

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE
GASES PELIGROSOS EN ENAP REFINERÍA ACONCAGUA**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero en Prevención de
Riesgos Laborales y Ambientales

Alumno:

Nicolás Antonio Urqueta Ramos

Profesora Guía:

Srta. Leonor Cabello Arellano

2025



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: PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS EN ENAP REFINERÍA ACONCAGUA

Nombre del candidato(a): Nicolás Antonio Urqueta Ramos

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, Leonor Cabello Arellano, 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

☒ 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:

☐ 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:

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 01/08/2025

; 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.

RESUMEN

KEYWORDS: TRANSFORMACIÓN DIGITAL, GASES PELIGROSOS, DETECTORES, MONITOREO, SEGURIDAD LABORAL.

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar una propuesta de transformación digital para el sistema de detección de gases peligrosos en ENAP Refinería Aconcagua, que permita generar una línea base para la futura implementación de un ecosistema digital de dispositivos detectores de gases peligrosos en ERA.

La metodología utilizada, en primer lugar, consistió en una ruta semi cualitativa mediante la aplicación de una encuesta a 30 trabajadores con rol de Supervisor de Operaciones y Operadores jefe del Departamento de Operaciones de ENAP Refinería Aconcagua, en la cual obtuvo una muestra de 21 personas, lo que permite un margen de error de $\pm 10,03\%$ con un nivel de confianza de un 90%. Este método permitió identificar las problemáticas y satisfacción del personal frente al sistema actual, esta información fue utilizada para definir criterios de estudio de tecnologías emergentes en este ámbito, el cual sirvió como base para la selección de proveedores, en donde el ecosistema de Blackline Safety se ajustaba de mejor manera con los requisitos definidos.

Luego, se realizó una ruta cuantitativa, con datos obtenidos en la ejecución de un Plan Piloto de los detectores seleccionados durante 10.300 horas. Esta instancia permitió obtener datos reales sobre el desempeño operativo de los dispositivos, identificar desviaciones técnicas, evaluar los tiempos de respuesta ante emergencias, estos resultados permitieron realizar las modificaciones necesarias para el diseño de la propuesta.

Como resultado de la inferencia de ambas rutas, se diseñó una propuesta denominada "Sistema Detección Digital", la cual presenta beneficios específicos como la ampliación de la cobertura de detección, mayor confiabilidad operativa, mejora en la disponibilidad de equipos, estandarización de protocolos de emergencia y trazabilidad de datos. La propuesta contempla costos proyectados por un total de USD \$1.093.035 en un horizonte de 10 años.

Se concluyó que el diseño propuesto cumple con los objetivos específicos establecidos, resultando en una alternativa técnicamente robusta y económicamente viable para digitalizar el sistema de detección de gases peligrosos en ERA.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

SIGLAS

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVO GENERAL..... 2

OBJETIVO ESPECÍFICOS 2

METODOLOGÍA..... 2

FUNDAMENTACIÓN 3

ALCANCE 4

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES DE LA ORGANIZACIÓN 5

1.1. EMPRESA NACIONAL DEL PETRÓLEO..... 6

1.1.1. Política Corporativa SSO..... 7

1.1.2. ENAP Sipetrol S.A..... 7

1.1.3. ENAP Refinerías S.A..... 7

1.1.4. Supply Chain 9

1.1.5. ENAP Magallanes..... 9

1.2. ENAP REFINERÍA ACONCAGUA 9

1.2.1. Áreas, procesos y productos 9

1.3. DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL DE ERA 14

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS EN ERA..... 16

2.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE EXPOSICIÓN A GASES PELIGROSOS 17

2.1.1. Mapa de riesgo a exposición a gases peligrosos..... 20

2.2. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD DE EXPOSICIÓN A ATMÓSFERAS PELIGROSAS21

2.2.1. Atmosferas deficientes de oxígeno..... 21

2.2.2. Atmosferas explosivas 22

2.2.3. Atmosferas tóxicas 23

2.2.4.	Límites de exposición.....	23
2.3.	DETECTORES DE GASES	24
2.3.1.	Detector individual monogas.....	25
2.3.2.	Detector portátil multigas.....	25
2.3.3.	Detector de área portátil	26
2.4.	PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN DE GASES.....	27
2.4.1.	Uso diario.....	27
2.4.2.	Trabajos en caliente	29
2.4.3.	Trabajos en espacios confinados	30
2.4.4.	Trabajos en presencia de gases peligrosos.....	30
2.4.5.	Trabajos de paro de plantas de procesos.....	30
2.5.	COSTOS ASOCIADOS A DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN	31
2.5.1.	Materiales	31
2.5.2.	Procedimiento.....	32
2.5.3.	Frecuencia y registro	32
2.5.4.	Costos anuales.....	32
2.6.	RESULTADOS DE ENCUESTA DE EVALUACIÓN.....	36
2.7.	DISCUSIONES DE ENCUESTA E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICA	46
CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE.....		49
3.1.	TRANSFORMACIÓN DIGITAL.....	50
3.1.1.	Industria 4.0.....	51
3.1.2.	Implementación de nuevas tecnologías	51
3.2.	SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GASES	52
3.2.1.	Dräger	54
3.2.2.	Blackline Safety	57
3.3.	CONCLUSIÓN ESTADO DEL ARTE	60
3.4.	SELECCIÓN DE PROVEEDORES.....	62
3.4.3.	Discusiones	63

CAPÍTULO IV: PLAN PILOTO Y PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN SISTEMA DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS DE ERA	65
4.1. PLAN PILOTO	66
4.1.1. Diseño Plan piloto.....	66
4.1.2. Metodología del Plan piloto	66
4.1.3. Bases del Plan piloto.....	67
4.1.4. Resultados del Plan piloto.....	71
4.1.5. Discusiones	72
4.2. PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL.....	76
4.2.1. Etapas del proyecto	76
4.2.2. Arquitectura del sistema	82
4.2.3. Integración del sistema.....	88
4.2.4. Gestión del Cambio	95
4.2.5. Gestión de Riesgos Emergentes	96
4.2.6. Análisis de costos.....	97
4.2.7. Beneficios a la organización	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Organigrama de ENAP	6
Figura 1-2: Organigrama del Departamento de SSO.....	14
Figura 2-1: Mapa de riesgos de exposición a gases peligrosos en ERA	21
Figura 2-2: Lay-Out zonas de dispositivos de seguridad.....	28
Figura 3-1: Innovaciones Tecnológicas Industria 4.0	51
Figura 4-1: Orden de Prioridad Contacto Emergencia Plan piloto.....	68
Figura 4-2: Protocolo respuesta a emergencia G7c Plan piloto	69

Figura 4-3: Protocolo respuesta a emergencia STEAL y TWA G7c Plan piloto	70
Figura 4-4: Protocolo respuesta a emergencia EXO Plan piloto.....	70
Figura 4-4: Organigrama Departamento Operaciones.....	83
Figura 4-5: Disposición geográfica módulos de calibración	87
Figura 4-6: Protocolo DPO y OPERACIONES Respuesta a Emergencias G7c	90
Figura 4-7: Orden de prioridad contactos de emergencia G7c DPO.....	91
Figura 4-8: Orden de prioridad contactos de emergencia G7c OPERACIONES	92
Figura 4-9: Resumen de arquitectura del Sistema Detección Digital	93
Figura 4-10: Conducto regular gestión de fallas.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Antecedentes Generales ENAP Refinerías S.A.....	7
Tabla 2-1: Valores límites permisibles de exposición a gases tóxicos presentes en ERA	23
Tabla 2-2: Valores de alarma baja y alta en detectores de ERA.	24
Tabla 2-3: Uso de EPP y dispositivos de seguridad por zona	28
Tabla 2-4: Universo de detectores de gases.....	32
Tabla 2-5: Cilindros anuales para calibrar totalidad de detectores ERA	33
Tabla 2-6: Costos de cilindros gas patrón Calgaz y costo total.....	34
Tabla 2-7: Precios lista Honeywell BW	34
Tabla 2-8: Costos anuales sistema actual	35
Tabla 2-9: Costos anuales proyectados del sistema actual	35
Tabla 2-10: Proyección de costos sistema actual sin inversión inicial	35
Tabla 2-11: Respuestas pregunta ramificada.....	41
Tabla 3-1: Tipo de sensores detector Dräger X-am 5800	55
Tabla 3-2: Precios de lista Dräger.....	57
Tabla 3-3: Tipo de sensores detector Blackline G7	58

Tabla 3-4: Precios de lista Blackline Safety	59
Tabla 3-5: Comparación Detectores individuales multigas.....	61
Tabla 3-6: Comparación Detectores portátiles de área.....	61
Tabla 3-7: Requisitos de plataforma y servicio	63
Tabla 3-8: Requisitos de detectores y componentes.....	63
Tabla 4-1: Funciones activas G7c Plan piloto.....	67
Tabla 4-2: Funciones activas EXO Plan piloto	67
Tabla 4-3: Prestaciones Blackline Live Plan piloto	68
Tabla 4-4: Discusiones de funciones G7c Plan piloto.....	72
Tabla 4-5: Discusiones de funciones EXO Plan piloto	73
Tabla 4-6: Discusiones de prestaciones Blackline Live Plan piloto.....	75
Tabla 4-7: Objetivo Presentación de Proyecto.....	77
Tabla 4-8: Contenidos Presentación de proyecto.....	77
Tabla 4-9: Objetivo Gestión de Infraestructura.....	78
Tabla 4-10: Contenidos Capacitación uso de detector G7c	80
Tabla 4-11: Contenidos Capacitación en Plataforma Blackline Live	80
Tabla 4-12: Contenidos Capacitación Calibración G7c.....	81
Tabla 4-13: Frecuencia reposición gas patrón.....	81
Tabla 4-14: Contenidos Plan de Evaluación del Sistema.....	82
Tabla 4-15: Dotación personal operativo de Departamento de Operaciones.....	83
Tabla 4-16: Universo actual de detectores Blackline.....	84
Tabla 4-17: Configuración de sensores	84
Tabla 4-18: Distribución funcional del universo de G7c.....	85
Tabla 4-19: Configuración de sensores	86
Tabla 4-20: Funciones habilitadas G7c	88
Tabla 4-21: Funciones habilitadas EXO	89
Tabla 4-22: Grupos de bump test	94
Tabla 4-23: Costos asociado a implementación Plan Piloto	97

Tabla 4-24: Inversión inicial por concepto Plan Piloto	98
Tabla 4-25: Costos asociados a implementación de propuesta.....	98
Tabla 4-26: Inversión inicial por concepto de propuesta	99
Tabla 4-27: Proyección de costos de implementación de propuesta.....	99
Tabla 4-28: Cilindros utilizados en detectores de DPO y Operaciones	100
Tabla 4-29: Costos de calibración actuales para DPO y Operaciones.....	100
Tabla 4-30: Costos anuales detectores utilizados por DPO y Operaciones.....	101
Tabla 4-31: Costos anuales proyectados de detectores utilizados por DPO y Operaciones.....	101
Tabla 4-32: Comparación de costos actuales versus propuesta.....	101

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1-1: Vista aérea ENAP Refinería Aconcagua.....	8
Imagen 1-2: Distribución áreas de procesos ERA.....	13
Imagen 2-1: GasAlert Extreme variante H ₂ S	25
Imagen 2-2: MultiRAE Lite.....	26
Imagen 2-3: Detector MeshGuard.....	26
Imagen 4-1: Lugar de instalación de módulos de calibración	87

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2-1: Nivel satisfacción de usuarios sobre prestaciones detectores monogas...	37
Gráfica 2-2: Nivel satisfacción de usuarios sobre practicidad detectores monogas.....	37
Gráfica 2-3: Nivel satisfacción de usuarios sobre prestaciones detectores multigas ...	38
Gráfica 2-4: Nivel satisfacción de usuarios sobre practicidad detectores multigas.....	38
Gráfica 2-5: Frecuencia de calibración	39

Grafica 2-6: Nivel de satisfacción con disponibilidad de detectores monogas	40
Gráfica 2-7: Nivel de satisfacción disponibilidad detectores multigas	40
Gráfica 2-8: Reportabilidad de eventos.....	41
Gráfica 2-9: Activación de alarmas falsas.....	42
Gráfica 2-10: Acceso a trazabilidad de datos	42
Gráfica 2-11: Consideración de debilidad ante detección un solo gas.....	43
Gráfica 2-12: Consideración de debilidad ante inexistencia de datos generados por detectores	43
Gráfica 2-13: Percepción respecto al sistema actual	44
Gráfica 2-14: Consideración de características que potenciarían el sistema	44
Gráfica 2-15: Nivel de conformidad respecto a incorporación de características anteriores	45
Gráfica 2-16: Nivel de conformidad a cargar batería del dispositivo.....	46
Gráfica 4-1: Cantidad y tipos de eventos	71
Gráfica 4-2: Distribución de alarmas activadas en Plan Piloto	72

SIGLAS

ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
S.A.	Sociedad Anónima
ERA	ENAP Refinería Aconcagua
SSO	Seguridad Salud Ocupacional
H ₂ S	Ácido sulfúrico
SO ₂	Dióxido de azufre
NH ₃	Amoniaco
Cl ₂	Cloro
LEL	Límite Inferior de Explosividad
UEL	Límite Superior de Explosividad
R&C	Refinación & Comercialización
E&P	Exploración & Producción
ERBB	ENAP Refinería Bío Bío
LPG	Gas Licuado de Petróleo
TMQ	Terminal Marítimo Quintero
DIPE	Di Iso Propil Eter
GNL	Gas Natural Licuado
IoT	Internet de las Cosas
CO	Monóxido de carbono
O ₂	Oxígeno
EQ	Electroquímico
IR	Infrarrojo
dB	Decibeles

D.S.	Decreto Supremo
MINSAL	Ministerio de Salud
ATEX	Atmósfera Explosiva
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
ppm	Partes Por Millón
TLV	Valor Limite Umbral
TWA	Promedio Ponderado en el Tiempo
STEAL	Límite de Exposición a Corto Plazo
ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
DPO	División Prevención Operativa
IPO	Inspector en Prevención Operativa
MOP	Movimiento de Producto

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, la convergencia de la Industria 4.0 con la gestión de la seguridad y salud en el trabajo ha dado lugar a una amplia gama de avances tecnológicos aplicados a la prevención de riesgos (De La Cruz, s.f.). Estos avances impulsan a las organizaciones que priorizan la seguridad de sus trabajadores a emprender una transición a un entorno digital. Este proceso de transformación digital presenta un desafío considerable, que incluye la habilidad de adoptar tecnologías rápidamente e incidir en elementos sociales y técnicos de los modelos de negocio, procesos, productos y estructura organizacional (Bockshecker et al., 2018).

Así, la digitalización permite un enfoque más ágil y preciso en la identificación de peligros, lo que puede marcar la diferencia en sectores industriales que operan en ambientes de alto riesgo. La correcta implementación de tecnologías aplicadas a la prevención en una organización optimiza la respuesta a emergencias y promueve un ambiente laboral más seguro y controlado.

En industrias de alto riesgo, como en Oil&Gas, la adopción de tecnologías que permitan proteger a los trabajadores es crucial, debido a los peligros inherentes de sus procesos, desde la extracción del crudo, hasta el almacenamiento y distribución de productos finales. En estos procesos físico - químicos, destaca la presencia de gases, que puede resultar en atmósferas peligrosas, que correspondería uno de los tantos peligros a los que están expuestos los trabajadores de una refinería de petróleo, entre los gases presentes en este tipo de industria se encuentran el dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, cloro y ácido sulfúrico (Chamorro et al., 2024).

En este contexto, existen tecnologías emergentes que permiten una supervisión continua y en tiempo real, ofreciendo una respuesta más eficaz ante cualquier riesgo potencial o evento en esta industria.

En este estudio se desarrollará una propuesta de transformación digital orientada a potenciar el sistema de detección de gases peligrosos en ENAP Refinería Aconcagua. Para ello, se investigarán las tecnologías disponibles en el mercado, se analizará el sistema actual de detección, se identificarán sus principales deficiencias y se evaluará técnica y económicamente la implementación de una transformación digital, con el fin de entregar una herramienta que contribuya a la toma de decisiones estratégicas de una futura implementación del sistema digital de detección de gases peligrosos en ERA.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de transformación digital en sistemas de detección de gases peligrosos en ENAP Refinería Aconcagua.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

Para dar cumplimiento al objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la problemática del sistema actual de detección de gases.
- Evaluar las tecnologías disponibles en el mercado de la detección de gases peligrosos.
- Ejecutar Plan Piloto de acuerdo con la tecnología seleccionada.
- Identificar los beneficios generados en la organización en caso de implementarse.

METODOLOGÍA

En el presente estudio mixto secuencial, en primer lugar, se identifica los antecedentes generales de ENAP Refinería Aconcagua.

Luego, se inicia una ruta de investigación semi cualitativa, en donde se recolecta información correspondiente sistema actual de detección de gases, mediante observación directa, entrevistas con expertos, y análisis documental de procedimientos y manuales de operación. Recolectada la información, se aplica una encuesta a trabajadores del Departamento de Operaciones de ERA. A partir de esta información, se analiza resultados y discusiones, se establece problemáticas y criterio de investigación de proveedores.

A continuación, se investiga sobre las últimas tecnologías del mercado en detección de gases peligrosos y se realiza reuniones con proveedores. Posteriormente, se establece

criterios de evaluación y se aplica una matriz de selección multicriterio para comparar y valorar las alternativas disponibles.

Una vez se tiene la alternativa seleccionada se da comienzo a la ruta de investigación cuantitativa, correspondiente a un Plan Piloto de evaluación de los detectores en un entorno operativo, con el fin de obtener datos reales que permitan diseñar la propuesta.

Finalmente, con base en los resultados ambas rutas, se diseña la propuesta de transformación digital, se analizan los costos asociados, se compara con una renovación de detectores actuales y se establece el beneficio que esta transformación aporta a la organización en caso de implementarla.

FUNDAMENTACIÓN

ENAP Refinería Aconcagua es una línea de negocio dedicada a la Refinación y Comercialización de ENAP Refinerías S.A, realiza actividades relacionadas con la producción y comercialización de combustibles y otros productos derivados del petróleo.

En ERA, la presencia de gases peligrosos en áreas de procesos y almacenamiento es un desafío importante, y que se tiene presente en base a experiencias propias. El año 2013 tras un accidente fatal a causa de intoxicación por H_2S , se ha implementado dispositivos detectores de mono gas (H_2S , SO_2 , NH_3 , Cl_2), obligatorios para todo trabajador que deba ingresar a las plantas de procesos. Además, se han implementado distintos dispositivos detectores de multigas, que permiten realizar un monitoreo de distintos gases y LEL, los cuales, son utilizados para mediciones específicas antes, durante o después de un trabajo crítico que lo requiera.

Con base a lo anterior, este estudio, se fundamenta en el interés de la División de Prevención Operativa, del Departamento de SSO, en diseñar una propuesta de transformación digital en el sistema de detección de gases de ERA, que permita generar una línea base para la futura implementación de un ecosistema digital de dispositivos detectores de gases peligrosos.

En este contexto, el presente trabajo de titulación se configura como una herramienta clave para la toma de decisiones y la implementación de un cambio fundamental en la gestión de riesgos de ERA.

ALCANCE

Este proyecto considera la ejecución de un Plan piloto, el diseño y evaluación económica de la propuesta, no así, su implementación.

La propuesta de transformación digital está diseñada para ser aplicable a la al uso de detección de gases personales del Departamento de Operaciones de ERA y detección y monitoreo de gases en Área de Procesos y Almacenamiento necesarios para los trabajos de Mantenimiento y áreas o equipos específicos que lo requieran, a su vez, no aplica al monitoreo fijo y permanente de gases existente en las plantas de Proceso y Almacenamiento utilizados como parte de sus sistemas de control y seguridad en la Operación de ENAP Refinería Aconcagua.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES DE LA ORGANIZACIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA ORGANIZACIÓN

Este capítulo presenta los antecedentes generales de ENAP, respecto a sus líneas de negocio y filiales, haciendo énfasis en ERA, sus procesos, plantas y el Departamento de SSO.

