidad.

Al tomar como prioridad los costos del mantenimiento de los estanques de GLP y la difusión para la comunidad universitaria el costo baja a \$2350000 millones de pesos (59,45 UF).

El tercer objetivo se debería desarrollar mediante la expansión del cortafuegos de la Universidad y de los estanques de GLP para evitar el acercamiento del presunto fuego de algún incendio forestal.

El cuarto y último punto la creación del estanque del hormigón es un factor importante, pero con un costo demasiado elevado, por lo tanto, es mejor priorizar en medidas de protección más económicas pero general una seguridad eficiente al igual que la creación del estanque.

Finalmente, con \$3 millones podemos reducir el riesgo crítico base, y con \$38 millones totales transformar la Universidad Técnica Federico Santa María en un referente nacional en prevención.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de este plan de protección Permitió constatar que la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Sede Viña del Mar se encuentra expuesta a un alto riesgo significativo de propagación de incendio forestal a lo largo de su terreno por la cantidad de área verde distribuida por todo el lugar y los cuales pueden agravarse debido a la presencia de los estanques de GLP en los puntos críticos. Los resultados de los posibles escenarios mediante el métodos de EVNC y BLEVE da evidencia de que la Universidad no se encuentra preparada para un desastre natural de tales proporciones. Consecuencia de esto se compromete la infraestructura y la seguridad de la comunidad universitaria.

Las medidas de protección propuestas lo que son el cortafuegos a nivel perimetral de los estanques de GLP, el cortafuegos natural extendido, el estanque de agua, el mantenimiento periódico de vegetación, la inspección de los estanques GLP y la difusión preventiva contribuyen un marco integral de protección que, de ser implementado, permitiría reducir de manera significativa los impactos de un incendio forestal en la sede. De la misma forma, la implementación de programas de comunicación y capacitación asegura que la comunidad universitaria se encuentra preparada y tenga conocimiento de los riesgos.

Se concluye que la correcta gestión de riesgos de incendios forestales en instituciones de educación superior no solamente requiere de intervenciones Técnicas, sino también de un enfoque organizado y comunitario que garantice la resiliencia frente a desastres. Así la Sede Viña del Mar tiene la oportunidad de convertirse en referente nacional en materia de prevención y protección contra incendios forestales en entornos universitarios.

Finalmente, Se recomienda seguir perfeccionando este plan mediante la incorporación de un monitoreo en tiempo real, simulaciones computacionales de propagación del fuego y una integración con un plan regional de emergencia. Estas acciones reforzarán la seguridad institucional y aportarán un desarrollo estratégico más robusto frente a un cambio climático y el aumento de desastres en temporada alta de incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Xavier Viegas, D. (1998). *Forest fire propagation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 356(1748), 2907-2928.
- [2] Viegas, D. X. (2011). *Overview of forest fire propagation research. Fire Safety Science*, 10(95), 108.
- [3] Cuesta, J. R., & Giraldo, I. O. (2013). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. Cuaderno activa*, 5, 59-67.
- [4] Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, 5-40.
- [5] DeBano, L. F., Neary, D. G., & Ffolliott, P. F. (1998). *Fire effects on ecosystems. John Wiley & Sons*.
- [6] Andrews, P. L. (2018). *The Rothermel surface fire spread model and associated developments: A comprehensive explanation*.
- [7] Pausas, J. G. (2020). *Incendios forestales. Los libros de la Catarata*.
- [8] Miranda, A. Carrasco, J. González, M. Pais, C. Lara. Altamirano, A. Weintraub, D. Syphard, A. (2021) Policy brief (CR)2: *Identificando la interfaz urbana-rural en Chile: condiciones que determinan el mayor riesgo de incendios*.
- [9] CONAF (2023). *CONAF Duplica Investigación de Incendios. Corporación Nacional Forestal*.
- [10] González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R., J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR)2*.