1.1. EMPRESA NACIONAL DEL PETRÓLEO

ENAP es una empresa del Estado, creada en 1950, por la Ley N.º 9.618, que tiene un rol estratégico para la seguridad energética de Chile a través de actividades como la exploración, producción, refinación y comercialización de combustibles y derivados del petróleo. Depende administrativamente del Ministerio de Energía.

ENAP cuenta principalmente con 2 líneas de negocio, la línea de Refinación y Comercialización, que depende de la filial ENAP Refinerías S.A. y la línea de Exploración y Producción, dependiente de la filial ENAP Sipetrol S.A.

A continuación, en la siguiente figura 1-1 se presenta el organigrama de la alta dirección de ENAP.

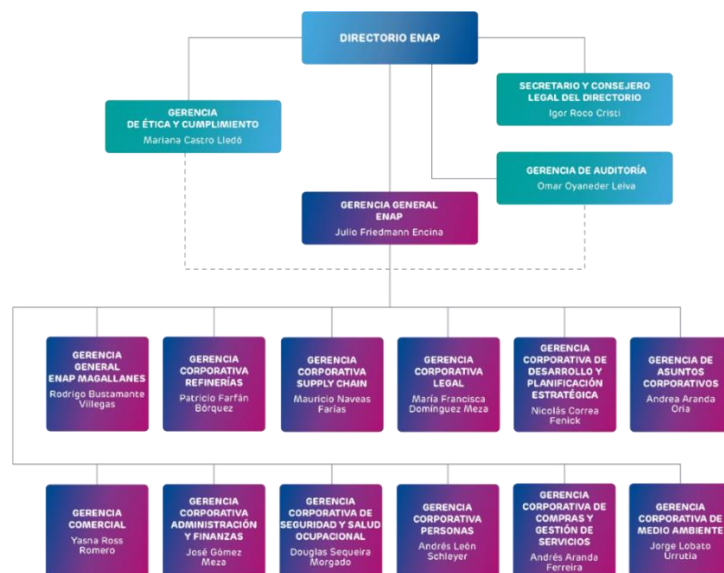


Figura 1-1: Organigrama de ENAP

1.1.1. Política Corporativa SSO

La Política Corporativa de Salud y Seguridad Ocupacional de ENAP, presentada en el ANEXO 1, establece las directrices fundamentales orientadas a resguardar la vida, la integridad física y la salud de todas las personas que participan en sus operaciones, incluyendo tanto a trabajadores propios como a contratistas. Esta política forma parte integral de los objetivos estratégicos de la empresa y pone especial énfasis en la gestión preventiva, la promoción activa de la seguridad y salud en el trabajo, el control de riesgos asociados a fatalidades, el fortalecimiento del liderazgo en seguridad y la implementación del mejoramiento continuo en todas sus actividades.

1.1.2. ENAP Sipetrol S.A.

Esta filial de ENAP fue fundada en 1990, con el propósito de desarrollar actividades de E&P de hidrocarburos fuera de Chile, aprovechando el “saber cómo” de sus equipos de profesionales y técnicos, en la búsqueda de nuevas oportunidades de negocios en el exterior. Actualmente, esta filial realiza actividades productivas en Ecuador y Egipto.

1.1.3. ENAP Refinerías S.A

ENAP Refinerías S.A. es una sociedad anónima cerrada, filial de ENAP, es creada el 1 de enero de 2004, con la fusión de la sociedad Petrox S.A con Refinería de Petróleo Concón S.A.

ENAP Refinerías S.A. depende funcionalmente de la Línea de Negocios de R&C, que es la encargada de desarrollar las actividades relacionadas con la adquisición y refinación de crudo para la producción de combustibles y otros derivados del petróleo. Además, realiza la gestión de la infraestructura logística para el transporte y almacenamiento de éstos y su posterior venta a las compañías distribuidoras del mercado nacional.

A continuación, la tabla 1-1, presenta antecedentes generales de ENAP Refinerías S.A.

Tabla 1-1: Antecedentes Generales ENAP Refinerías S.A.

Razón Social	ENAP Refinerías S.A.
Actividad o rubro	Fabricación de productos de la refinación del petróleo
RUT	87756500-9
Casa Matriz	Av. Borgoño 25777, Concón, Valparaíso
Web	https://www.enap.cl

La línea de negocios de R&C de ENAP, gracias sus principales activos, que son la Refinería Aconcagua y Refinería Bío Bío, sostienen una capacidad de destilación de 218.000 barriles día y puede abastecer más del 80% de los requerimientos de combustibles en Chile. Esta línea también se encarga de la comercialización de crudos y productos derivados del petróleo y gas natural, y del abastecimiento de crudo y gas natural para ERA, ERBB y ENAP Refinería Gregorio. La comercialización de productos derivados del petróleo y gas natural tiene como foco principal el mercado nacional, actividad que realiza con producción propia y con compras a terceros.

- ENAP Refinería Bío Bío

Esta refinería se ubica en la comuna de Hualpén, en la Región del Biobío y tiene capacidad para procesar 116.000 barriles día. Cuenta con una dotación de alrededor de 741 personas, con contrato indefinido.

- ENAP Refinería Aconcagua

Esta refinería se ubica en la comuna de Concón, en la Región de Valparaíso y produce la mayor parte de los combustibles que consume la Región Metropolitana. Tiene capacidad instalada para procesar 102.000 barriles día de petróleo crudo y cuenta con una dotación de alrededor de 783 personas con contrato indefinido, la vista aérea de sus instalaciones se presenta en la imagen 1-1.



Imagen 1-1: Vista aérea ENAP Refinería Aconcagua

Fuente: Material gráfico ENAP

1.1.4. Supply Chain

El área de Supply Chain busca fortalecer y construir un diseño integral y estratégico de la cadena de suministro de ENAP, asegurándose que a lo largo del país la empresa sea capaz de abastecer a Chile de forma eficiente y oportuna. Está a cargo de consolidar y dar cumplimiento a las demandas de logística de la Línea de Negocio de R&C y de las refinerías de ENAP en tiempo y oportunidad.

A su vez, gestiona los servicios de transporte marítimo internacional, cabotaje, operaciones, incluyendo la gestión del transporte terrestre de las operaciones de ENAP, por medio del Terminal Marítimo Quintero y San Vicente, encargados de recepcionar, cargar, almacenar y preparar productos. Además del Terminal Marítimo Vinapu de Isla de Pascua, el cual asegura el abastecimiento de combustible del territorio insular.

Supply Chain posee instalaciones industriales en las plantas de la Dirección de Almacenamiento y Oleoducto de ENAP, ubicadas en Maipú, San Fernando y Linares.

1.1.5. ENAP Magallanes

ENAP realiza actividades de exploración y producción de yacimientos de hidrocarburos, solamente en la Duodécima Región de Magallanes, donde cuenta con operaciones de producción de gas y petróleo en el área del continente e isla Tierra del Fuego. En ENAP Magallanes trabajan directamente cerca de 1.100 trabajadores, más una cifra significativa que lo hace indirectamente a través de diversas empresas contratistas.

1.2. ENAP REFINERÍA ACONCAGUA

Esta refinería tiene capacidad instalada para procesar 102.000 barriles día de petróleo crudo. La cadena de producción ERA inicia en el TMQ, que despliega funciones clave como la recepción, carga, almacenamiento del petróleo crudo, principal materia prima de ERA. El crudo es transportado desde TMQ hasta ERA mediante oleoducto, a continuación, se detalla las unidades de proceso de producción de ERA y entre paréntesis al área que pertenecen.

1.2.1. Áreas, procesos y productos

ERA es el principal productor de combustible de la región Metropolitana, entre los productos generados se encuentran los LPG, gasolina de 93 y 97 octanos, Kero Jet,

kerosene doméstico, diésel, coque de petróleo, propileno, solventes y bases para asfaltos. Para la obtención productos finales, el crudo de petróleo pasa por distintos procesos fisicoquímicos, los cuales se detallan a continuación.

- Topping I y II (Fraccionamiento)

El crudo entra a la refinería para comenzar el proceso de fraccionamiento primario. Este consiste en la primera separación por calentamiento a 370 °C de los hidrocarburos constituyentes del petróleo, que luego son separados en una columna de destilación denominada Topping. Los componentes más livianos o volátiles se separan a menor temperatura y salen por la parte superior de la columna de destilación, en tanto que los productos más pesados se obtienen en las zonas inferiores de ésta. El orden de salida de los productos de acuerdo a su volatilidad es el siguiente: gas licuado, gasolinas, nafta, kerosene, diésel, gas oil y crudo reducido. El producto de fondo o crudo reducido es enviado a las plantas de vacío. Las unidades de Topping y Vacío operan integradas para maximizar el intercambio térmico, reduciendo así el consumo energético y de refrigeración.

- Plantas de Vacío I y II (Fraccionamiento)

Las Plantas de Vacío su función es preparar una carga de alimentación adecuada para las unidades de Cracking catalítico e Hidrocracking, mediante el fraccionamiento del crudo reducido en vacío para evitar la coquificación de estos productos, el resto (pitch) es enviado a Coker.

- Reformación Catalítica (Hidrógeno)

En esta planta se produce gasolina de alto octanaje (reformato), gas licuado y gases livianos a partir de la nafta proveniente de las columnas de Topping e Hidrotratamiento de Gasolina. Esta unidad es una de las principales productoras de hidrógeno, elemento que es usado como materia prima en los procesos de obtención de productos de bajo contenido de azufre. El reformato puede contener una alta cantidad de benceno.

- Hidrotratamiento de Gasolina (Hidrógeno)

La unidad de Hidrotratamiento de Gasolina utiliza hidrógeno para desulfurar esta fracción del crudo, acondicionándolo para la carga de Reformación.

- Alquilación

Combinación química entre una isobutano y un butileno para formar hidrocarburos isómeros (isooctano) que destilan en el rango de la gasolina, que, por alto número de octano, sirve para preparar gasolina de aviación. La reacción se produce en fase líquida a baja temperatura y emplea H_2SO_4 como catalizador, el cual luego es regenerado en la Planta SAR.

Para la obtención de la isobutano, se utiliza la Planta Butamer, la cual se alimenta con una corriente de butano, donde se obtiene isobutano, propano, butano no convertido.

- Merox (Fraccionamiento)

La Unidad de oxidación de mercaptanos, desulfuriza LPG, gasolina, kerosene, transformando mercaptanos a disulfuros orgánicos, que permanecen en el producto, manteniendo el contenido total de azufre, con el objetivo de cumplir los requisitos reglamentarios de niveles de azufre en el producto.

- Isomeración (Cracking)

Esta unidad incrementa el octanaje de las gasolinas de Splitter, aumentando la producción de gasolinas alto octanaje (isomerato). La isomeración de las cadenas de hidrocarburos, resulta en un reordenamiento de los átomos y la conversión de las cadenas lineales en ramificadas. Como resultado de este reordenamiento molecular, se logra un aumento de alrededor de 10 puntos en el octanaje del isomerato producido.

- Hidrocracking (Hidrógeno)

La unidad de Hidrocracking produce gases (Fuel Gas), nafta de Hidrocracking, diésel de alta calidad y muy bajo azufre y un gas oil no convertido. En esta planta se transforma el resto del gas oil de Vacío I y II, principalmente en diésel y en menor cantidad en kerosene, nafta y gases livianos. Este proceso consiste en la reacción del gas oil con hidrógeno a temperaturas y presiones altas proveniente de la Planta de Hidrógeno.

- Cracking Catalítico (Cracking)

Es el proceso que convierte las fracciones pesadas de Hidrocarburos, en productos comercialmente más valiosos a alta temperatura y a una presión moderada en presencia de un catalizador formado por partículas finamente divididas de sílice/alúmina.

Esta planta recibe una parte del gas oil de las columnas de vacío para transformarlo en gasolina base para la preparación de gasolina de 93 octanos. También en esta planta se

obtienen gases livianos que se usan como combustible en el proceso de refinación, gas licuado, propileno, diésel y algo de fuel oil.

- Coker

La unidad de Coker, tiene como objetivo la conversión de hidrocarburos de alto peso molecular y bajo costo comercial en productos de mayor valor comercial, como lo es el diésel, nafta, gases y coque, este último es usado como combustible en la caldera de la Cogeneradora, produciendo vapor de alta presión y energía eléctrica, utilizada en procesos internos de refinería, exportando el resto.

El pitch de vacío es enviado a la planta Coker. La coquización retardada es un proceso de cracking térmico donde el calor necesario para las reacciones de coquización es proporcionado por un horno. A la salida del horno hay dos cámaras o tambores de gran tamaño y altura, donde en uno de ellos se deja reaccionar el producto por 24 horas para su coquización. El otro tambor está aislado del proceso para ser descargado de su carga de coque, utilizando herramientas de corte con agua.

- Splitter (Fraccionamiento)

La unidad de Splitter es la encargada de optimizar el uso de gasolina y nafta en la Planta de Isomerización, y Planta de Reformación Catalítica. El Splitter de Nafta permite separar la nafta en dos corrientes: una corriente de gasolina que contiene los "precursores de benceno" y que se alimenta a Isomerización, y una nafta pesada a la que se le han extraído los "precursores de benceno" y que se alimenta a la Planta de Reformación Catalítica.

- DIPE (Cracking)

Esta unidad permite cumplir con un triple objetivo: producir di-iso-propil-éter, compuesto que se utiliza en la producción de gasolina reformulada de alta calidad; reducir la emisión de componentes volátiles a la atmósfera y mejorar la calidad de combustión de las gasolinas.

- Mild Hydrocracking (Fraccionamiento)

La unidad de Mild Hydrocracking realiza el mismo trabajo que Hydrocracking, pero más suave, es decir, un menor grado de fraccionamiento, para la obtención de hidrocarburos reducidos en contaminantes. La eliminación de estos contaminantes como el azufre, nitrógeno u oxígeno se realiza rompiendo las moléculas de hidrocarburos justo donde se

encuentra el azufre unido al carbón, y mediante hidrogenación, alta presión y temperatura, se produce H_2S , NH_3 y aguas ácidas.

- Hidrotratamiento de Diésel (Hidrógeno)

La unidad de Hidrotratamiento de Diésel es la encargada de remover el azufre para generar diésel dentro de las especificaciones necesarias, está basado en la utilización de hidrógeno para cortar molécula y remover el azufre, el cual pasa a ser ácido el cual pasa a ser H_2S .

Todos los procesos de las plantas anteriormente mencionadas se resumen en el siguiente diagrama de procesos presentado en ANEXO 2.

Además, existen una serie de unidades adicionales, que tienen un enfoque en el tratamiento de corrientes de desechos, algunas de ellas son:

- Unidad Regeneración de Aminas (Cracking)
- Unidad Tratamiento de Aguas Ácidas (SWS) (Cracking)
- Unidad Recuperadora de Azufre (URA) (Cracking)
- Torres de Enfriamiento (Suministros)
- Planta Producción Soda Caustica (Cracking)
- West Gas Scrubber (Cracking)
- Tratamiento de Fenoles (Tratamiento de efluentes)

La distribución de las áreas de procesos, almacenamiento y laboratorios de ERA, se presentan en la siguiente imagen 1-2.



Imagen 1-2: Distribución áreas de procesos ERA

Fuente: Elaboración propia basada en información entregada por división

1.3. DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL DE ERA

El Departamento de SSO de ERA es el encargado de identificar, evaluar y controlar, operativa y administrativamente, todos los peligros y riesgos a los que están expuestos las personas que trabajen en la refinería, ya sean de planta o de empresas contratistas, con el objetivo de no tener, ni repetir, accidentes graves y/o fatales ni incidentes de alto potencial, evitar enfermedades profesionales y mantener la disponibilidad y confiabilidad del sistema contra incendios.

Este Departamento se encuentra compuesto de dos divisiones y un área, los cuales se detallan bajo el siguiente organigrama, correspondiente a la figura 1-2:



Figura 1-2: Organigrama del Departamento de SSO

Fuente: Elaboración propia basada en jefe Departamento SSO

A continuación, se detalla la función de cada área/división del Departamento SSO, dentro de ERA:

- Área Respuesta a Emergencias

Área encargada de la gestión preventiva del sistema contra incendios, mediante simulacros, inspecciones y mantenimiento preventivo o correctivo de equipos, además del seguimiento y cierre de brechas en los planes de emergencia. Esta área es la encargada de gestionar la Brigada de Respuesta a Emergencia de ERA, mediante la planificación y gestión de la dotación de recursos, planes de capacitación y la activación de las respuestas a emergencias.

- División Prevención Operativa

División responsable de diseñar y actualizar todos los procedimientos operativos de las actividades críticas, vigilancia en terreno y asesoramiento en las áreas de procesos, tomando como base los estándares corporativos definidos por ENAP Refinerías S.A., en su rol debe verificar y asesorar el cumplimiento de los procedimientos de seguridad en terreno, con el objetivo de priorizar la prevención de accidentes a las personas e incidentes que pudieran afectar a las instalaciones y a la disponibilidad de las plantas de procesos.

- División Gestión en Prevención

División encargada de toda la gestión preventiva de ERA, responsable del levantamiento, análisis y evaluación de riesgos, así como la gestión del Plan de Salud ocupacional y enfermedades laborales, por otro lado, se encarga de evaluación de proveedores y contratistas y su desempeño, la formulación, revisión y actualización de documentos regulatorios y la generación de informes a distintos actores.

**CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE DETECCIÓN DE GASES
PELIGROSOS EN ERA**

2. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS EN ERA

En el siguiente capítulo se analizará el sistema actual de detección de gases peligrosos en ERA, con el propósito de identificar la problemática actual, para lograr esto, se identifican las áreas de exposición a gases peligrosos, se analiza las atmósferas peligrosas generadas por estos gases, la gestión de los detectores utilizados y los procedimientos de trabajos críticos en donde se utiliza. Además, se realizará una encuesta a personal del Departamento de Operaciones de ERA que permita identificar las brechas existentes en el sistema.

Una vez recolectada la información, se procede a analizar los resultados y generar discusiones para definir las problemáticas actuales y se establecen los criterios para la evaluación de proveedores.

2.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE EXPOSICIÓN A GASES PELIGROSOS

El gas peligroso más presente y peligroso al que se encuentran expuestos las personas en ERA es el H_2S , esto debido principalmente a las propiedades inherentes de la materia prima de una refinería de petróleo, seguido por el NH_3 .

Los componentes de crudo de petróleo dependen de su lugar de origen, el crudo que alimenta ERA proviene mayoritariamente de Ecuador y otra parte de Argentina, pero en términos generales, el crudo contiene hidrocarburos y otros elementos.

El 5-20% del crudo contiene otros compuestos diferentes a los hidrocarburos, como lo puede ser los sulfuros, nitrógeno y oxígeno.

Los sulfuros son parte importante del crudo, ya que determina la calidad de este. Un crudo con un bajo porcentaje de azufre facilita la refinación de este, y, al contrario, uno con alta cantidad de azufre, dificulta el proceso de refinación. En refinería el 60-65% del azufre se convierte en H_2S al reaccionar químicamente con el hidrógeno.

A continuación, se identifica las áreas de exposición a gases peligrosos dentro de ERA.

- Fraccionamiento

En el área de Fraccionamiento por medio de las torres de Topping I y II se realiza el fraccionamiento primario del crudo precalentado, el cual tiene un alto contenido de compuestos orgánicos de azufre, los cortes de hidrocarburos más livianos salen por la parte superior de la torre, mientras que los más pesados, por la parte inferior, los cuales son enviados a las Torres de Vacío I y II. Al calentar el crudo, los compuestos azufrados pueden parcialmente romper sus enlaces y liberar H_2S por la parte media y superior de Topping, de igual manera, gran parte permanece en forma de compuestos azufrados pesados, permaneciendo en parte inferior, con los cortes más pesados de hidrocarburos. Los cortes más livianos de hidrocarburos se dirigen a la Planta de tratamiento de livianos y Tratamiento con amina, en donde se genera la mayor cantidad de H_2S en el área.