- [11] CONAF (2021). *Personal de CONAF usará fuego para prevenir Incendios Forestales de Magnitud. CONAF.*
- [12] Sierra, E. T. (1999). NTP 321: *Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, Madrid.*
- [13] Vásconez, D. V., & Farías, O. (2017). *La BLEVE, un motivo para la seguridad en las instalaciones de GLP. In 13 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (Vol. 10).*
- [14] A.M. Birk, M.H. Cunningham, *The boiling liquid expanding vapor explosion, J. Loss Prev. Process Ind.* 7 (1994) 474–480.
- [15] Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2007). *The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management. Journal of Hazardous materials*, 141(3), 489-519.
- [16] Planas-Cuchi, E., Salla, J. M., & Casal, J. (2004). *Calculating overpressure from BLEVE explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17(6), 431-436.
- [17] Arana, M. T., Letelier Garcés, M. S., & Casielles Maturana, I. (2018). *Prevención de incendios forestales: propuestas para una mirada más efectiva e integral.*
- [18] Martínez Saavedra, M. A. (2022). *Diseño de patrones espaciales de cortafuegos para prevenir incendios forestales.*
- [19] Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M. A., Moreno, J. M., Pereira, J. M., ... & Fernandes, P. M. (2020). *Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. Environmental Research Letters*, 15(1), 011001.
- [20] Castillo, M. (2016). *Instituciones en Chile para la defensa contra incendios de interfaz urbano-forestal. Territorium*, (23), 215-221.
- [21] Baldini, A., Gándara, E., Omegna, G., Montero, A., & Caimi, K. (2013). *CONAF: por un Chile forestal sustentable. CONAF.*

[22] Haltenhoff Duarte, H. (2010). Los grandes Incendios forestales en Chile 1985-2009.

[23] Ortiz, R. (2015). Gestión del riesgo de desastres en Chile.

[24] WildfireX (2022). Síntesis Incendios Forestales en Australia: “Black Saturday & Black Summer.” Wildfire Exchange.

ANEXO I

Anexo A: Tabla con información sobre compañías de bomberos en Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué y Villa Alemana.

UBICACIÓN	DIRECCIÓN	NOMBRE	Especialidad	Numero
Valparaíso	Sotomayor 147, Valparaíso.	Primera Compañía “Bomba Americana”	combate de incendios forestales y el manejo de agua	(32)2373241
Valparaíso	Blanco 630, Valparaíso.	Segunda Compañía de Bomberos “Bomba Germania”	rescates vehiculares y en altura	(32)2214631
Valparaíso	Pedro Montt 2078, Valparaíso.	Tercera Compañía “Cousiño y A. Edwards”	incendios forestales.	(32)2213333
Viña del Mar	Álvarez 562, Viña del Mar, Valparaíso,	Primera Compañía “José Ignacio Zenteno”	incendios estructurales y rescates vehiculares.	(32)2882988
Viña del Mar	C. Limache 3001, Viña del Mar, Valparaíso,	Tercera Compañía “Bernardo O’Higgins”	incendios estructurales e industriales	(32)2677873
Viña del Mar	Las Perdices 295, Viña del Mar, Valparaíso,	Octava Compañía “Ismael Ruiz- Tagle Léniz”	servicios de guardia nocturna	(32)2830015
Quilpué	Zenteno 770, Quilpué, Valparaíso.	Primera Compañía “Bomba Esteban Santic”	Incendios estructurales y rescates.	(32)2910029
Quilpué	Baden Powell 310, 2400000 Quilpué, Valparaíso.	Cuarta Compañía “Bomba El Belloto”	Manejo de materiales peligrosos e incendios estructurales.	(32)3325836
Quilpué	1352, Los Diamantes 1322, Quilpué, Valparaíso.	Quinta Compañía “Bomba Los Pinos”	Incendios forestales y rescates vehiculares.	(32)2150154

Villa Alemana	San Martín 331, 2470624 Villa Alemana, Valparaíso.	Primera Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alemana	incendios forestales y rescates.	(32)2950108
Villa Alemana	Santiago 566, 2470400 Villa Alemana, Valparaíso.	Segunda Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alemana “Bomba Buenaventura Joglar”	incendios forestales y rescates vehiculares.	(32)2950260
Villa Alemana	Freire, Villa Alemana, Valparaíso	Tercera Compañía de Bomberos de Villa Alemana	incendios estructurales y forestales	(32)2821183
Villa Alemana	Los Avellanos 798, 2460289 Villa Alemana, Valparaíso	Cuarta Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alemana.	Incendios forestales y emergencias en sectores rurales	(32)2982017

ANEXO II

Fotografías del estanque de GLP ubicado en la zona crítica “A” teniendo la tapa abierta, vegetación alrededor y con falta de Mantenimiento.