- Coker

La planta de Coker se alimenta del pich proveniente de las Torres de Vacío I y II, el cual es un corte de hidrocarburos muy pesados y de alto contenido de azufre, el pitch al pasar por el horno a temperaturas de $500^{\circ}C$ rompe enlaces de los compuestos azufrados y genera gases ligeros, entre ellos el H_2S , pudiendo encontrarse en el fraccionador de Coker, condensados y aguas acidas del sistema.

- Hidrógeno

Las unidades de Hidrotratamiento de Diesel y Gasolina mediante desulfuración, utilizan una reacción catalítica que utiliza H_2 para remover el azufre de las moléculas de los hidrocarburos, generando H_2S y diésel o nafta hidrotratada, con el objetivo de alimentar a Reformación Catalítica, la cual se encarga de aumentar el octanaje del producto.

La unidad de Hidrocracking rompe hidrocarburos pesados utilizando H_2 a temperaturas y presiones altas para producir productos más ligeros, los sulfuros presentes en su alimentación se eliminan en forma de H_2S .

- Cracking

La generación de H_2S en el área de Cracking está principalmente con la remoción de azufre de los hidrocarburos alimentados, generando subproductos que lo contengan.

Las unidades de Cracking Catalítico, Isomeración y DIPE no son generadoras de H_2S pero si se puede ver contenido en su alimentación. Además, en Cracking existen unidades relacionadas con el tratamiento de los compuestos azufrados que toda la planta.

La Unidad Regeneración de Aminas remueve el H_2S de las corrientes de gas utilizando aminas en solución acuosa, mientras que la Unidad Tratamiento de Aguas Acidas despoja

estos gases de las aguas mediante vapor, y el H_2S y NH_3 se concentra en el gas de cola y el resto del agua es enviada a Planta de Fenoles.

Ambas corrientes de H_2S de las unidades anteriores ingresan Unidad Recuperadora de Azufre, en donde se convierte el H_2S en azufre elemental mediante Proceso de Claus y se libera gases a la atmósfera, entre ellos SO_2 . Destacar que en caso de caída de cualquiera de las tres Unidad Recuperadoras de Azufre, se emite una pluma de SO_2 que en función del viento tiene el alcance de contaminar otras áreas de ERA.

- Alquilación

Alquilación no es generador directo de H_2S , pero las corrientes de butileno y propileno provenientes desde Cracking Catalítico pueden contenerlo.

La Planta SAR es la encargada de regenerar el catalizador Ácido Sulfúrico utilizado en Alquilación, la cual en su horno lo quema controladamente formando SO_3 , para reformar el ácido. Parte del SO_3 puede reducirse parcialmente a SO_2 por la oxidación incompleta del azufre, que luego es oxidado. El horno de la Planta SAR utiliza H_2S como combustible para alcanzar las temperaturas necesarias para descomponer el ácido gastado.

- Movimiento de producto

Aunque no hay procesos químicos como tal en el área de Movimiento de Producto, sí puede haber generación o liberación de H_2S o NH_3 , por razones de composición de producto, almacenamiento de aguas acidas y productos fuera de especificación (Slop) en tanques de pretilles específicos de la zona, por este motivo existe riesgos de exposición cuando se realiza movimientos de producto, aperturas de manhole e ingreso a tanques.

- Laboratorios

En los Laboratorios de ERA se realizan análisis de muestras extraídas de productos intermedios y finales (Oil&Gas), aguas residuales de pruebas hidrostáticas de tanques y corrientes de Tratamiento de efluentes, todas estas pudiendo contener diferentes contaminantes, entre ellos el H_2S y NH_3 , de manera controlada en botellas o balas presurizadas de producto.

- Tratamiento de efluentes

La corriente de agua proveniente de las Unidades de Tratamiento de Aguas Acidas y canalización de aguas lluvias alimentan a la Planta de Fenoles del área, en estas corrientes existen en disolución, cantidades de H_2S , NH_3 , SO_2 y otros hidrocarburos.

- Suministros

La División Suministros es la encargada de gestionar el suministro de aguas, vapor, aire comprimido para instrumentación, nitrógeno y electricidad a la refinería. Es dueño del Plan Local 04, distribuido en diferentes áreas de ERA, entre ellas el área Planta Suministros, Torres de Enfriamiento, Tanques de Agua.

En el área Planta Suministros no existe riesgos de exposición a H_2S por sus procesos propios, pero si existe, por su ubicación, ya que se encuentra situado entre Cracking y Fraccionamiento.

En el área de Torres de Enfriamiento se utiliza un Clorador para dosificar Cl_2 en el agua para controlar el crecimiento biológico en aguas, mismo principio utilizado en Tanque Agua de Servicios T-253, Tanque Agua a Calderas T-254 y tanques aguas de refrigeración T-251 y T-252.

2.1.1. Mapa de riesgo a exposición a gases peligrosos

En base a la información recopilada en los puntos anteriores se presenta la siguiente figura 2-1, correspondiente al mapa de riesgos de exposición a gases peligrosos en ERA, el cual, también especifica las áreas clasificadas.

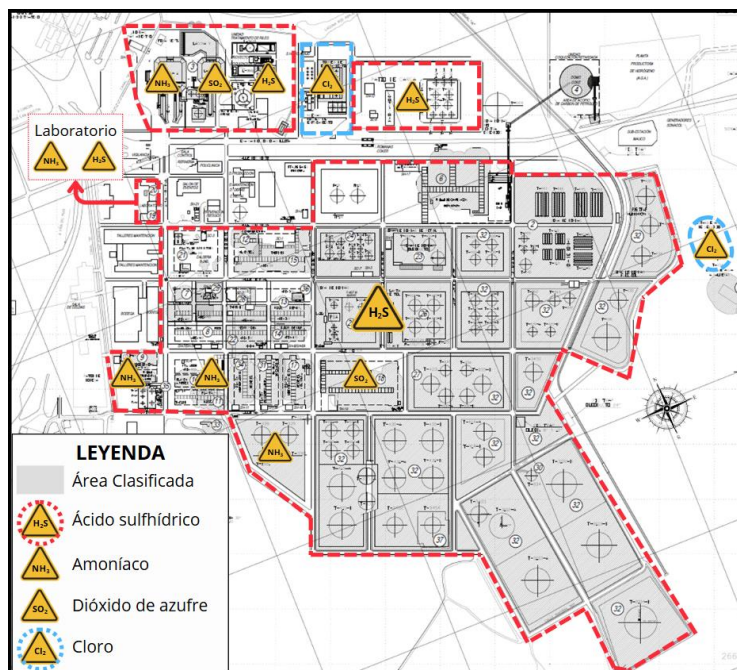


Figura 2-1: Mapa de riesgos de exposición a gases peligrosos en ERA

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

2.2. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD DE EXPOSICIÓN A ATMÓSFERAS PELIGROSAS

Para que en ERA una atmósfera sea considerada como una atmósfera normal, debe cumplir con un nivel de oxígeno entre el 19,5 y 23% de oxígeno en volumen, un 0% de LEL y el nivel de concentración de sustancias tóxicas inferior a los Límites Permisibles Ponderados establecidos en el D.S. N° 594/MINSAL.

Una atmósfera peligrosa es aquella área física que cuenta con niveles anormales de oxígeno, toxicidad, inflamabilidad y/o explosividad, y que, por lo tanto, tiene el potencial de afectar la seguridad y salud de las personas.

A continuación, se analiza las diferentes atmósferas, sus características, condiciones de riesgo, y posibles daños a la salud de las personas, además de identificar los límites de exposición a los diferentes gases que forman parte las atmósferas.

2.2.1. Atmósferas deficientes de oxígeno

Una atmósfera deficiente de oxígeno en ERA es aquella que contiene menos del 19,5% de oxígeno en volumen, se presenta en cualquier espacio confinado inerte y se puede

llegar a presentar en tanques de almacenamiento, acumuladores, faldones de torre o cualquier otro espacio confinado.

Un espacio confinado inertizado corresponde a un espacio físico cuya atmósfera ha sido saturado por un gas inerte, y en consecuencia ha desplazado su oxígeno, para realizar el ingreso a uno de estos espacios, es necesario contar con el mayor control de riesgos, de acuerdo con un permiso de trabajo y una excepción firmada por jefe de división, departamento o jefe de turno.

Si bien el D.S. N° 594/MINSAL indica que bajo un 18% de O_2 en el aire se considera atmósfera deficiente de oxígeno y se debe utilizar toda la protección correspondiente, ERA adopta este estándar a un 19,5% de volumen de O_2 . Los efectos de esta atmósfera sobre las personas comienzan a aparecer bajo el 16% de O_2 , dependiendo de la susceptibilidad de cada individuo.

2.2.2. Atmósferas explosivas

Una ATEX es la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas normales, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

Para que una atmósfera sea considerada como ATEX, la concentración de la sustancia inflamable en el aire se debe encontrar dentro del rango de inflamabilidad establecido por el LEL y el UEL, en ERA se puede dar al interior de áreas clasificadas o donde exista la presencia de combustibles inflamables.

Un área clasificada corresponde al espacio en el cual una ATEX, esta o puede estar presente, en una magnitud que requiere precauciones especiales en los trabajos a realizar.

El LEL corresponde al valor de concentración mínimo de una sustancia inflamable en mezcla con el aire entre los que puede ocurrir una inflamación. En ERA los dispositivos de detección de alertan a los trabajadores al 10 y 20% del LEL.

Entre las sustancias inflamables que se encuentran en ERA y pueden generar una ATEX se encuentra el CO y H_2S en altas concentraciones, además de propano, etileno, hidrogeno, acetileno, propileno, metano. Etano, butano, entre otras.

2.2.3. Atmósferas tóxicas

Una atmósfera toxica corresponde a una atmósfera que contiene sustancias que, por sus características y concentración, al ingresar o tener contacto con el cuerpo humano, tiene la capacidad de ocasionar daños a las personas. En ERA las más comunes en áreas de procesos son H₂S, CO, SO₂, NH₃ y Cl₂.

2.2.4. Límites de exposición

El D.S. N° 594/MINSAL establece los valores máximos permitidos de exposición a agentes químicos, por sobre los cuales, las sustancias son capaces de causar efectos agudos o crónicos sobre las personas, en función de los gases presentes en ERA, el decreto indica:

- Límite Permisible Ponderado: Valor máximo permitido para el ponderado promedio de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales.
- Limite Permisible Temporal: Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos en los lugares de trabajo, medidas en un período de 15 minutos continuos dentro de la jornada de trabajo.

Para los gases presentes en ERA, los valores limites corresponden a los presentados a continuación en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Valores límites permisibles de exposición a gases tóxicos presentes en ERA

Gas \ Valor límite	LPP		LPT	
	[ppm]	[mg/m3]	[ppm]	[mg/m3]
H2S	8,8	12,3	15	21
CO	44	48	-	-
SO2	1,7	4,4	5	13
NH3	22	15	35	24
CL2	0,4	1,3	1	2,9

Fuente: D.S. N° 594/MINSAL

2.3. DETECTORES DE GASES

En ERA tras un accidente fatal por intoxicación por H₂S se implementó el uso obligatorio de detectores individuales monogas en áreas de procesos, en un principio, solamente para H₂S, luego SO₂ y posteriormente NH₃ y Cl₂.

Las mediciones puntuales necesarias para realizar diferentes trabajos críticos en áreas de procesos, se utilizan detectores portátiles multigas, estos detectores son capaces de medir simultáneamente H₂S, CO, LEL y O₂, y, además, un gas entre SO₂, NH₃ y Cl₂.

Otra opción que se maneja en ERA son los detectores de área portátil monogas, estos miden un solo gas o LEL, y se instalan periódicamente en lugares donde existe la probabilidad de que algún escape de gas que genere una atmósfera peligrosa.

Todos estos dispositivos cuentan con una alarma sonora, que se activa en dos oportunidades, la primera alarma es la baja, la cual se activa cuando la concentración del gas en el ambiente supera el TLV TWA de la sustancia, la segunda es la alarma alta, que se activa al momento que la concentración del gas supera su TLV STEAL.

Gran parte de los detectores del mercado, incluyendo los disponibles en ERA, funcionan bajo los TLV TWA y TLV STEAL de la ACGIH, por lo que es necesario considerar que corresponden a un símil del LPP y LPT del D.S. N° 594/MINSAL respectivamente, con la diferencia de que el TLV TWA corresponde al límite para 8 horas diarias y 40 semanales, y el LPP, 8 horas diarias y 45 semanales. Los valores TLV, son más restrictivos que los de la normativa chilena, por esta razón, ERA no configura estos límites de exposición de sus trabajadores a la normativa chilena, los valores de las alarmas baja y alta utilizados se presentan en la siguiente tabla 2-2.

Tabla 2-2: Valores de alarma baja y alta en detectores de ERA.

Gas \ Alarma	Alarma baja	Alarma alta
H ₂ S	8 [ppm]	15 [ppm]
CO	40 [ppm]	100 [ppm]
SO ₂	1,6 [ppm]	5 [ppm]
NH ₃	20 [ppm]	35 [ppm]
CL ₂	0,4 [ppm]	1 [ppm]
O ₂	19,5%	22%
LEL	10%	20%

Fuente: Intranet de ENAP

2.3.1. Detector individual monogas

En ERA existen dos detectores individual monogas, el primero y más común, el GasAlert Extreme de la marca BW Honeywell, y el segundo es el PAC 6000 de la marca Dräger.

GasAlert Extreme de la marca BW Honeywell es un detector individual monogas, disponibles en ERA para la detección de H_2S , SO_2 , NH_3 y Cl_2 . Este dispositivo es utilizado a diario por todo el personal de ERA y se presenta en la siguiente imagen 2-1.

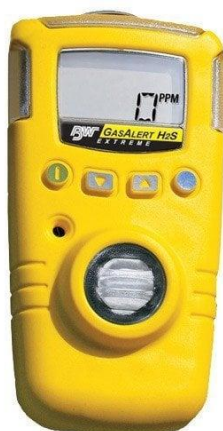


Imagen 2-1: GasAlert Extreme variante H_2S

Fuente: <https://www.bw-gasmonitors.com>

2.3.2. Detector portátil multigas

El detector portátil multigas utilizado en ERA es el MultiRAE Lite de la marca BW Honeywell, este dispositivo es capaz de medir simultáneamente H_2S , CO, LEL y O_2 , y, además, un gas entre SO_2 , NH_3 y Cl_2 , ya sea por bomba o difusión ligado a una batería de 12 a 18 horas de duración respectivamente dependiendo del modo que se utilice. Se utiliza para realizar mediciones puntuales o continuas en trabajos críticos, principalmente de LEL y autorización de permisos de trabajo, este dispositivo se presenta en la siguiente imagen 2-2.



Imagen 2-2: MultiRAE Lite

Fuente: <https://www.rae-gasmonitors.com>

2.3.3. Detector de área portátil

Las áreas de procesos de ERA son áreas con constante riesgo de exposición a gases peligrosos, con plantas más críticas que otras en este aspecto. En ocasiones se suelen presentar fugas de estos gases en concentraciones muy bajas en equipos específicos, para estos casos se instala el detector MeshGuard de la marca RAE, presentado en la siguiente imagen 2-3+.



Imagen 2-3: Detector MeshGuard

Fuente: <https://prod-edam.honeywell.com>

MeshGuard es un dispositivo monogas se instala en estas zonas de alto riesgo de exposición de manera periódica, las lecturas de este detector pueden ser autónoma

(solamente display y alarma), centro de control local, o bien, monitoreadas desde la sala de control de ERA. Además, permite en enlace de distintos detectores para abarcar un área más extensa.

El sistema permite el acoplamiento de un panel solar para aumentar la autonomía del detector mediante una batería externa, un repetidor de señal que permite que la señal de monitoreo en vivo llegue al centro de control que puede ser bien, la Sala de Control de ERA o un centro de control local.

2.4. PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN DE GASES

Los diferentes detectores disponibles en ERA son utilizados de acuerdo con los requisitos establecidos en diferentes procedimientos de trabajo críticos. A continuación, se analiza los siguientes contextos que requieren el uso de algún tipo de detector de gases peligrosos.

2.4.1. Uso diario

De acuerdo con el "Procedimiento de uso de Elementos de Protección Personal y Dispositivos de Seguridad mínimos en áreas de ERA". El detector se debe portar en la parte frontal torácica, en donde se pueda ver, escuchar y percibir las alarmas, por fuera de ropa de trabajo, visible en todo momento y siempre en conjunto con el MiniSCAPE. Destacar que el detector de gases se considera un dispositivo de seguridad, y que se encuentra prohibida la exposición a un gas objetivo en una concentración diferente a 0 [ppm].

A continuación, se establece el uso de dispositivos de seguridad mínimos para ingresar, transitar y permanecer en distintas zonas de acuerdo con la siguiente figura 2-2 en función de las características de sus peligros.

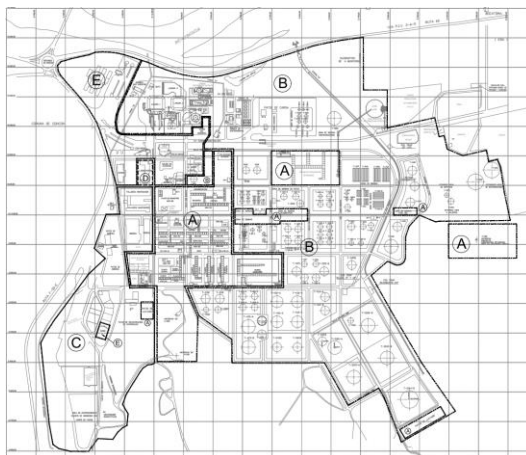


Figura 2-2: Lay-Out zonas de dispositivos de seguridad

Fuente: Intranet de ENAP

Al ser el H_2S el principal gas al que están expuestos los trabajadores de ERA, se presenta la siguiente tabla 2-3 que indica las zonas en las cuales es obligatorio el uso de distintos EPP y dispositivos de seguridad, destacando el detector de H_2S .

Tabla 2-3: Uso de EPP y dispositivos de seguridad por zona

EPP/DS \ ZONA	A	B	C	D	E
Casco y barbiquejo	SI	SI	SI	NO	NO
Lentes de seguridad	SI	SI	SI	SI	NO
Calzado de seguridad	SI	SI	SI	SI	NO
Protectores auditivos	SI	NO	NO	NO	NO
Guantes	SI	SI	SI	SI	NO
Detector de H_2S	SI	SI	NO	SI	NO

Fuente: Intranet de ENAP

El uso de detector individual monogas de H_2S es obligatorio en las Zonas A, B y D, no así en la Zona C, correspondiente a barrio contratista, bodegas y campo de fuego, ni la Zona E, correspondiente a edificios administrativos y casino.

La Zona A corresponde a las áreas de Fraccionamiento, Hidrógeno, Coker y Cracking, en las cuales el uso de detector de H_2S es obligatorio. A estas áreas, se le suma Suministros

y Alquiler, que además del detector de H_2S , en Suministros se debe portar detector de Cl_2 , y en Alquiler y Patio de Soda detector de SO_2 .

La Zona B hace referencia a toda la zona exterior de las áreas de procesos dentro de ERA, acá se encuentra Movimiento de producto (tanques de almacenamiento de crudos, intermedios, finales y LPG), Tratamiento de efluentes, además de oleoductos, trampas de conejo y Patio de acopio de azufre, en todas las zonas anteriormente nombradas se debe portar el detector de H_2S , no así, en el resto de la Zona B.

En la Zona D, correspondiente a los Laboratorios también se debe hacer uso de detector de H_2S .

En cualquier situación de peligro que se presente, donde se active la alarma de cualquier detector de gas, se debe activar un protocolo de retiro de la zona en cuestión. Para esto el trabajador debe utilizar su MiniSCAPE de MSA, un dispositivo individual de escape con un filtro que permite una autonomía propia para cada gas bajo las siguientes condiciones nocivas para la salud.

2.4.2. Trabajos en caliente

En ERA un trabajo en caliente es toda aquella actividad que no forma parte del funcionamiento habitual de las unidades de proceso y que puede producir la energía suficiente (en forma de llama, chispa, incandescencia u otra) para causar la ignición de vapores, gases o polvos inflamables presentes.

La medición previa se realiza por parte de Operaciones, con un dispositivo MultiRAE Lite, quedando registro en el permiso de trabajo. Durante el desarrollo del trabajo, se realiza medición de inflamabilidad (LEL) en forma permanente o periódica, registrando con la frecuencia que se establezca en el análisis de riesgos documentado, que no sea mayor a intervalos de 4 horas.

En caso de que el trabajo en caliente genere proyección de partículas incandescentes y/o llama abierta, la medición de inflamabilidad en el área circundante es permanente.

Toda persona que realice trabajos en caliente debe asegurar que se inicien y mantengan las tareas en condiciones de 0% LEL, así mismo detener su trabajo inmediatamente, si el equipo de monitoreo detecta la presencia de gases o vapores inflamables e informar esta situación a su supervisión, todo esto dentro área de seguridad, no menor a un radio de 11 metros del trabajo.

2.4.3. Trabajos en espacios confinados

Un trabajo en espacio confinado es un ambiente que no ha sido construido para ser ocupado por un tiempo prolongado por las personas, se caracteriza por tener un espacio reducido, poca ventilación natural, medios limitados para entrar o salir, con potencial deficiencia de oxígeno o de presencia de atmósferas peligrosas y contiene material que tiene el potencial para atrapar a la persona que entra.

Los requisitos para liberar y trabajar en espacios confinados en áreas con el potencial de atmósferas peligrosas son los siguientes:

- Concentración de oxígeno entre 19.5% y 22.5%.
- LEL 0% para trabajos en caliente y LEL < 10% para trabajos de limpieza o inspección.
- Concentración atmosférica de cualquier sustancia a un nivel inferior al límite permisible ponderado publicada por normativa legal vigente, corregidos según las horas de exposición.
- Mediciones continuas durante el desarrollo del trabajo o de acuerdo con una periodicidad mínima definida el análisis sistemático de riesgos, en caso de espacios confinados Clase B, la medición es continua con un dispositivo individual monogas.

2.4.4. Trabajos en presencia de gases peligrosos

Para trabajos en presencia de gases peligrosos se utiliza equipos de aire en línea o equipos autónomos, por lo que el ejecutante no debe utilizar ningún detector de gas.

2.4.5. Trabajos de paro de plantas de procesos

En ERA existen estándares, procedimientos, reglamentos e instructivos que regulan las actividades que se desarrollan al interior de sus instalaciones o bajo su responsabilidad, el Manual de Paro es un procedimiento el cual regula situaciones excepcionales que sólo se dan en las actividades de Paros de Plantas, respecto al control atmosférico se tiene:

- La medición para entrega de equipos en trabajos de espacios confinados se realiza por personal ERA autorizado, al momento de iniciar las actividades de mantención programada. Durante los turnos sucesivos es la empresa contratista la que debe realizar las mediciones para dar la continuidad de las actividades.

- La medición para entrega de circuitos de cañerías asociadas a trabajos en caliente es desarrollada por personal de Operaciones, según lo indica el procedimiento de trabajos en caliente.
- El Ejecutante es el encargado de realizar mediciones entre cambio de turnos de atmósferas en espacios confinados y trabajos en caliente, para verificar que no han cambiado las condiciones de inicio de los trabajos, indicando fecha, equipo de medición, calibración del equipo, hora y personal autorizado.

2.5. COSTOS ASOCIADOS A DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN

Detectores como el GasAlterExtreme y el MultiRAE Lite no son desechables, es decir, se pueden mantener operativos siempre y cuando se realicen sus mantenciones de componentes y calibración de sensores correspondientes según fabricante.

Los detectores MeshGuard MRAE no se calibran desde el año 2021, motivo por el cual no se encuentran disponibles para monitorear y no se consideran en el análisis.

El Área de Electrónica de la División Electricidad e Instrumentos es la encargada de realizar la mantención y calibración de todos los detectores utilizados por personal de ERA.

2.5.1. Materiales

El principal material necesarios para realizar la calibración de los dispositivos GasAlterExtreme y MultiRAE Lite corresponden respectivamente a dos mesas de calibración MicroDock II y dos mesas AutoRAE II.

Para realizar las calibraciones de los detectores se utilizan diferentes gases patrones o gases de calibración, los cuales están certificados por estar preparados gravimétricamente, es decir, se elabora en base en su masa, para especificar los componentes del gas en volumen, porcentaje en peso y concentración. Existen gases patrón de un solo gas, utilizados principalmente para la calibración de detectores monogases, y también, gases patrón de una componente gaseosa, que permite calibrar dispositivos multigases de manera más eficiente.

Para conectar el gas patrón a un módulo de calibración, se necesitan 2 componentes, estos son la sonda y el regulador de caudal. La sonda es un tubo transparente que

conecta el módulo con el regulador de caudal, las hay de diferentes materiales en función de las características de los gases.

Luego, el regulador de caudal se adapta al cilindro del gas patrón permitiendo una salida controlada del caudal que se necesite de acuerdo con especificaciones del fabricante de los detectores. Principalmente se utiliza reguladores de caudal de 0,5 y 1 litro por minuto, estos últimos, específicos para NH_3 y Cl_2 .

2.5.2. Procedimiento

No existe un procedimiento o instructivo de trabajo para la tarea de calibración de los detectores. El personal que forma parte de Electrónica está capacitado y certificado por Honeywell BW para calibrar los detectores.

2.5.3. Frecuencia y registro

Por recomendación del ERA, los dispositivos GasAlterExtreme y MultiRAE Lite deben ser calibrados cada 60 días, con el objetivo una mayor confiabilidad de los detectores, principalmente para minimizar el riesgo de falla de sensores al estar expuestos a un ambiente hostil.

Electrónica cuenta con el 200 por ciento aproximadamente de detectores que necesita cada división y por calendario, calibran la mitad de estos cada 60 días, es decir, dos tandas de calibración para cada división, asegurando la disponibilidad de los detectores, en resumen, se calibra cada detector 3 veces al año. Cada división de ERA es la encargada de proporcionar y retirar sus detectores a Electrónica.

Respecto al registro de calibración, Electrónica entrega un informe físico a cada división, el cual indica el número de serie del dispositivo, usuario, división, fecha calibración, resultado de la prueba y cantidad detectores calibrados.

2.5.4. Costos anuales

Los costos asociados a la calibración de los detectores se resumen en la adquisición de los cilindros de gas patrón, mantención, repuestos y reposición de detectores. El universo de detectores se presenta en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Universo de detectores de gases

Detector	Gas	Cantidad
Monogas	H ₂ S	1000
	SO ₂	100
	NH ₃	50
	Cl ₂	50
Multigas	H ₂ S CO O ₂ LEL SO ₂	40
	H ₂ S CO O ₂ LEL NH ₃	10

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

A continuación, en la tabla 2-5 se presentan los datos para determinar la cantidad de cilindros necesarios para calibrar el universo de detectores en ERA.

Tabla 2-5: Cilindros anuales para calibrar totalidad de detectores ERA

Detector	Cantidad	Gas patrón	vol [l]	Q [l/min]	t [min]	[l/Cal]	[Cal/año]	[Cal/Cilindro]	0,8	Cilindros necesarios
H ₂ S	1000	H ₂ S	58	0,5	2	1	3000	46		65
SO ₂	100	SO ₂	58	0,5	2	1	300	46		10
NH ₃	50	NH ₃	58	1	2	2	150	23		8
Cl ₂	50	Cl ₂	58	1	2	2	150	23		7
MULTIGAS SO ₂	40	Mezcla	58	0,5	2	1	120	46		4
		SO ₂	58	0,5	2	1	120	-		-
MULTIGAS NH ₃	10	Mezcla	58	0,5	2	1	30	-		-
		NH ₃	58	1	2	2	30	-		-

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los cálculos de la tabla 2-9, se justifican a continuación. Los gases patrón utilizados son modelos 8AL de la marca Calgaz, tienen una capacidad de 58 litros, de los cuales se utiliza solamente el 80% del contenido para mantener la presión y no afectar la confiabilidad del gas, este factor de seguridad se aplica en la columna de [Calibración/Cilindro]. Cada detector es calibrado tres veces durante el periodo de un año. De acuerdo con BW Honeywell, el promedio de calibración por dispositivo es de 2 minutos, y la cantidad de gas utilizado dependerá directamente del regulador de caudal utilizado, este puede ser de 0,5 o 1 litros por minuto dependiendo del gas.

El gas patrón mezcla corresponde a una mezcla de H₂S, CO, N₂, CH₄ y O₂, este cilindro es utilizado para la calibración de equipos multigas, ya que permite calibrar más de un sensor a la vez.

La siguiente tabla 2-6, indica el costo unitario en dólares de los cilindros de gas patrón y los gastos totales del periodo para la calibración de todo el universo de detectores de ERA.

Tabla 2-6: Costos de cilindros gas patrón Calgaz y costo total

Gas	Cilindros	Costo	Total
H2S	65,0	\$ 442	\$ 28.730
SO2	10,0	\$ 442	\$ 4.420
NH3	8,0	\$ 660	\$ 5.280
Cl2	7,0	\$ 660	\$ 4.620
Mezcla	4,0	\$ 548	\$ 2.192
Total			\$ 45.242

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Respecto a la mantención de los detectores, de acuerdo con jefe Área Electrónica la mano de obra por mantención corresponde a USD\$100 al año por detector. Los costos en componentes de repuesto corresponden al 10% anual del valor de un dispositivo. Además, anualmente se da de baja un 5% del universo de detectores, el cual debe ser repuesto.

A continuación, se presentan los precios de lista en dólares de los componentes del sistema actual de detección de gases de la marca Honeywell BW, en la tabla 2-7.

Tabla 2-7: Precios lista Honeywell BW

Honeywell BW		
Ítem	Descripción	Precio
GasAlert Extreme	H2S	\$ 421
	SO2	\$ 627
	Cl2	\$ 627
	NH3	\$ 781
MRAE Lite	SO2	\$ 3.538
	NH3	\$ 3.640
Mesa calibración	MicroDock II	\$ 3.548
	AutoRAE II	\$ 3.760

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La inversión inicial del universo actual, y sus conceptos de costos anuales en dólares asociados se presentan en la siguiente tabla 2-8.

Tabla 2-8: Costos sistema actual

Detector	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Repuesto	Mantenición	Reposición
GasAlert Extreme	H2S	1000	\$ 421	\$ 421.000	\$ 42.100	\$ 100.000	\$ 21.050
	SO2	100	\$ 627	\$ 62.700	\$ 6.270	\$ 10.000	\$ 3.135
	Cl2	50	\$ 627	\$ 31.350	\$ 3.135	\$ 5.000	\$ 1.568
	NH3	50	\$ 781	\$ 39.050	\$ 3.905	\$ 5.000	\$ 1.953
MRAE Lite	SO2	40	\$ 3.538	\$ 141.520	\$ 14.152	\$ 4.000	\$ 7.076
	NH3	5	\$ 3.640	\$ 18.200	\$ 1.820	\$ 500	\$ 910
Total				\$ 713.820	\$ 71.382	\$ 124.500	\$ 35.691

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los costos anuales proyectados en dólares a cinco y diez años se presentan en la siguiente tabla 2-9, se considera una tasa de aumento de costos del 2%.

Tabla 2-9: Costos anuales proyectados del sistema actual

Año	Hardware			Mantenición	Repuestos	Gases	Reposición	Costo anual
	GasAlertExtreme	MRAE	Mesa calibración					
0	\$ 554.100	\$ 159.720	\$ 21.924			\$ 45.242		\$ 780.986
1				\$ 124.500	\$ 71.382	\$ 54.743	\$ 35.691	\$ 286.316
2				\$ 126.990	\$ 72.810	\$ 55.838	\$ 36.405	\$ 292.042
3				\$ 129.530	\$ 74.266	\$ 56.954	\$ 37.133	\$ 297.883
4				\$ 132.120	\$ 75.751	\$ 58.094	\$ 37.876	\$ 303.841
5				\$ 134.763	\$ 77.266	\$ 59.255	\$ 38.633	\$ 309.917
6				\$ 137.458	\$ 78.811	\$ 60.440	\$ 39.406	\$ 316.116
7				\$ 140.207	\$ 80.388	\$ 61.649	\$ 40.194	\$ 322.438
8				\$ 143.011	\$ 81.995	\$ 62.882	\$ 40.998	\$ 328.887
9				\$ 145.872	\$ 83.635	\$ 64.140	\$ 41.818	\$ 335.465
10				\$ 148.789	\$ 85.308	\$ 65.423	\$ 42.654	\$ 342.174
Σ5 años	\$ 554.100	\$ 159.720	\$ 21.924	\$ 647.903	\$ 371.475	\$ 330.126	\$ 185.737	\$ 2.270.985
Σ10 años	\$ 554.100	\$ 159.720	\$ 21.924	\$ 1.363.240	\$ 781.613	\$ 644.661	\$ 390.806	\$ 3.916.064

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La tabla 2-9, considera la inversión inicial del universo de detectores, a continuación, en la tabla 2-10 se presenta los costos totales en dólares de mantenimiento, repuestos, gases de calibración y detectores repuestos proyectados a 5 y 10 años.

Tabla 2-10: Proyección de costos sistema actual sin inversión inicial

Proyección	Costo
$\Sigma 5$ años	\$ 1.535.241
$\Sigma 10$ años	\$ 3.180.320

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

2.6. RESULTADOS DE ENCUESTA DE EVALUACIÓN

Con base en la información recopilada, se diseñó y aplicó una encuesta denominada "Encuesta de evaluación: Sistema actual de Detección de Gases Peligrosos" dirigida al personal del Departamento de Operaciones de ERA, con el objetivo de identificar las fortalezas y debilidades del sistema de detección de gases actualmente en uso.

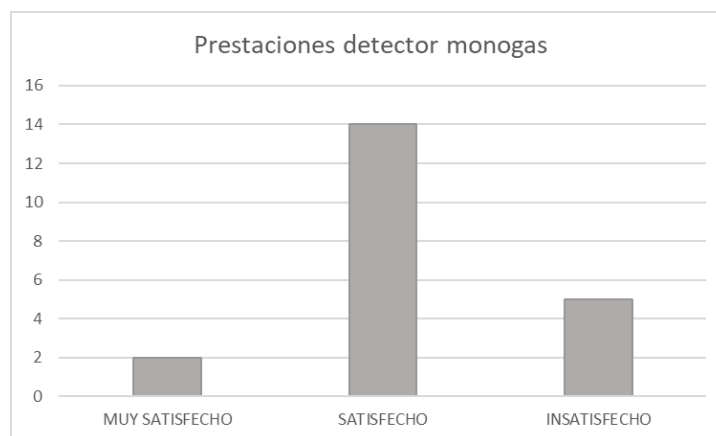
El universo de ERA es de 773 trabajadores, la población de estudio corresponde a Supervisores de Operación y Operadores jefe de las seis divisiones del Departamento de Operaciones de ERA, es decir una población total de 30 personas, seleccionados por conveniencia en función de su rol de responsabilidad directa sobre equipos de trabajo con función en terreno.

El instrumento de recolección de datos presentado en el ANEXO 3, consistió en una encuesta estructurada con 14 preguntas, formuladas en formato de escala de Likert, selección múltiple, entre otras. La validez de contenido fue revisada y aprobada por el jefe de la División Prevención Operativa. La aplicación del cuestionario se realizó en modalidad virtual, mediante un link proporcionado a los participantes. El diseño de la encuesta se realizó en Microsoft Forms.

La encuesta estuvo disponible durante un periodo de 3 semanas. Se obtuvo una muestra de 21 personas, correspondientes a una tasa de respuesta del 70% de la población, lo que permite un margen de error de $\pm 10,03\%$ con un nivel de confianza de un 90%.

La primera pregunta corresponde a cuatro escalas de Likert del nivel de satisfacción de la población respecto a las prestaciones y practicidad de los detectores actuales, y los resultados se presentan en la siguiente gráfica 2-1, 2-2, 2-3 y 2.4.

La primera escala, busca determinar el nivel de satisfacción de los usuarios, respecto a las prestaciones de los detectores monogas, los resultados se presentan en la gráfica 2-1.

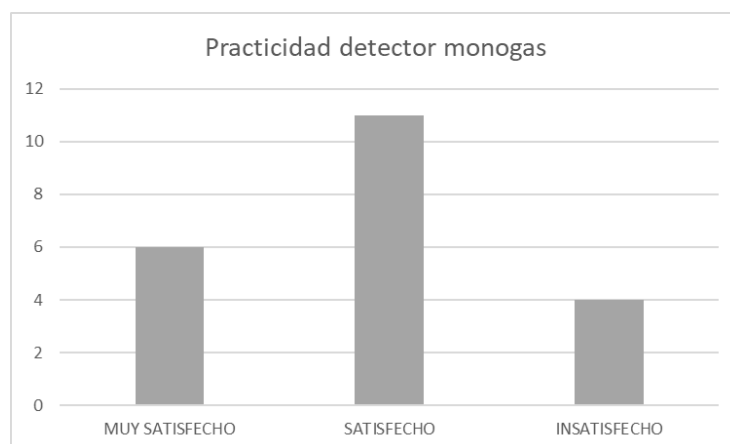


Gráfica 2-1: Nivel satisfacción de usuarios sobre prestaciones detectores monogas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

En relación con los detectores monogas, los resultados indican que cinco encuestados declararon estar insatisfechos, catorce se mostraron satisfechos y dos muy satisfechos con las prestaciones de los detectores.

La segunda escala, busca determinar el nivel de satisfacción de los usuarios, respecto a la practicidad de los detectores monogas, los resultados se presentan en la gráfica 2-2.

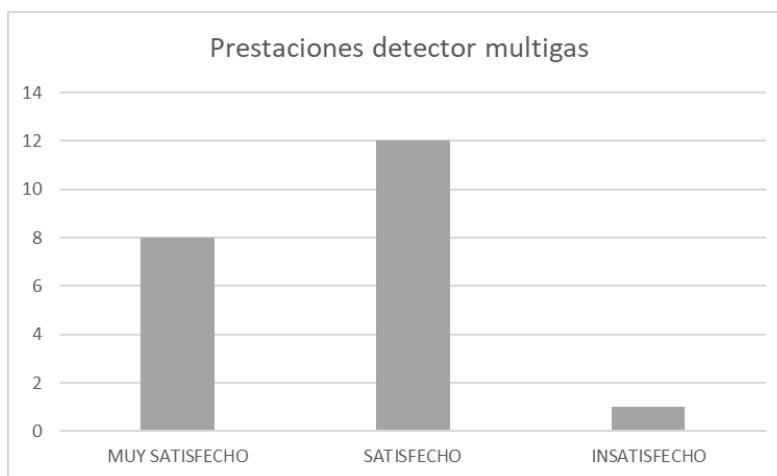


Gráfica 2-2: Nivel satisfacción de usuarios sobre practicidad detectores monogas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Respecto a la practicidad de estos equipos, cuatro declararon estar insatisfechos, once se mostraron satisfechos y seis muy satisfechos.

La tercera escala, busca determinar el nivel de satisfacción de los usuarios, respecto a las prestaciones de los detectores multigas, los resultados se presentan en la gráfica 2-3.

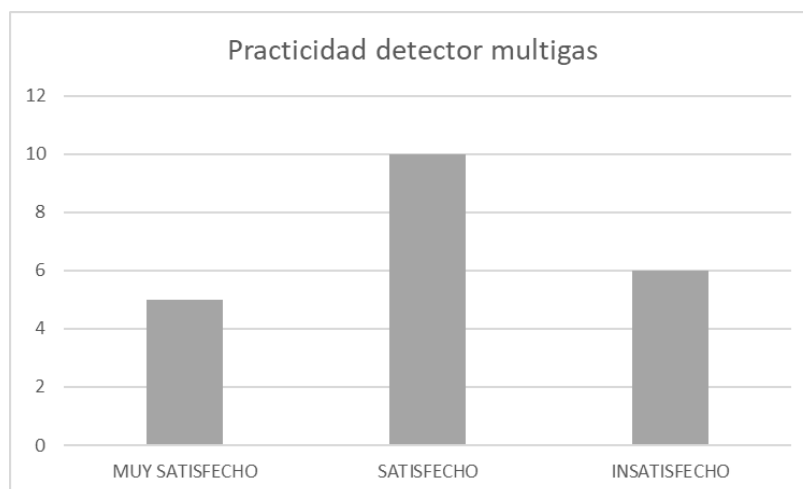


Gráfica 2-3: Nivel satisfacción de usuarios sobre prestaciones detectores multigas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

En cuanto a los detectores multigas, la evaluación de sus prestaciones indica que un encuestado se declaró insatisfecho, doce se mostraron satisfechos y ocho muy satisfechos.