ANEXO III

Fotografía tomada en la zona crítica “B” donde se enseña un árbol sin podar y es el principal fuente de combustible que podría ocasionar que el piso se sobrecaliente por la cantidad exuberante de vegetación.



ANEXO IV

Fotografía con acercamiento al piso de la zona crítica “A” en donde se muestra una cantidad de vegetación en cantidades variadas y sin señales de una limpieza.



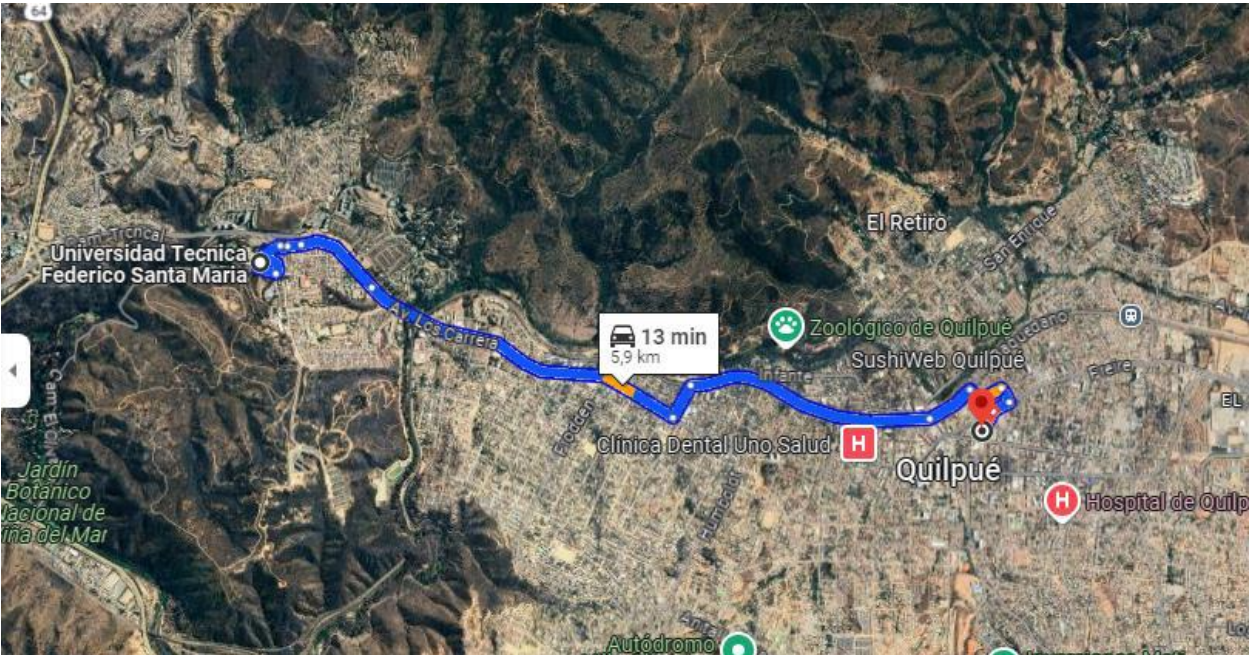
ANEXO V

Aplicación de la CONAF que muestra en el mapa distintos puntos expuestos propensos a sufrir un incendio forestal. La Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar se encuentra en una “densidad media”.



ANEXO VI

Captura que muestra la compañía de bomberos más cercana a la Universidad. La distancia está a 5,9km y queda a 13 minutos, pero este valor puede variar dependiendo de la hora, el día y si hay exceso de tráfico vehicular o no.



ANEXO VII

Fotografía que muestra el aviso de la instalación del GLP ubicado en la zona crítica “A” donde indica estrictamente que no se debe fumar. A pesar de las advertencias los alumnos siguen usando ese punto fijo como espacio para fumar.