La cuarta escala, busca determinar el nivel de satisfacción de los usuarios, respecto a la practicidad de los detectores multigas, los resultados se presentan en la gráfica 2-4.



Gráfica 2-4: Nivel satisfacción de usuarios sobre practicidad detectores multigas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Por último, en lo que respecta a la practicidad de los detectores multigas, seis encuestados se manifestaron insatisfechos, diez satisfechos y cinco muy satisfechos.

La segunda pregunta hace referencia a la frecuencia con que los equipos de trabajo entregan los detectores al Área Electrónica para su calibración, los resultados se muestran en la gráfica 2-5.

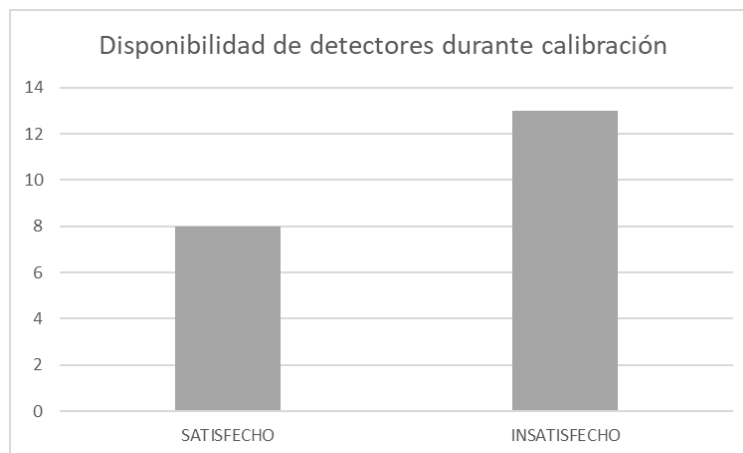


Gráfica 2-5: Frecuencia de calibración

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Seis encuestados indican que realizan la entrega del detector antes de los 60 días recomendados por ERA. En cambio, quince declaran hacerlo una vez que el equipo señala que la calibración está vencida, es decir, posterior al plazo establecido.

La tercera pregunta hace referencia al nivel de satisfacción de los encuestados respecto a la disponibilidad de los detectores durante el periodo de espera de calibración, los resultados se muestran en la gráfica 2-6.

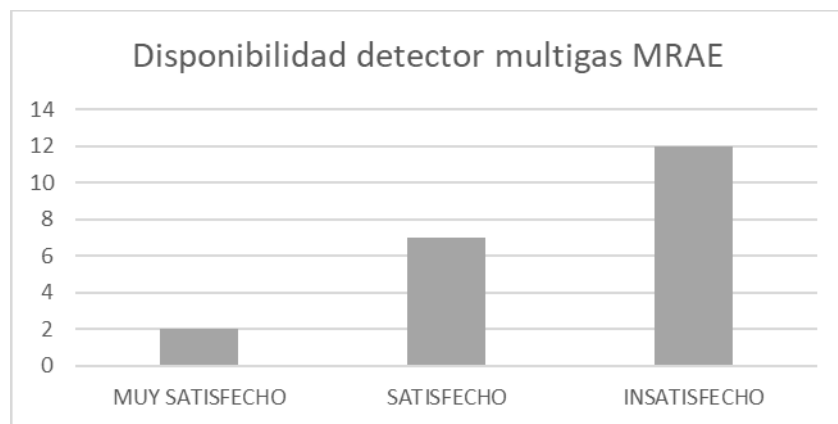


Grafica 2-6: Nivel de satisfacción con disponibilidad de detectores monogas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Como resultado, trece encuestados se declararon insatisfechos, mientras que ocho manifestaron estar satisfechos.

Los resultados de la cuarta pregunta se muestran en la gráfica 2-7 la cual hace referencia al nivel de satisfacción de los encuestados respecto a la disponibilidad de los detectores MRAE (Multigas).



Gráfica 2-7: Nivel de satisfacción disponibilidad detectores multigas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Del total de encuestados, doce indican estar insatisfecho, siete se declaran satisfechos y dos muy satisfechos con la disponibilidad de los MRAE.

Los resultados de la quinta pregunta se presentan en la gráfica 2-8, que muestra si los encuestados o sus equipos reportan el evento cuando se activa la alarma de algún detector individual.



Gráfica 2-8: Reportabilidad de eventos

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Nueve de los encuestados indican que sí reportan el evento, mientras que los doce señala que no lo hace.

Los resultados de la sexta pregunta ramificada de la respuesta “sí” de la pregunta anterior se muestran en la tabla 2-11, la cual hace referencia a los lugares o personas a quienes los encuestados reportan el evento cuando se activa la alarma de un detector.

RESPUESTAS
Jefaturas, electrónica y personal a cargo de su mantención
A mi línea
Dependiendo de donde es la alarma y que tipo de alarma es, es quien se le informa, puede ser de una planta en específico de un área determinada, paralelamente se informa, en el caso nuestro al Inspector de Operaciones de nuestra área y al jefe de Turno
Jefatura directa
Bitácora operador TDC
Prevencionista operativo del área
Se avisa a TDC para ver a que equipo corresponde, equiparse con respirador autónomo y revisar el área
Al jefe directo

Tabla 2-11: Respuestas pregunta ramificada

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Los resultados obtenidos indican que los principales flujos de comunicación de estos hallazgos son hacia Inspector Prevención Operativa, Operador TDC del área y jefe directo.

Los resultados de la séptima pregunta se presentan en la gráfica 2-9, la cual hace referencia a si los encuestados han sido informados sobre activaciones de alarmas falsas de los detectores en zonas libres de gases, como, por ejemplo, en oficinas.

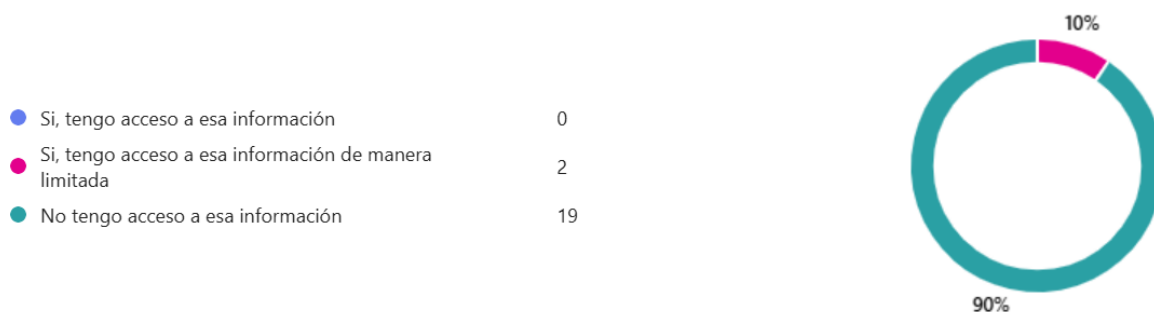


Gráfica 2-9: Activación de alarmas falsas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Del total de los encuestados, nueve respondieron que sí han recibido ese tipo de información, mientras que los otros 12 indican que no ha sido informado al respecto de eventos similares.

Los resultados de la octava pregunta se presentan en la gráfica 2-10, la cual aborda el acceso y trazabilidad que tienen los encuestados respecto a los datos generados por los detectores de su equipo de trabajo.



Gráfica 2-10: Acceso a trazabilidad de datos

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Solamente dos de los encuestados indica que tienen acceso a la información generada por detectores de manera limitada, mientras que los 19 restantes indican que no la tienen.

Los resultados de la novena pregunta se muestran en la gráfica 2-11, la cual explora si los encuestados consideran que la medición de un solo gas mediante detectores

monogas representa una debilidad frente a la diversidad de atmósferas peligrosas presentes en las áreas de procesos.



Gráfica 2-11: Consideración de debilidad ante detección un solo gas

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Dieciocho de los encuestados respondió que sí, consideran que la medición de un solo gas es una debilidad, mientras los otros tres no lo consideran así.

Los resultados de la décima pregunta se presentan en la gráfica 2-12, la cual consulta si los encuestados consideran una desventaja que los detectores actuales no registren automáticamente las activaciones de alarmas, la ubicación geográfica ni generen un historial de eventos.



Gráfica 2-12: Consideración de debilidad ante inexistencia de datos generados por detectores

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Veinte de los encuestados respondió que si considera una debilidad que los detectores actuales no registren los eventos, mientras que solamente uno indicó que no lo considera así.

Los resultados de la undécima pregunta se muestran en la gráfica 2-13, la cual recoge la percepción general de los encuestados respecto al sistema de detección de gases actual de ERA.



Gráfica 2-13: Percepción respecto al sistema actual

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Solamente un encuestado considera que el sistema actual es robusto y les da seguridad frente a todos los gases peligrosos presentes en ERA, mientras los veinte restantes que el sistema tiene limitaciones y podría mejorar.

Los resultados de la duodécima pregunta se presentan en la gráfica 2-14, la cual muestra qué características consideran los encuestados que podrían potenciar el sistema actual de detección de gases en ERA, en la cual los participantes podían seleccionar más de una alternativa.



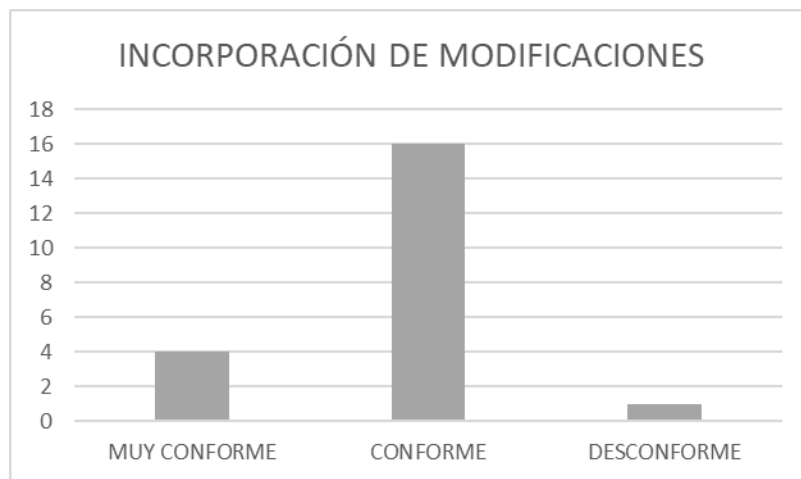
Gráfica 2-14: Consideración de características que potenciarían el sistema

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Los resultados muestran que la característica más valorada por los encuestados es contar con un detector individual con medición multigas, con 18 menciones. Le sigue la posibilidad de calibrar el detector de forma semiautónoma en el lugar de trabajo, seleccionada por 17 participantes. En tercer lugar, con 14 menciones cada una, se ubican el registro y geolocalización de activación de alarmas, el monitoreo continuo del estado operacional de los dispositivos, y la trazabilidad de los datos generados. Posteriormente, el uso de detectores multigas para autorizar permisos de trabajo fue destacado por 12 encuestados, y la función de alarma SOS en comunicación directa con SSO por 10.

Luego, entre las menos votadas, se encuentra la integración con sistemas de respuesta a emergencias recibió 7 menciones, mientras que otras prestaciones como detectores con bomba para mediciones a distancia, recepción de mensajes de voz tras una alarma, y trazabilidad de calibración fueron mencionadas en solo 3 ocasiones cada una, posicionándose como las opciones de menor prioridad dentro de las consideradas.

Los resultados de la decimotercera pregunta se presentan en la gráfica 2-15, la cual indaga sobre el grado de conformidad de los encuestados frente a la incorporación del conjunto de características mencionadas anteriormente en una hipotética modificación del sistema de detección de gases peligrosos.

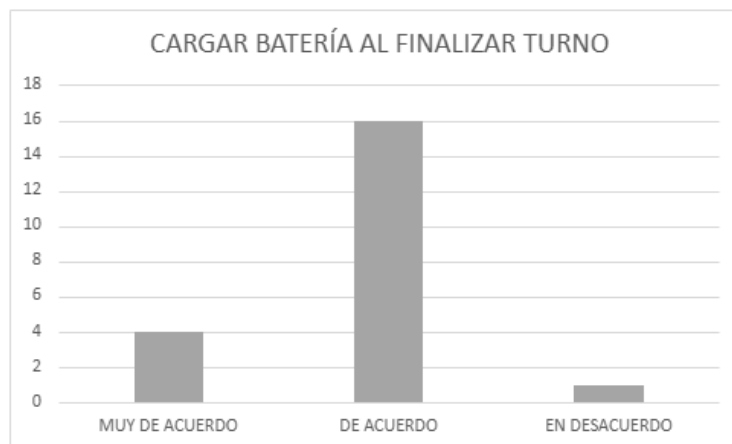


Gráfica 2-15: Nivel de conformidad respecto a incorporación de características anteriores

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

Uno de los encuestados se mostró desconforme, mientras que dieciséis manifestaron estar conformes y cuatro muy conformes con esta posible incorporación de dispositivos con las características anteriormente mencionadas.

Los resultados de la decimocuarta pregunta se presentan en la gráfica 2-16, la cual consulta si los encuestados estarían de acuerdo en cargar la batería de su dispositivo al finalizar cada turno, ya sea por cable o en un módulo de carga, en un hipotético escenario de modificación del sistema de detección de gases peligrosos.



Gráfica 2-16: Nivel de conformidad a cargar batería del dispositivo

Fuente: Elaboración propia basada en encuesta

En esta última pregunta, respecto a la carga de la batería al finalizar el turno, solo una persona indico estar en desacuerdo, dieciséis de acuerdo y cuatro muy de acuerdo con esta condición.

2.7. DISCUSIONES DE ENCUESTA E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICA

Se evaluó la satisfacción de los usuarios respecto a las características funcionales de los detectores. Los resultados muestran un nivel insatisfacción con las prestaciones de los monogas y la practicidad de los multigas. Estos últimos, utilizados para aprobar permisos de trabajo, resultan poco cómodos por su tamaño y peso en áreas de proceso.

Dieciocho encuestados señalaron que la adopción de detectores multigas individuales potenciaría el sistema, y más de la mitad valoró que estos puedan habilitar permisos de

trabajo, mitigando así el problema de disponibilidad percibido. En cuanto a los monogas, se percibe una debilidad en su alcance de detección, dada la variedad de gases peligrosos presentes en planta. Esto plantea la necesidad de integrar múltiples sensores en un solo equipo, permitiendo el reemplazo de ambos formatos.

La gestión de calibraciones también se presentó como un punto crítico. Muchos usuarios indicaron que entregan sus equipos para calibración solo cuando el dispositivo lo exige, superando el plazo recomendado de 60 días. Además, se detectó que los dispositivos no se bloquean automáticamente al vencerse el plazo, lo que permite su uso fuera de especificación, lo que sugiere seleccionar una alternativa con opción de bloqueo de equipos vencidos, optimizando así la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

La mayoría de encuestados declara que no tiene acceso a los datos generados por los detectores, y consideran que la falta de un registro de alarmas, ubicación e historial es una debilidad importante del sistema. Frente a esto, se hace necesario contar con soluciones que integren trazabilidad de datos y registros automáticos.

También se identificaron flujos de comunicación comunes ante eventos, dirigidos principalmente a Inspectores de Prevención Operativa, Operadores TDC y jefaturas. Sin embargo, el 57% indicó que no reporta los eventos, lo que resalta la necesidad de sistemas con alertas en tiempo real, trazabilidad de respuesta y notificación a múltiples roles.

Un hallazgo clave es la alta aceptación de los usuarios a incorporar nuevas tecnologías, como monitoreo en línea, geolocalización y alarmas automáticas. Esta disposición facilita avanzar hacia una transformación digital, minimizando barreras de resistencia al cambio.

En resumen, los resultados revelan que la problemática del sistema actual radica las siguientes deficiencias:

- Cobertura limitada de gases peligrosos, lo que expone al personal a riesgos no gestionados. La medición individual de un solo gas no es suficiente para abarcar la variedad de gases presentes en áreas de procesos.
- Falta de trazabilidad y acceso a datos por parte del área de Operaciones, dificultando la gestión y el análisis de exposiciones o eventos.
- Insatisfacción respecto a la disponibilidad de detectores multigases y monogas, atribuida principalmente a los periodos de calibración y mantenimiento.

- Ausencia de flujos de comunicación estandarizados ante eventos con detectores. Además, un 57% de los encuestados indica que no reporta las alarmas activadas, lo que representa un riesgo adicional en la gestión de emergencias.

A partir de estos hallazgos, se establecen los siguientes requisitos clave para estudiar y evaluar tecnologías emergentes:

- Detectores individuales multigas (H_2S , CO , O_2 , LEL y SO_2 o Cl_2 o NH_3)
- Servicios que permitan la transformación digital en la gestión de dispositivos

CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE

3. ESTADO DEL ARTE

Este capítulo proporciona una visión general sobre dos tópicos fundamentales para la elaboración de la propuesta: la transformación digital y los sistemas de detección de gases. El objetivo de este Estado del Arte es sentar las bases para diseñar una propuesta de transformación digital adaptable, cultural y técnicamente a ERA.

En este sentido, se investiga sobre la integración de tecnologías mediante la transformación digital a la estructura y cultura de organizaciones, además, del análisis de distintos dispositivos de detección de gases peligrosos existentes en el mercado, para generar una comparativa entre las características de los distintos dispositivos disponibles y su vínculo con los requisitos de ERA, para una posterior selección de proveedores.

3.1. TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La transformación digital en el ámbito de la Seguridad y Salud Ocupacional se enmarca dentro de un proceso global más amplio, impulsado por la Industria 4.0, que integra tecnologías avanzadas en la gestión y operación de sistemas industriales. Este proceso abarca una serie de innovaciones tecnológicas, que se presentan en la figura 3-1, que modifican profundamente tanto los métodos de trabajo como las estructuras organizacionales. En este sentido, la transformación digital no solo implica la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, sino también una reconfiguración en la cultura y los procesos de las organizaciones, lo que requiere una adaptación tanto en los recursos humanos como en la gestión operativa.

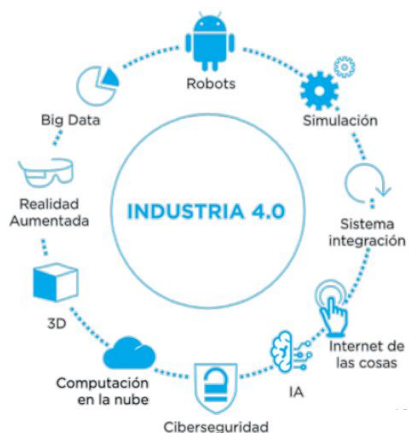


Figura 3-1: Innovaciones Tecnológicas Industria 4.0

Fuente: (Basco et al., 2018)

3.1.1. Industria 4.0

La Industria 4.0, es un término adoptado para describir la cuarta revolución industrial, la cual se caracteriza por la integración de tecnologías como la Internet de las Cosas o la Inteligencia Artificial, entre otras, en los procesos industriales. Esta revolución ha impactado de manera significativa en sectores como la manufactura, y su influencia ya ha llegado a áreas como la seguridad y salud ocupacional. La Industria 4.0 transforma los procesos industriales mediante la creación de entornos inteligentes, interconectados y autónomos, lo que, a su vez, facilita una mejor toma de decisiones, optimización de procesos y una mejora en la seguridad en los lugares de trabajo.

En el contexto de la seguridad y salud ocupacional, la transformación digital se ha centrado en la adopción de tecnologías para la detección en tiempo real de riesgos, monitoreo de la salud de los trabajadores y optimización de la gestión de la seguridad laboral, permitiendo la transformación, distribución y difusión de la información, necesaria en el ámbito de la prevención de riesgos laborales con el fin de comunicar de manera más efectiva las técnicas necesarias para desarrollar prevención (Cano, 2019).

3.1.2. Implementación de nuevas tecnologías

La implementación de tecnologías avanzadas en sistemas de SSO no solo se refiere a la adquisición de dispositivos o sistemas tecnológicos, sino que también implica un proceso cultural dentro de la organización

Ahora bien, la implementación de nuevas tecnologías en cualquier organización genera un cambio, tanto cultural como operacional, este impacto, abre la puerta a nuevos riesgos que deben ser evaluados. En concreto, hay que tener en cuenta los riesgos tradicionales y los nuevos riesgos emergentes (Brocal et al., 2019). Estos riesgos emergentes, se caracterizan principalmente porque se presentan en condiciones nuevas o desconocidas, lo que genera una alta incertidumbre de la probabilidad y/o la consecuencia del riesgo. En base a lo anterior, es fundamental comprender los nuevos riesgos generados a partir de las nuevas condiciones.

Uno de los principales riesgos que enfrentan las organizaciones es la resistencia al cambio, especialmente cuando se trata de tecnologías que alteran los procesos operativos y culturales tradicionales o rutinarios. La gestión de esta resistencia implica no solo una inversión en la infraestructura tecnológica, sino también en la cultura organizacional para asegurar que los empleados comprendan los beneficios de estas herramientas para su seguridad y bienestar.

Otro riesgo emergente en la transformación digital es la dependencia tecnológica, ya que, al migrar procesos esenciales a sistemas digitales, cualquier falla técnica o interrupción puede afectar gravemente la operación de la empresa. Es fundamental contar con planes de contingencia y estrategias de respaldo para garantizar la continuidad del negocio.

Reconocer, evaluar y controlar estos riesgos no solo facilita una transición digital más fluida, sino que también fortalece la capacidad de la organización para adaptarse a futuros avances tecnológicos.

La transformación digital en seguridad laboral demanda una gestión del cambio que fomente la aceptación y adopción de nuevas tecnologías por parte de los empleados, para esto, se requiere una mejor comunicación y capacitación para involucrar a los trabajadores en el cambio (Arana-Landín et al., 2023).

3.2. SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GASES

En refinerías, la presencia de gases nocivos es un peligro que siempre está presente, y que es propio de los procesos que allí se realizan, por este motivo es fundamental que toda persona perteneciente a la organización pueda detectar la presencia de estos gases tóxicos y/o inflamables.

En el mercado existen gran diversidad de equipos detectores de gases y cada organización tiene el deber de seleccionar el más adecuado para los puestos de trabajos que lo requiera, por este motivo, el mercado ofrece 2 alternativas respecto a la cantidad de gases a las que se está expuesto.

- Detectores monogas

Los detectores monogas son dispositivos portátiles diseñados para monitorear y detectar un gas en específico, una de sus características es que son compactos y ligeros, por lo cual son fáciles de transportar. De este tipo de detectores se pueden encontrar para diferentes gases y la componente LEL.

- Detectores multigas

Los detectores multigas son dispositivos portátiles capaces de monitorear y detectar varios gases simultáneamente, lo que es una ventaja en lugares de trabajo en donde puede existir una variedad de gases a las que el trabajador está expuesto, este tipo de detectores son altamente beneficiosos en industrias como el Oil&Gas y minería, donde existe peligro de exposición a diferentes gases, permitiendo portar solo un dispositivo, evitando el acoplamiento de distintos de detectores monogas, o de estar intercambiándolos frecuentemente.

Una característica importante de los detectores, son los sensores, capaces de detectar la presencia de gases específicos en el lugar de trabajo, y registrar en forma legible la concentración del gas o el porcentaje de la componente LEL, según corresponda.

Por requisitos de ERA, esta investigación se limita a los sensores de tipo electroquímico e infrarrojo, cuyo funcionamiento se detalla a continuación.

- Sensor electroquímico

El sensor electroquímico es utilizado en detectores de gases tóxicos y funciona mediante una reacción química para medir la concentración de un gas específico. Se encuentra compuesto por un electrodo operativo (ánodo), un electrodo de referencia (la mayoría), un contraelectrodo (cátodo), un líquido electrolito específico y una membrana permeable al gas, todo dentro de una carcasa.

El gas se ingresa hacia el sensor a través de la membrana hasta llegar al electrolito, donde se produce una reacción electroquímica, según el tipo de gas: oxidación (por ejemplo, para CO, H₂S, SO₂ y NH₃) o reducción (por ejemplo, para O₂, CL₂).

En la reacción de oxidación, los electrones fluyen desde el electrodo operativo a través del circuito externo al contraelectrodo. Sin embargo, en la reacción de reducción, el flujo de electrones toma el camino opuesto, este flujo de electrones genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de gas, que luego, es enviada al electrodo de referencia, comparándolos, y finalmente el detector registre los resultados en el display del dispositivo.

El funcionamiento y componentes de este tipo de sensor se presenta en el ANEXO 4.

- Sensor Infrarrojo

Los sensores infrarrojos de gases funcionan mediante el uso de la tecnología infrarroja para medir la absorción de radiación infrarroja por parte de moléculas de gas. El funcionamiento de un sensor infrarrojo se basa en tres componentes principales: un emisor, un receptor/detector y un espejo reflector. Cada gas absorbe una única longitud de onda, lo que permite a estos sensores identificar y medir la concentración de gases específicos. Algunos de los gases que detectan estos sensores son metano, etano, propano y otros hidrocarburos en general, entregando el porcentaje de LEL en ambiente.

El funcionamiento y componentes de este tipo de sensor se presenta en el ANEXO 5.

A continuación, se analiza diferentes características de los servicios y detectores existentes en el mercado, para luego presentar una comparativa. Por requisitos de la organización, se limita a los siguientes fabricantes de detectores: Dräger y Blackline Safety.

En función de los resultados de la encuesta, se establece como criterio de estudio variantes de detector individual multigas y detector portátil de área, que detecten, al menos, O₂, H₂S, CO y LEL, y un gas específico (SO₂, NH₃ o Cl₂) dependiendo del área de procesos del que sea parte el trabajador, además que su servicio permita lograr la transformación digital.

Para lograr comprensión de los siguientes puntos se define como bump test a al testeo funcional de asegurarse de que un detector de gas funciona de forma correcta exponiéndolo por un periodo definido a una concentración conocida de un gas objetivo.

3.2.1. Dräger

Dräger es una empresa alemana que fabrica productos de tecnología de la seguridad para industrias a nivel mundial. Para la industrial Oil&Gas, existen distintos detectores portátiles monogas y multigas, así como detectores móviles de área. En el contexto de la transformación digital, Dräger ofrece "Gas Detección Connect", un servicio que conecta diversos detectores individuales, a través de un software inteligente. En Chile la empresa DRAGER CHILE LIMITADA, con RUT, 76.033.880-k, es la encargada de proveer sus productos.

En su Licencia Basic, este software permite al usuario gestionar de manera óptima el equipo, en temas de batería, calibración, testeo, avisos, entre otros, además de disponer

de la ubicación geográfica de los trabajadores con detectores conectados mediante bluetooth a un dispositivo celular o ConHub, dando aviso inmediato en caso de la activación de una alarma.

El centro de control del sistema se encuentra en su página web, en donde se tiene a disposición todos los datos procedentes de los detectores, valores monitoreados en tiempo real y los datos de posición GPS del dispositivo celular del portador, además, todos los datos se transmiten al soporte en la nube.

De acuerdo con lo establecido por ENAP, el detector individual Dräger X-am 5800 y el detector de área Dräger X-zone 5500 y Dräger X-zone 5800, cumplen con los requisitos mínimos de gases a medir, además de ser compatibles con "Gas Detección Connect".

- Detector individual multigas

El detector individual Dräger X-am 5800 cuenta con 4 puertos de sensores y tiene la capacidad de realizar una medición de hasta 6 gases simultáneamente mediante difusión, con sensores de tipo infrarrojo y electroquímico, tal como se presenta en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Tipo de sensores detector Dräger X-am 5800

SENSORES	Rango medición	Resolución
IR		
IR Ex	0 - 100% LEL	1 % LEL
EQ		
O2	0 - 25/30/100 % vol.	0,1/0,1/0,5 % vol.
CO	0 - 2.000/10.000 ppm	1/5 ppm
H2S	0 - 200/1.000 ppm	0,1/2 ppm
H2S O2	0 - 100 ppm H2S	0,1 ppm H2S
	0 - 25 % vol. O2	0,1 % vol. O2
H2S CO	0 - 2.000 ppm CO	1 ppm CO
	0 - 200 ppm H2S	0,1 ppm H2S
SO2	0 - 100 ppm	0,1 ppm
CL2	0 - 20 ppm	0,05 ppm
NH3	0 - 300 ppm	1 ppm

Fuente: Elaboración propia basada en <https://www.draeger.com>

La batería del Dräger X-am 5800 le permite un periodo de funcionamiento de alrededor de las 12 horas, y un tiempo de recarga inferior a las 4 horas, además, tiene la opción

de acoplar la Bomba Dräger X-am, que, mediante una sonda, puede realizar mediciones hasta 45 metros de distancia.

Este dispositivo se conecta mediante bluetooth al dispositivo celular del portador, para así entregar la información GPS y toda la información del detector en tiempo real, es decir, si el usuario no lleva consigo su dispositivo celular, no se podrá visualizar ni cargar sus datos. Por este motivo, existe ConHub, una pasarela de enlace que conecta hasta 20 detectores dentro de un área de 50 metros de radio.

Compatible con la mesa de calibración Dräger X-Dock, mediante la Licencia Asset, que permite conexión a del detector a la estación.

En caso de que un sensor detecte la presencia de un gas por sobre los límites, el dispositivo activa tres alarmas: una visual 360°, una acústica >90 dB y otra vibratoria. El dispositivo se debe calibrar cada 180 días, y el fabricante no establece una recomendación para realizar el bump test.

- Detector portátil de área

Los detectores de área Dräger X-zone 5500 y Dräger X-zone 5800, son similares y entregan las mismas prestaciones, con la diferencia que el Dräger X-zone 5800 puede ser alimentado mediante una fuente de alimentación eléctrica, que incluye una bobina de cable de 50 metros, que permite que se alimente continuamente en un área clasificada. Mientras que el Dräger X-zone 5500 tiene un periodo de funcionamiento de 120 horas.

Ambos modelos permiten que el Dräger X-am 5800 se transforme en un dispositivo de monitorización de áreas, es decir, los gases que monitorea dependen del dispositivo individual que se le conecte, con el beneficio de aumentar la capacidad de duración de la batería, el monitoreo en lugares donde podría llegar a producirse una concentración peligrosa de gases y la posibilidad de generar un anillo de seguridad inalámbrico, tras la interconexión automática de hasta 25 dispositivos individuales, así cuando cualquier dispositivo detecte la presencia de un gas, se transmite una señal de alarma a todas las unidades interconectadas.

Entre sus características se encuentra la entrada de gas en 360°, medición de hasta 45 metros de distancia, por medio de acople con una sonda, y alarma 360°, lumínica y acústica de 120 dB.

- Precios de lista

A continuación, en la tabla 3-2 se presentan los precios de lista en dólares de los diferentes dispositivos del ecosistema Dräger.

Tabla 3-2: Precios de lista Dräger

Dräger			
Ítem	Descripción	Precio	Modo pago
X-am 5800	H2S LEL IR O2 CO SO2	\$ 5.160	Único
	H2S LEL IR O2 CO CL2	\$ 5.288	
	H2S LEL IR O2 CO NH3	\$ 5.288	
	Paquete de carga	\$ 310	
Bomba X-am	Bomba + Cargador	\$ 726	
X-zone 5500	-	\$ 8.451	
ConHub	ConHUB + Cargador	\$ 9.615	
X-Dock	Centro de control	\$ 5.384	Anual
	1 puerto	\$ 3.392	
	Licencia Asset	\$ 374	
G.D.C	Licencia Basic	\$ 2.991	

Fuente: Elaboración propia basada en cotización

3.2.2. Blackline Safety

Blackline Safety Corp. es una empresa canadiense dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de tecnología de monitoreo de seguridad para trabajadores, particularmente en sectores de respuesta a incendios y materiales peligrosos, Oil&Gas y aguas residuales, se especializan en dispositivos de seguridad personal, con diversas aplicaciones, entre las que destaca la detección de gases peligrosos. Así también, cuentan con detectores portátiles de área. En Chile, el proveedor de este fabricante es la empresa Safety Service Equipos De Seguridad S.p.a, con RUT 76.079.325-6.

Su principal servicio, denominado "Blackline Live", permite obtener en tiempo real la ubicación e información de los dispositivos, realizar lecturas de gas en tiempo real, recibir notificaciones de eventos y gestionar de manera eficiente la flota de dispositivos de seguridad conectados a través de su portal de software. Este servicio abarca tanto los dispositivos individuales como los monitores de áreas.

Este servicio permite tener una configuración avanzada de los dispositivos, además de asignar/reasignar dispositivos al personal y la creación de flotas de trabajo. Por otro

lado, proporciona informes automatizados de los eventos, tendencias e historiales visualizables en su dashbord.

“Blackline Live” comparte alertas en tiempo real con dispositivos activos cercanos durante eventos de niveles altos de gas, niveles altos de gamma, falta de movimiento o caídas, permitiendo una red de monitoreo más robusta, además de comunicaciones bidireccionales entre dispositivos.

Otra característica es su alerta SOS, en el cual, en caso de emergencia, el trabajador activa la palanca SOS de los dispositivos, y envía una notificación al software y a la central de Blackline, la cual inicia comunicaciones con el trabajador y su flota, de acuerdo con el procedimiento de respuesta que se coordine. Estos protocolos son modificables y se pueden activar ante cualquier evento.

De acuerdo con lo establecido por ENAP, el detector individual Blackline G7 y el detector de área Blackline EXO 8, cumplen con los requisitos mínimos de gases a medir, además de ser compatibles con “Blackline Live”.

El detector individual Blackline G7 cuenta con 4 puertos de sensores y tiene la capacidad de realizar una medición de hasta 5 gases simultáneamente mediante difusión, con sensores de tipo infrarrojo y electroquímico, tal como se presenta en la tabla 3-2.

Tabla 3-3: Tipo de sensores detector Blackline G7

SENSORES	Rango medición	Resolución
IR		
LEL	0 - 100% LEL	1% LEL
CA		
LEL	0 - 100% LEL	1% LEL
EQ		
O2	0 - 25% vol.	0,1% vol.
CO	0 - 500 ppm	1 ppm
CO H2S	0 - 500 ppm CO	1 ppm CO
	0 - 100 ppm H2S	0,1 ppm H2S
H2S	0 - 100/500 ppm	0,1/0,5 ppm
SO2	0 - 100 ppm	0,1 ppm
CL2	0 - 20 ppm	0,1 ppm
NH3	0 - 100 ppm	0,1 ppm

Fuente: Elaboración propia basada en <https://www.blacklinesafety.com>

La batería del Blackline G7c le permite un periodo de funcionamiento de 18 horas, sin bomba en operación y un tiempo de carga de batería de 4 horas, además, tiene la opción de acoplar una bomba externa, que, mediante una sonda, puede realizar mediciones hasta 30 metros de distancia. El dispositivo se debe calibrar cada 180 días, y un bump test cada 30 días.

En caso de que un sensor detecte la presencia de un gas por sobre los límites, el dispositivo activa tres alarmas: una visual, acústica de 95 dB y otra vibratoria, además, posee un acelerómetro capaz de identificar cualquier caída o golpe que sufra el trabajador, así mismo si este no detecta movimiento en un periodo determinado, en ambos casos se envía inmediatamente una señal al dispositivo preguntando por su estado y envía una alerta al software.

Es compatible con G7 Dock, una base que ofrece tiene la capacidad para calibrar, probar y cargar hasta 5 dispositivo a la vez, también es compatible con G7 PowerPack, una batería externa para extender la autonomía de la batería de 18 a 36 horas.

- Detector portátil de área

Blackline EXO 8 es un detector portátil de área que cuenta con 4 puertos de sensores con capacidad de monitorear hasta 5 gases, con una opción de un módulo de extensión de hasta 8 gases y un sensor de radiación gamma opcional, los sensores utilizados son los mismos que en la tabla 2-2 del Blackline G7. La calibración de EXO 8 se realiza cada 180 días, y un bump test cada 30 días, en esta línea, dentro de sus funcionalidades destaca la calibración automática en terreno.

El dispositivo cuenta con una batería que se recarga en 12 horas, permitiendo un funcionamiento en modo difusión de 100 días y 30 días en modo bomba y una baliza acoplable de 110 dB. Respecto a la bomba, cuenta con 4 canales para sondas de hasta 30 m.

- Precios de lista

A continuación, en la tabla 3-x se presentan los precios de lista en dólares de los diferentes dispositivos del ecosistema Blackline Safety.

Tabla 3-4: Precios de lista Blackline Safety

Blackline Safety			
Ítem	Descripción	Precio	Modo pago
G7 + G7 Bomba	H2S LEL IR O2 CO SO2	\$ 638	Único
	H2S LEL IR O2 CO CL2	\$ 638	
	H2S LEL IR O2 CO NH3	\$ 638	
EXO8 bomba	H2S LEL IR O2 CO SO2	\$ 6.110	
G7 Dock	5 puerto + Soporte	\$ 4.860	
B. LIVE	Automonitoreo G7	\$ 300	Anual
	Monitoreo externo G7	\$ 2.300	2 años
	Automonitoreo EXO8	\$ 700	Anual
	Monitoreo externo EXO8	\$ 1.368	3 años

Fuente: Elaboración propia basada en cotización

3.3. CONCLUSIÓN ESTADO DEL ARTE

La Industria 4.0, impulsada por la transformación digital, está redefiniendo los métodos de trabajo y las estructuras organizacionales a través de la integración de tecnologías inteligentes. Este cambio también alcanza al ámbito de la seguridad laboral, el cual enfrenta uno de sus principales desafíos: la resistencia al cambio por parte del personal operativo y administrativo. Esta resistencia suele originarse en el rechazo a modificar hábitos arraigados y en la incertidumbre que implica salir de la zona de confort.

El éxito de un proceso de transformación digital, en este contexto, no depende únicamente de la incorporación de nuevas tecnologías, sino principalmente de la capacidad de la organización para fomentar una cultura de confianza y participación. Es esencial comprender las necesidades reales de los trabajadores, considerando tanto sus condiciones operativas como sus competencias digitales, para así seleccionar e implementar soluciones tecnológicas que realmente aporten valor y se integren de forma efectiva en los procesos existentes.

En este contexto, resulta clave investigar las últimas tecnologías en sistema de detección de gases. Esta investigación es fundamental para generar una comparativa de los dispositivos y servicios que ofrece el mercado, considerando la compatibilidad con respecto a los requisitos establecidos.

A continuación, se presenta en la tabla 3-5 la comparativa de los dispositivos de detección individual multigas.

Tabla 3-5: Comparación Detectores individuales multigas

Marca	Modelo	Sensores		GPS	Batería		Bomba			Frecuencia	
		EQ	IR		Carga [h]	Duración [h]	Interna	Externa	Alcance [m]	Calibración [días]	Bump test [días]
Dräger	X-am 5800	X	X	-	4	12	-	X	45	180	-
Blackline Safety	G7c	X	X	X	4	18	-	X	30	180	30

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Tras la investigación de los detectores individuales multigas, cada uno de los detectores presento diferencias en los criterios comparados. Ambos utilizan sensores de tipo electroquímico para la detección de gases tóxicos, mientras que para la componente LEL, Dräger utiliza sensores IR y Blackline Safety ofrece ambas opciones (IR y CA), permitiendo así una mayor flexibilidad de configuración según las condiciones del entorno operativo.

En cuanto a la autonomía, los equipos de Dräger presentan una duración operativa aproximada de 12 horas, mientras que los de Blackline Safety alcanzan hasta 18 horas, lo cual representa una ventaja en términos de continuidad operativa sin necesidad de recarga, en modalidad de turno o parada de planta. Ambos modelos permiten el acoplamiento de bombas externas, lo que facilita la realización de monitoreos remotos mediante sondas en espacios confinados o zonas de difícil acceso.