ANEXO VIII

El checklist está diseñado para evaluar periódicamente las medidas defensivas contra incendios forestales en la Universidad. Cubre aspectos clave como limpieza de vegetación, estado de infraestructuras (hidrantes, cortafuegos), seguridad en edificios y cumplimiento de protocolos. Su objetivo es identificar riesgos, priorizar acciones correctivas y garantizar un entorno seguro para la comunidad universitaria.

CHECKLIST DE INSPECCIÓN PERIODICA

Fecha:_____

Inspector:_____

Área evaluada:_____

VEGETACIÓN Y MANEJO DE COMBUSTIBLE		
LIMPIEZA DE SUELO		
ACTIVIDAD	SI	NO
Ausencia de hojas secas, ramas o maleza acumulada.		
Retirada de troncos muertos o restos de poda.		
Áreas bajo árboles y arbustos despejadas (radio de 2 m).		
CORTAFUEGOS		
Franjas perimetrales libres de vegetación (ancho mínimo 15m).		
Mantenimiento de caminos y senderos como cortafuegos naturales.		
PODA Y ARBUSTOS		
Ramas secas o bajas eliminadas (podas hasta 2m de altura).		
Distancia mínima de 3m entre copas de árboles.		
Arbustos alejados de edificios (mínimo 5m).		

Tabla que indica la actividad de vegetación en los cortafuegos.

INFRAESTRUCTURA DE PROTECCIÓN		
RED HÚMEDA E HIDRANTES		
ACTIVIDAD	SI	NO
Presión de agua ≥ 2.5 bares (verificado con manómetro).		
Hidrantes accesibles y señalizados (sin obstrucciones).		
Válvulas operativas y sin fugas.		
Bocas de riego funcionales.		
EQUIPOS DE EMERGENCIA		
Extintores con carga vigente y etiquetas legibles.		
Mangueras contra incendios sin grietas o dobleces.		
Kits de emergencia en zonas críticas (cerca de los contenedores GLP)		
SEÑALIZACIÓN		
Rutas de evacuación visibles y sin obstrucciones.		
Carteles de prohibición de fuego.		

Tabla que indica las condiciones de las infraestructuras

EDIFICIOS Y ZONAS CRÍTICAS		
TECHOS Y CANALETAS		
ACTIVIDAD	SI	NO
Limpieza de hojas o residuos en techos planos.		
Canaletas despejadas (riesgo de chispas).		
ALMACENAMIENTO SEGURO		

Productos inflamables (laboratorios, talleres) en armarios ignífugos.		
Basura y residuos retirados de zonas exteriores.		
SISTEMAS ELÉCTRICOS		
Cables en buen estado (sin peladuras o sobrecargas).		
Transformadores alejados de vegetación (mínimo 10m).		

Tabla que indica datos de edificios y zonas críticas

PROTOCOLOS Y DOCUMENTACIÓN		
PLAN DE EMERGENCIA		
ACTIVIDAD	SI	NO
Existencia de protocolos actualizados.		
Personal capacitado en primeros auxilios y uso de extintores.		
REGISTROS ANTERIORES		
Corrección de incidencias reportadas en la última inspección		

Tabla que indica los datos de los protocolos y documentación.

OBSERVACIONES:

ANEXO IX

GLOSARIO TECNICO

1. Amenaza: Fenómeno o evento —natural o provocado por el ser humano— con potencial de causar daño a las personas, la infraestructura o el medio ambiente.
2. Riesgo: Probabilidad de que una amenaza se materialice y genere daños. Se expresa como la combinación de la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de sus consecuencias.
3. Vulnerabilidad: Grado de exposición o susceptibilidad de personas, instalaciones o sistemas a sufrir daños ante una amenaza.
4. Peligro: Situación o condición que tiene la capacidad intrínseca de causar daño.
5. Prevención: Conjunto de acciones orientadas a evitar que se produzcan eventos adversos o a reducir su impacto.
6. Mitigación: Medidas estructurales o no estructurales destinadas a reducir la severidad o los efectos de un desastre.
7. Resiliencia: Capacidad de una comunidad o sistema para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse rápidamente de los efectos de una emergencia o desastre.
8. Interfaz Urbano-Rural (IUR): Zona donde coexisten áreas habitadas y vegetación natural o cultivada. Es especialmente vulnerable a incendios forestales.
9. Combustible Vegetal: Cualquier material vegetal vivo o muerto que puede arder en un incendio forestal, como pasto seco, ramas o matorrales.
10. Ignición: Inicio del fuego. Ocurre cuando un material combustible alcanza su temperatura de combustión ante una fuente de calor o chispa.
11. Propagación: Expansión del fuego a través de materiales combustibles. Está influenciada por el viento, la humedad, la topografía y la continuidad del combustible.
12. Cortafuegos: Franja de terreno sin vegetación o con vegetación controlada que impide o retarda la propagación del fuego.
13. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Explosión producida por la falla estructural de un recipiente que contiene líquido sobrecalentado presurizado.
14. Evacuación: Proceso ordenado de desplazamiento de personas hacia zonas seguras ante la inminencia u ocurrencia de una emergencia.
15. Plan de Emergencia: Documento que establece los procedimientos, roles y recursos necesarios para responder ante situaciones críticas.
16. Sistema de Gestión del Riesgo: Marco organizacional que integra políticas, recursos y procedimientos para identificar, analizar y reducir riesgos.
17. Radiación Térmica: Energía emitida por un fuego o explosión en forma de calor radiante.
18. SENAPRED: Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. Organismo público chileno responsable de coordinar acciones de prevención y respuesta.
19. CONAF: Corporación Nacional Forestal. Entidad encargada de la prevención, detección y combate de incendios forestales en Chile.
20. Gestión Preventiva: Proceso sistemático que busca eliminar o reducir condiciones de riesgo mediante planificación, inspección, mantenimiento y capacitación.

21. Simulacro: Ejercicio de práctica que simula una emergencia para evaluar la preparación y eficacia de los planes de respuesta.
22. Protocolo de Emergencia: Conjunto de procedimientos predefinidos y planificados que se activan ante una emergencia para guiar la respuesta.
23. GLP (Gas Licuado de Petróleo): Mezcla de gases, principalmente propano y butano, licuados bajo presión para su almacenamiento y transporte. Es altamente inflamable.
24. Punto Crítico: Ubicación o elemento dentro de un sistema que, si es afectado, puede generar consecuencias desproporcionadamente grandes. En el documento, las zonas donde se ubican los estanques de GLP son los puntos críticos.
25. Sobrepresión: Incremento de presión por encima de la presión atmosférica normal, generado por una onda de choque explosiva. Se mide en bares o Pascales (Pa).
26. Radiación Térmica: Transferencia de calor por ondas electromagnéticas (infrarrojas) desde una fuente de alta temperatura, como una bola de fuego. Se mide en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2) y determina la gravedad de las quemaduras y el daño a materiales.
27. Modelo Equivalente de TNT: Método simplificado para estimar los efectos de una explosión (sobrepresión) equiparando la energía liberada a la de una masa equivalente del explosivo TNT.
28. Deflagración: Explosión en la que la velocidad de la llama a través del combustible es inferior a la velocidad del sonido.
29. Detonación: Explosión en la que la velocidad de la llama supera la velocidad del sonido, generando una onda de choque mucho más destructiva.
30. Enfierradura: Conjunto de barras de acero que se colocan dentro del hormigón para crear estructuras de hormigón armado.

ANEXO X

GLOSARIO TERMINOLOGIA UNIDAD DE MEDIDA

1. m = Metro.
2. m^2 = Metro cuadrado.
3. m^3 = Metro cúbico.
4. kg = Kilogramo.
5. J = Joule.
6. kJ/kg = Kilo joule por kilogramo.
7. Pa = Pascal.
8. Bar = Bar.
9. Psi = Libra por pulgada cuadrada.
10. $^{\circ}\text{C}$ = Grado Celsius.
11. K = Kelvin.
12. m/s = Metro por segundo.
13. s = Segundo.
14. kg/m^3 = Kilogramo por metro cúbico.
15. $^{\circ}$ = Grado.
16. W/m^2 = Watt por metro cuadrado.