Los fabricantes recomiendan calibrar los dispositivos cada 180 días, y el bump test en caso de Blackline Safety cada 30 días.

A continuación, se presenta en la tabla 3-6 la comparativa de los dispositivos de detección portátil de área.

Tabla 3-6: Comparación Detectores portátiles de área

Marca	Modelo	Sensores		GPS	Batería		Bomba			Frecuencia	
		EQ	IR		Carga [h]	Duración [h]	Interna	Externa	Alcance [m]	Calibración [días]	Bump test [días]
Dräger	X-zone 5500	X	X	-	-	120	-	X	45	180	-
	X-zone 5800	X	X	-	Alimentación eléctrica		-	X	45	180	-
Blackline Safety	EXO 8	X	X	X	12	720 - 2400	-	X	30	180	30

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Con el propósito de generar un ecosistema de dispositivos de detección bajo un mismo proveedor, se investiga las variantes de monitores portátiles de área de los mismos

fabricantes mencionados en la tabla 3-5, todos utilizan sensores EQ para la detección de gases tóxicos e IR para la componente gaseosa LEL, al igual que en los detectores individuales.

En términos de autonomía, se observaron diferencias relevantes: Dräger permite operación continua mediante alimentación eléctrica o batería con una duración de hasta 120 horas. Por su parte, los dispositivos de Blackline Safety destacan por una autonomía significativamente superior, alcanzando hasta 2.400 horas de funcionamiento, lo que representa una ventaja operativa considerable en despliegues prolongados.

A su vez que ambos cuentan con bomba para monitoreo a distancia. Los fabricantes recomiendan calibrarlos cada 180 días, y Blackline Safety, referente al bump test, recomienda que se realice cada 30 días.

La comparativa entre los servicios y características ofrecidas por los fabricantes permite obtener una visión integral del alcance de la transformación digital posible según el proveedor seleccionado, así como de las estrategias requeridas para su implementación efectiva. Conforme al análisis presentado en las tablas 3-5 y 3-6, los dispositivos de Blackline Safety destacan por ofrecer una mayor autonomía operativa, integración de GPS, una gama más amplia de sensores y un ecosistema de servicios más robusto y conectivo, lo que facilita una gestión proactiva de la seguridad en tiempo real. No obstante, es importante señalar que tanto Dräger como Blackline Safety convergen en el mismo principio fundamental de transformación digital.

3.4. SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Como parte del proceso de investigación sobre tecnologías emergentes para la detección de gases peligrosos en industrias Oil&Gas, y con el objetivo de diseñar una propuesta sólida y alineada a las necesidades de ERA, resulta esencial realizar una evaluación comparativa entre los proveedores disponibles. Esta evaluación permitirá identificar la opción que mejor se adapte a los requerimientos técnicos y operativos de la organización.

Para llevar a cabo la evaluación, se presentan los criterios establecidos para la selección del ecosistema tecnológico. Dichos criterios contemplan tanto las capacidades de la plataforma como las características técnicas de los detectores y sus componentes

complementarios, de acuerdo con las discusiones surgidas de los resultados de la encuesta.

A continuación, en la tabla 3-7 se presentan los requisitos conforme a las características de la plataforma y el servicio.

Tabla 3-7: Requisitos de plataforma y servicio

Ítem	Descripción
Gestión de dispositivos	Administración integral de los dispositivos, en temas de configuración desde plataforma a toda la flota.
Monitoreo y análisis	Monitoreo continuo de datos y estado operacional de los dispositivos desde el panel de control, así como la visualización y exportación de datos, historiales e informes automatizados.
Seguridad de las personas	Notificación de activación de alarmas configurables y creación de protocolos de emergencia
Soporte	Soporte técnico disponible en todo momento para resolver cualquier incidencia que pudiese surgir durante el funcionamiento de los dispositivos.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 3-8 se presentan los requisitos de selección respecto a la funcionalidad de los detectores y sus diferentes complementos.

Tabla 3-8: Requisitos de detectores y componentes

Ítem	Descripción
Autonomía	Duración que permita la disponibilidad operativa del detector en sistema de turnos de personal de operaciones.
Ubicación GPS	Capacidad de geolocalización independiente con capacidad de generar patrones de riesgos de las áreas de procesos.
Bloqueo calibración	Opción de bloqueo automático de dispositivo fuera de calibración

Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada para la selección de proveedores es una matriz de evaluación la cual pondera del 1 al 3 cada una de las características de acuerdo con las prestaciones de los detectores. La puntuación de las características se presenta en el ANEXO 6. La matriz de evaluación de proveedores se presenta en el ANEXO 7.

3.4.3. Discusiones

Según lo presentado en la ANEXO 7, la matriz de selección comparativa revela que el ecosistema Blackline Safety obtuvo una ponderación total de 3,00 puntos, cumpliendo

de forma íntegra con los criterios técnicos y funcionales definidos para el sistema de detección digital. Este resultado representa el máximo valor posible dentro del sistema de evaluación ponderada.

En contraste, la alternativa Dräger alcanzó una ponderación total de 2,13 puntos, reflejando un menor grado de alineación con los requisitos establecidos, presenta debilidades relevantes en la integración de funcionalidades clave, tales como geolocalización GPS en dispositivos personales y la posibilidad de integración a sistema de respuesta a emergencia.

La diferencia más significativa se observa en los criterios relacionados con el servicio digital y la autonomía del sistema, donde Blackline Safety destaca ampliamente por configuración de protocolos de emergencia y mayores rangos de autonomía, fundamentales para la continuidad operativa en ambientes críticos como los de ERA.

En consecuencia, considerando los resultados de selección de proveedores, se establece que Blackline Safety es la alternativa que mejor responde a los requerimientos del proyecto de transformación digital, posicionándose como la solución más robusta, integrada y alineada con los requisitos de ERA.

**CAPÍTULO IV: PLAN PILOTO Y PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN
SISTEMA DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS DE ERA**

4. PLAN PILOTO Y PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN SISTEMA DE DETECCIÓN DE GASES PELIGROSOS EN ERA

En el siguiente capítulo comprende la ejecución del Plan piloto, y el diseño y evaluación de la propuesta de transformación digital.

4.1. PLAN PILOTO

A continuación, se ejecuta un Plan Piloto, con el objetivo de generar una ruta cualitativa de datos reales que aporten valor a la configuración de la propuesta.

4.1.1. Diseño Plan piloto

- Objetivo general

Evaluar prestaciones de dispositivos Blackline G7c y G7 EXO de acuerdo a experiencia de uso en condiciones reales y simuladas.

- Objetivos específicos
 - Identificar desviaciones en el funcionamiento de software y hardware.
 - Analizar datos recopilados en Blackline Analytics.
 - Configurar prestaciones de dispositivos para propuesta.
- Alcance del Plan piloto

El Plan piloto considera la evaluación del funcionamiento de seis detectores G7 y tres detectores EXO G7 en condiciones operativas, contemplando el acceso a todas las prestaciones del software y hardware durante un periodo de dos meses.

Se informa que EXO G7 corresponde a una versión anterior de EXO 8, con las mismas prestaciones, motivo por el cual de aquí en adelante ambos se identifican como EXO.

4.1.2. Metodología del Plan piloto

Para evaluar el desempeño de los dispositivos se identifica todas las desviaciones producidas durante el periodo. Luego, se utiliza Blackline Analytics para recopilar datos cuantitativos del periodo, y, por último, se realiza una mesa de trabajo en donde se analiza los datos y se establece que prestaciones del dispositivo aportan valor al sistema de detección de gases peligrosos.

4.1.3. Bases del Plan piloto

El plan piloto se implementa con la máxima configuración funcional disponible para los dispositivos G7c y EXO, incluyendo el servicio de monitoreo remoto proporcionado por Blackline Live. Este servicio se encuentra activado por un periodo de dos años para los dispositivos G7c y de tres años para los EXO.

La flota de detectores utilizados corresponde a cuatro multigas con SO₂, y uno con Cl₂ y NH₃, más tres detectores EXO de SO₂.

Las prestaciones activas de los G7c y a evaluar se presentan en la siguiente tabla 4-1.

Tabla 4-1: Funciones activas G7c Plan piloto

Plan Piloto: Funciones activas G7c
Alerta SOS
Apagar dispositivo al cargar
Check de vida
Detección ausencia de movimiento
Detección de caída
Alarma conectividad no disponible
Alarma batería baja
Aviso bump test
Aviso de calibración
Avisos de bump test y calibración silenciados
Sensores a 0
Bloquear detector descalibrado

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Las prestaciones activas de los EXO y a evaluar se presentan en la siguiente tabla 4-2.

Tabla 4-2: Funciones activas EXO Plan piloto

Plan Piloto: EXO
Alerta SOS
Detección de vuelco (Caída EXO)
Alarma conectividad no disponible
Alarma batería baja
Aviso bump test
Aviso de calibración
Avisos de bump test y calibración silenciados
Sensores a 0
Volumen configurable localmente

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Respecto al servicio de monitoreo Blackline Live, se evaluarán las siguientes prestaciones presentadas en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Prestaciones Blackline Live Plan piloto

Plan Piloto: Prestaciones Blackline Live
Monitoreo Blackline Live
Blackline Analytics
Tiempo de entrega de alarmas a plataforma
Tiempo de reconocimiento Blackline
Tiempo de notificación a orden de prioridad
Configuración de perfil de usuario
Configuración de perfiles de alarma
Configuración de dispositivos

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

El Orden de prioridad de contactos de emergencia utilizado durante el Plan Piloto se presenta en la siguiente figura 4-1.



Figura 4-1: Orden de Prioridad Contacto Emergencia Plan piloto

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los flujos de comunicación de respuesta a emergencia utilizados durante el Plan Piloto, en caso de activación de alarmas del G7c, además de activación de SOS en EXO, se presentan en la siguiente figura 4-2.

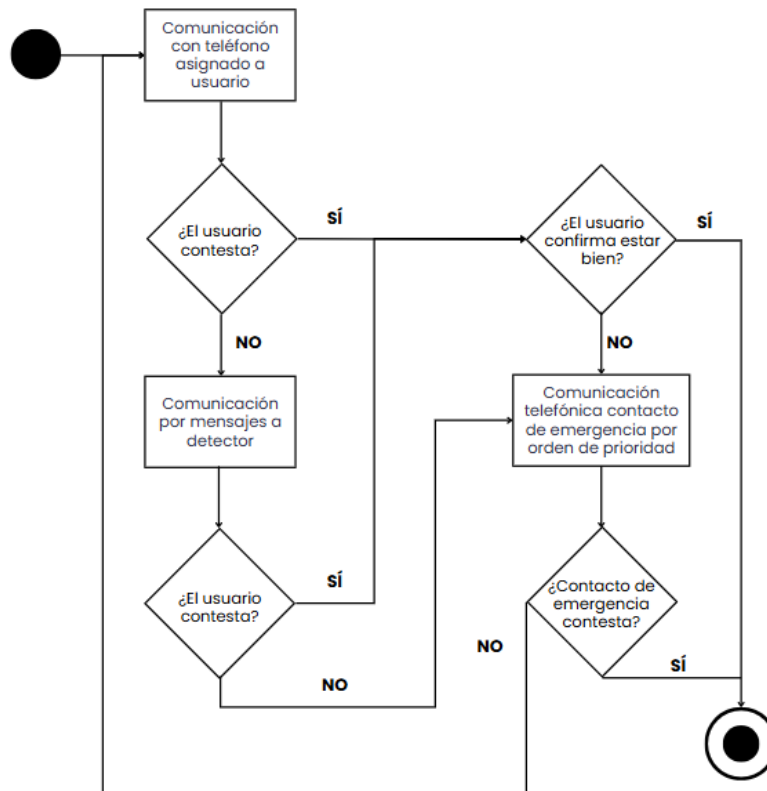


Figura 4-2: Protocolo respuesta a emergencia G7c Plan piloto

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La figura 4-2 excluye el flujo de comunicación de alarmas de STEAL y TWA en G7, para este caso, se presenta el siguiente flujo en la figura 4-3.

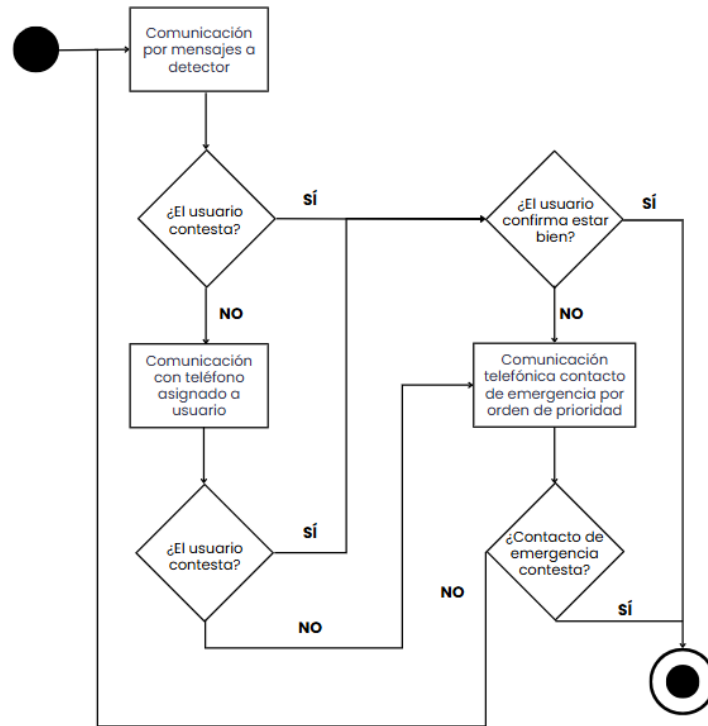


Figura 4-3: Protocolo respuesta a emergencia STEAL y TWA G7c Plan piloto

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

En caso de los dispositivos EXO, ante cualquier activación de alarma, excluyendo el SOS que activa el protocolo indicado en la figura 4-2, se presenta el siguiente flujo de comunicación en la figura 4-4.

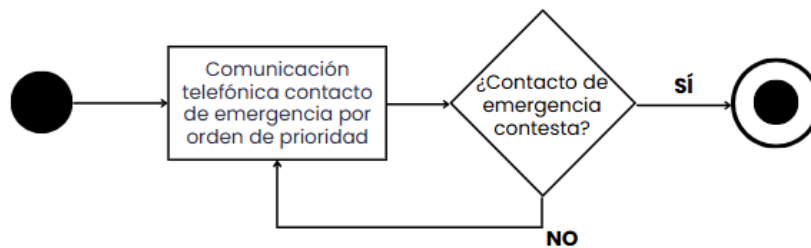


Figura 4-4: Protocolo respuesta a emergencia EXO Plan piloto

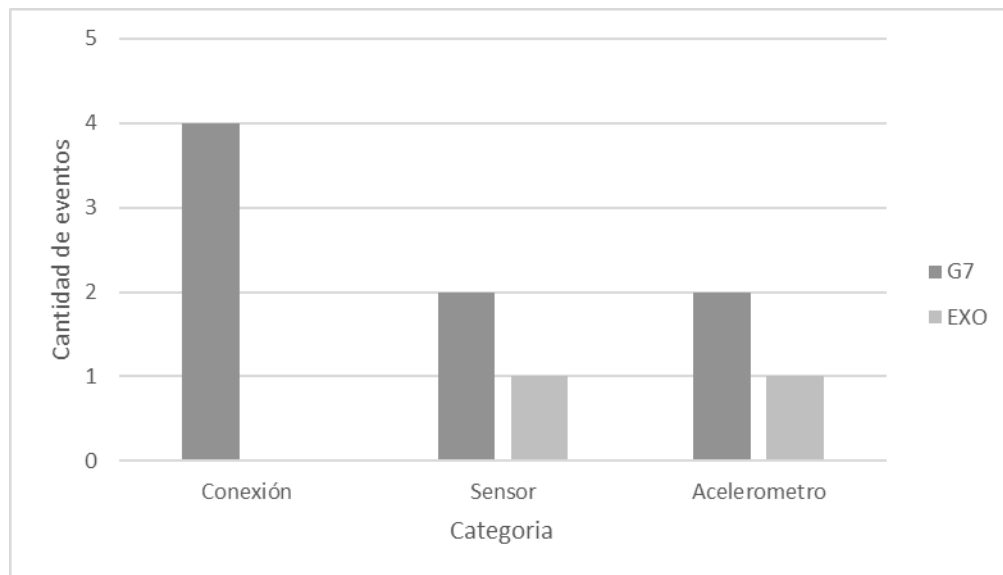
Fuente: Elaboración propia basada en investigación

4.1.4. Resultados del Plan piloto

El Plan Piloto se desarrolló durante un periodo de uso efectivo entregado por Blackline Analytics de 1.200 horas operativas para los G7c y 9.100 horas para los EXO.

Durante este periodo operativo, se presentaron diferentes desviaciones. La bitácora de desviaciones identificadas y su categoría se presenta en el ANEXO 8.

En total, se identificaron 12 desviaciones en los diferentes dispositivos. En la siguiente grafica 4-1 se presenta, la categorización de los eventos de acuerdo con su origen.

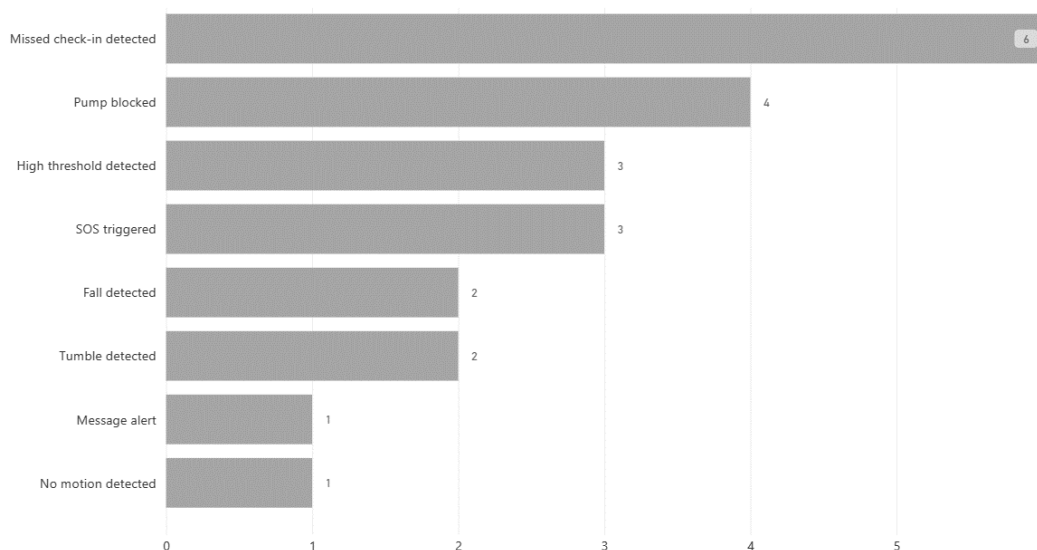


Gráfica 4-1: Cantidad y tipos de eventos

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los detectores G7c, presentaron 4 desviaciones por conexión, 2 por sensor y 2 de acelerómetro. Por otro lado, los EXO presentaron una desviación por sensor y una por su acelerómetro.

Durante la ejecución del Plan piloto, se activaron 22 alarmas, la distribución de estas se presenta en la gráfica 4-2.



Gráfica 4-2: Distribución de alarmas activadas en Plan Piloto

Fuente: Elaboración propia Blackline Analytics

En orden de cantidad de ocurrencia de las alarmas, se presentaron alarmas de pérdida de Check de vida (6). Bomba bloqueada (4), umbral alto (3), SOS (3), detección de caída (2), detección de vuelco (2), mensajes de alerta (1) y hombre sin movimiento (1).

Los tiempos de notificación, reconocimiento, aviso a orden de prioridad y cierre de cada una de las alertas se presentan en el ANEXO 9.

Los tiempos promedio asociados a la gestión de alarmas fueron los siguientes: el tiempo de entrega a la plataforma fue de 4,1 segundos, mientras que el reconocimiento por parte de Blackline se realizó en promedio a los 22,8 segundos. En cuanto a la notificación a orden, solo en los casos en que estuvo presente, tuvo un promedio de 2,41 minutos. Finalmente, el tiempo promedio de resolución de las alarmas fue de 10,6 minutos, considerando todas las tipologías analizadas.

4.1.5. Discusiones

Los resultados obtenidos se presentan en una mesa de trabajo compuesta por personal IPO, las discusiones y decisiones surgidas a partir de las funciones de los G7 se presentan a continuación en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Discusiones de funciones G7c Plan piloto

Plan Piloto: Funciones activas G7c	Discusiones	Decisión final
Alerta SOS	Herramienta clave para la respuesta ante emergencias. Para su eficacia, es fundamental que el usuario comprenda claramente el flujo de comunicación que se activa al presionarla.	Activado
Apagar dispositivo al cargar	Funcionalidad útil que previene el uso accidental durante la carga y reduce la posibilidad de generar alarmas falsas en oficinas.	Activado
Check de vida	De acuerdo con Plan Piloto, usuarios comentan que genera una dependencia al detector y puede ser un distractor al activarse esta alarma en terreno.	Desactivado
Detección ausencia de movimiento	Similar al Check de vida, esta función genera dependencia del dispositivo más allá del uso en campo, sin aportar valor operacional concreto.	Desactivado
Detección de caída	Configuración de acelerómetro al mínimo de sensibilidad alerta golpes de muy baja intensidad, no aporta a la detección.	Desactivado
Alarma conectividad no disponible	En áreas industriales, donde pueden existir zonas con señal intermitente, esta alarma se transforma en un distractor sin impacto relevante en la seguridad.	Desactivado
Alarma batería baja al 10%	Alarma esencial para asegurar continuidad operativa del detector.	Activado
Aviso bump test 30 días	La configuración inicial de 30 días resultó efectiva, es una buena alternativa que permite aumentar el periodo de calibración respecto a los detectores actuales.	Activado
Aviso de calibración 180 días	El periodo predeterminado de 180 días fue considerado demasiado extenso para una acción crítica. Se evaluará una frecuencia más adecuada.	Modificado
Bloquear detector con calibración vencida	Aunque no se verificó su funcionamiento, esta herramienta representa una medida de seguridad adecuada que impide el uso del equipo fuera de especificación.	Activado
Avisos de bump test y calibración silenciados	Permite reducir alarmas no críticas, disminuyendo la sobrecarga de notificaciones al usuario.	Activado
Sensores a 0	Puede generar desajustes en curvas de calibración.	Desactivado
Mensajes de alerta	Se consideran que no aportan valor, además de que aumentan el tiempo de contacto a orden de prioridad.	Desactivado

Fuente: Elaboración propia basada en mesa de trabajo

Las discusiones y decisiones sobre prestaciones activas de los EXO se presentan en la siguiente tabla 4-5.

Tabla 4-5: Discusiones de funciones EXO Plan piloto

Plan Piloto: Funciones EXO	Discusiones	Decisión final
Alerta SOS	Aunque al tratarse de un detector de área sin uso directo de un usuario individual, esta función puede ser necesaria ante eventos específicos.	Activado
Detección de vuelco (Caída EXO)	Aunque presenta desviación en Plan Piloto, se considera función crítica que permite detectar caídas o inclinaciones anómalas del equipo, indicando posibles eventos que comprometan su operatividad.	Activado
Alarma conectividad no disponible	Su activación puede generar confusión al personal, aun así, se considera una alarma esencial para mantener el monitoreo continuo del equipo.	Activado
Alarma batería baja 3%	Alarma esencial para asegurar continuidad operativa del detector, especialmente considerando la autonomía de EXO	Activado
Frecuencia y aviso bump test	La configuración inicial de 30 días resultó efectiva, es una buena alternativa que permite aumentar el periodo de calibración respecto a los detectores actuales.	Activado
Frecuencia y aviso de calibración	El periodo predeterminado de 180 días fue considerado demasiado extenso para una acción crítica. Se evaluará una frecuencia más adecuada.	Modificado
Avisos de bump test y calibración silenciados	Permite reducir alarmas no críticas, disminuyendo la carga de alertas al usuario sin comprometer la seguridad del sistema.	Activado
Sensores a 0	Puede generar desajustes en curvas de calibración	Activado
Volumen configurable localmente	Su desactivación evita posibles manipulaciones no autorizadas del equipo por parte de usuarios en terreno.	Desactivado
Mensajes de alerta	Se consideran que no aportan valor, además de que aumentan el tiempo de contacto a orden de prioridad.	Desactivado

Fuente: Elaboración propia basada en mesa de trabajo

Respecto al servicio de monitoreo Blackline Live, se evaluarán las siguientes prestaciones presentadas en la tabla 4-6.

Tabla 4-6: Discusiones de prestaciones Blackline Live Plan piloto

Plan Piloto: Prestaciones Blackline Live	Discusiones
Monitoreo Blackline Live	Servicio que permite recibir llamadas a contactos de emergencia tras activación de alarmas, se deben realizar ajustes para evitar la activación de muchas alarmas que no generan valor a la detección.
Blackline Analytics	Herramienta eficaz para el análisis del sistema. Facilita la visualización y seguimiento de indicadores clave como activación de alarmas, tiempos de respuesta y estado de calibración. Su uso fortalece la trazabilidad y evaluación del desempeño del sistema y sus usuarios. Una debilidad corresponde a que en graficas de tendencias, los periodos de visualización son muy amplios.
Tiempo de entrega de alarmas a plataforma	Los resultados fueron altamente satisfactorios, con una latencia prácticamente inmediata entre la activación en terreno y la visualización en plataforma.
Tiempo de reconocimiento Blackline	Los tiempos de reconocimiento por parte del sistema fueron adecuados.
Tiempo de notificación a orden de prioridad	Tiempos aceptables, presentan demoras por mensajes de alerta, por lo que podría mejorar.
Configuración de perfiles de usuarios	La plataforma permite una configuración rápida e intuitiva de los perfiles de usuario, lo que facilita su implementación en una estructura organizativa compleja.
Configuración de perfiles de alarma y notificación	Se debe coordinar reuniones con Soporte para creación de perfiles de alarmas, pero una vez creados, son totalmente configurables. Además, la generación de múltiples perfiles permite adaptarse a cada división.
Configuración de dispositivos	Las configuraciones remotas disponibles en la plataforma permiten asignar parámetros operativos a los detectores sin intervención física, optimizando la gestión técnica del sistema.

Fuente: Elaboración propia basada en mesa de trabajo

El protocolo actual de respuesta a emergencias, según lo evidenciado en las tablas anteriores, presenta demoras en los tiempos de notificación a los contactos de emergencia establecidos por orden de prioridad. Este retraso fue atribuido a la etapa intermedia de envío de mensajes desde la central de Blackline, la cual actúa como un filtro previo a la comunicación directa. En función de este hallazgo, se propone ajustar los protocolos eliminando dicha etapa, con el objetivo de optimizar los tiempos de respuesta y mejorar la eficacia del sistema de alertas.

Adicionalmente, se considera que la acción de llamar al número telefónico asignado al portador del dispositivo no aporta valor en situaciones críticas, especialmente si la persona se encuentra en terreno sin el equipo en su poder. Por tanto, se sugiere también revisar este paso dentro del protocolo, y evaluar métodos de contacto que aseguren una respuesta más rápida y efectiva ante emergencias reales.

En resumen, el Plan Piloto cumplió su objetivo al entregar evidencia técnica y operativa suficiente para validar el sistema, ajustar sus configuraciones y establecer lineamientos de implementación futura. Las decisiones tomadas respecto a funciones activas, configuración de alarmas permiten diseñar un sistema de detección, centrada en la seguridad del personal operativo y eficiencia de la respuesta a emergencias.

4.2. PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL

La propuesta de transformación digital se enmarca como inferencia de la ruta semi cualitativa y cuantitativa del estudio, respondiendo al interés del Departamento de SSO en mejorar el sistema de detección de gases peligrosos de ERA.

La presente propuesta de transformación digital, denominado Proyecto de sistema "Detección Digital" En este sentido, la incorporación de tecnología de vanguardia, como los dispositivos Blackline G7, EXO 8 / G7 y la plataforma Blackline Live, representa una evolución en la forma de gestionar la detección de gases en ambientes de alto riesgo.

4.2.1. Etapas del proyecto

La implementación del nuevo sistema "Detección digital" se estructura en cuatro etapas secuenciales y complementarias que permiten consolidar un nuevo sistema de detección digital de gases peligrosos en ENAP Refinería Aconcagua. Estas etapas fueron definidas estratégicamente para abordar tanto los aspectos técnicos como organizacionales del cambio, asegurando la aceptación de los usuarios, la correcta implementación de la infraestructura y la capacitación efectiva del personal operativo.

Cada etapa considera un conjunto de actividades específicas que responden a su propósito particular, generando productos concretos y aportando al éxito del proyecto en su conjunto. La progresión lógica entre etapas permite una transición ordenada desde la socialización inicial hasta la operación sostenible del sistema.

En el ANEXO 10 se presenta el mapa general del Proyecto de sistema “Detección Digital”, que detalla las cuatro etapas y actividades principales de cada una. En el ANEXO 11 se presenta el cronograma de la implementación del sistema, a partir de enero de 2026.

- Alineación organizacional

La primera etapa del Proyecto de sistema “Detección Digital” busca generar una base sólida de aceptación y compromiso por parte del personal de ENAP respecto al nuevo sistema digital de detección de gases. Reconociendo que la incorporación de nuevas tecnologías puede generar resistencia o incertidumbre en los usuarios, esta fase tiene como propósito alinear tempranamente las expectativas, reducir barreras de adopción y construir confianza organizacional, en base al beneficio de la transformación digital. En la tabla 4-7, se presenta los objetivos de esta etapa.

Tabla 4-7: Objetivo Presentación de Proyecto

Objetivo	Meta	Seguimiento	Responsable	Supervisa	Plan de Acción	Recursos
Integrar a personal de ERA a los cambios mediante Presentación de Proyecto con enfoque problema-beneficio	Alcanzar el 100% de asistencia de personal de Departamento Operaciones en seis sesiones	Semanal	Jefe División Prevención Operativa	Jefe Departamento SSO	Presentación de proyecto	Materiales: Salón de eventos, Presentación y Registro de asistencia Humanos: Jefe División Prevención Operativa y Departamento Operaciones

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Con el propósito de integrar al personal de operaciones a los cambios que propone el Proyecto de sistema “Detección Digital”, se desarrolla una instancia estructurada de presentación. Esta actividad tiene como objetivo generar comprensión del problema actual, difundir los beneficios de la nueva solución tecnológica y fomentar una actitud participativa desde el inicio del proyecto. A continuación, en la table 4-8 se detalla la estructura de esta presentación.

Tabla 4-8: Contenidos Presentación de proyecto

Módulo	Contenido
Introducción	Situación actual de la detección de gases
	Integración al sistema
Integración	Nueva calibración
	Gestión de alarmas
	Beneficios
Cierre	Resolución dudas y consultas

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Gestión de compras

La segunda etapa del Proyecto de sistema “Detección Digital” tiene como finalidad asegurar la adquisición técnica y contractualmente adecuada de todos los recursos necesarios para la implementación del nuevo sistema de detección digital de gases en ERA. Esta fase considera tanto los dispositivos físicos (G7c, EXO, Dock, Gas Patrón) como las licencias de plataforma, la cual considera un plan de acción específico de ERA orientado a la gestión de compras y contrataciones, mediante Plataforma SAP.

En el ANEXO 12 presenta un flujograma que describe de manera secuencial las principales acciones involucradas en este proceso.

- Gestión de Infraestructura

Tras finalizar la etapa de gestión de compras, se da paso a la fase de gestión de infraestructura. Esta etapa resulta clave, ya que permite realizar una revisión detallada de los dispositivos adquiridos, verificando el estado y funcionamiento de cada componente. Su función es asegurar que todo el equipamiento se encuentre en condiciones óptimas antes de poner en marcha el sistema de detección, para esto, se presentan los objetivos la tabla 4-9.

Tabla 4-9: Objetivo Gestión de Infraestructura

Objetivo	Meta	Seguimiento	Responsable	Supervisa	Plan de Acción	Recursos
Asegurar la funcionalidad de todos módulos Dock	Instalar 2 módulos de 5 Dock de acuerdo con especificaciones técnicas	Diario	Mantenimiento ERA	Inspector Prevención Operativa	Instalación de módulos Dock	Material: Docks, graficas e instructivos, soportes, gases patrón. Humanos: IPO,
	Registrar cantidad de Docks operativos	Diaria	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Prueba de funcionamiento Dock	Material: Docks, soportes y gases patrón Humanos: IPO
Asegurar la funcionalidad y conectividad de los detectores, mediante prueba de funcionamiento	Registrar la cantidad total de detectores operativos	Diaria	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Prueba funcionamiento G7c	Material: Plataforma Blackline, Detectores G7c, EXO Humano: IPO
Acondicionar sistema de monitoreo, mediante configuración de plataforma	Configurar la totalidad de detectores	Diaria	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Configuración de plataforma, perfiles y protocolos	Material: Plataforma Blackline, Detectores G7c, EXO Humano: IPO

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Programa Capacitación y Seguimiento

Con el fin de fortalecer las competencias técnicas del Operadores, Supervisión Terreno y Operadores jefe en la gestión del nuevo sistema digital de detección de gases peligrosos en ENAP Refinería Aconcagua, se diseña el proyecto de Sistema de Detección Digital, con el propósito de preparar a los equipos clave de ERA para la correcta utilización, interpretación y administración de los dispositivos Blackline Safety y la plataforma Blackline Live, además de realizar un seguimiento general y de cada división. En el ANEXO 13 se presentan los objetivos del Programa de Capacitación y Seguimiento.

Consideración: El proveedor Safety Service será el encargado de ejecutar las capacitaciones, con costos incluidos en suscripción a Blackline Live.

A continuación, se detallan los seis Planes de acción para cumplir los objetivos del Programa.

- Plan de Capacitación en Uso de Detectores G7c

El Plan de capacitación de Uso de Detectores G7c, se realiza a Operadores de terreno, Operadores jefe y Supervisor de Operación, la ejecución de este Plan se realiza de manera semanal secuencial para las seis divisiones, con una duración de dos semanas. Los detectores serán entregados al primer turno que le corresponda la capacitación. Los contenidos de esta capacitación se presentan en la tabla 4-10.

Tabla 4-10: Contenidos Capacitación uso de detector G7c

Módulo	Contenido
Introducción	Fundamentos de detección de gases peligrosos Partes del equipo, encendido, apagado y SOS
Funcionamiento	Revisión del estado operativo y sensores activos
	Lectura e interpretación de la pantalla
	Uso práctico del equipo
	Precauciones operativas
Gestión de Alarmas	Protocolos ante alarmas
Cierre	Resolución dudas y consultas

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Plan de Capacitación en Plataforma Blackline Live

El Plan de Capacitación en Plataforma Blackline Live está dirigido a líderes de operaciones, con el propósito de formar competencias en la gestión remota de trabajadores, detección de gases y análisis de datos a través de la plataforma digital Blackline Live. La ejecución de este Plan se realiza de manera secuencial para las seis divisiones. Los contenidos de esta capacitación se presentan en la tabla 4-11.

Tabla 4-11: Contenidos Capacitación en Plataforma Blackline Live

Módulo	Contenido
Introducción	Fundamentos de detección de gases peligrosos
Funcionamiento	Acceso a Blackline Live
	Visualización de mapas y dispositivo
	Estado de dispositivos
Gestión de alarmas	Perfiles de alerta EXO
Evaluación	Cuestionario online

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Plan de Capacitación en Calibración de Detectores G7c

El Plan de Capacitación en Calibración de Detectores G7c está dirigido a operadores y personal técnico que se desempeña en terreno, con el objetivo de formar un grupo capacitado para realizar calibraciones y bump test de los equipos G7c en Dock. Se ejecuta mensualmente, según disponibilidad de los dispositivos y gas patrón. Los contenidos de esta capacitación se presentan en la tabla 4-12.

Tabla 4-12: Contenidos Capacitación Calibración G7c

Módulo	Contenido
Introducción	Fundamentos de la calibración y bump test Condiciones requeridas, intervalos de calibración y bump test
Uso del Dock de Calibración	Verificación de tren de calibración Conexión del G7c – Dock Manipulación de detector Aplicación gas patrón Interpretación de resultados
Gestión de Fallas	Detección de fallas en sensores y conexión
Práctica Guiada	Ejercicio de calibración supervisada
Cierre	Resolución de dudas y consultas

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Plan de seguimiento de Gas Patrón

En el ANEXO 14 se presenta el calendario de calibración, bump test y cambio de gas patrón de módulos de calibración y bump test.

La reposición de cilindros de gas patrón en los módulos es responsabilidad de División Prevención Operativa, de acuerdo con la siguiente frecuencia presentada en la tabla 4-13.

Tabla 4-13: Frecuencia reposición gas patrón

Gas patrón	Frecuencia de cambio [días - semanas]	Cilindros para calibración	Cilindros para bump test
Mezcla H₂S CO N₂ O₂ CH₄	52 – 7	7	3
SO₂ N₂	73 – 10	5	2
NH₃ N₂	182 – 26	2	1
Cl₂ N₂	182 – 26	2	1

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los gases patrones se adquieren mediante el flujograma presentado en la etapa de Gestión de Compras ANEXO 12, Abastecimiento ERA mediante el código SAP de los cilindros realiza un seguimiento del inventario disponible de los gases en bodega, cuando se llega a la mitad de la cantidad necesaria presentada en la tabla 4-13, se realiza una compra automática de la otra mitad de la cantidad de gas necesaria.

Por este motivo, los IPO deben realizar seguimiento de los cambios de gases de acuerdo con calendario, y retirarlos la semana anterior al cambio.

- Plan de Evaluación del Sistema

El Plan de Evaluación del Sistema se implementa mediante una mesa de trabajo semestral, con participación de representantes de IPO y líderes de Operaciones. Esta mesa permite analizar el desempeño del sistema digital de detección de gases y definir acciones de mejora continua. Las reuniones se realizan julio y enero de cada año, según disponibilidad, a partir del año de implementada la propuesta. Los contenidos de esta capacitación se presentan en la tabla 4-14.

Tabla 4-14: Contenidos Plan de Evaluación del Sistema

Módulo	Contenido
Objetivo de la Mesa	Justificación y alcance de la revisión
Retroalimentación	Sugerencias y reclamos de operaciones
Propuestas de Mejora	Identificación de acciones correctivas
Cierre	Comentarios finales

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Reportabilidad

Cada mes, el IPO asignado a cada división, entregara un reporte mensual la última semana de cada mes, con los indicadores clave de desempeño de uso de los detectores mediante el análisis de datos desde Blackline Analytics.

Los indicadores corresponden a uso de detectores (Bump test y calibración), cantidad y tipo de eventos, cantidad y tipo de alarmas y tendencia de concentraciones EXO.

4.2.2. Arquitectura del sistema

El Proyecto de sistema “Detección Dígital”, está diseñado para integrarse a la estructura del Departamento de Operaciones, en conjunto con la División Prevención Operativa, la

estructura del Departamento de Operaciones se presenta a continuación en la figura 4-4.



Figura 4-4: Organigrama Departamento Operaciones

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

El Departamento de Operaciones se estructura en seis divisiones correspondientes a las áreas de Fraccionamiento, Hidrógeno, Cracking, Coker, Suministros y MOP. Cada división cuenta con una dotación base compuesta por un jefe de División, un Supervisor de Operaciones y cuatro Operadores jefe, complementados por el resto del personal operativo según las necesidades específicas de cada área. Estas dotaciones operan en un régimen de trabajo por turnos rotativos, organizados en cuatro turnos: A, B, C y D, lo que permite una cobertura continua de las operaciones durante las 24 horas del día.

Los cargos de jefe, Supervisor de Operaciones y Operador TDC corresponden principalmente a funciones de carácter administrativo, mientras que los roles de Operador jefe, Supervisor de Terreno y Operador de Terreno poseen un perfil operativo, desempeñándose de forma regular en áreas de procesos. Esto implica una mayor exposición a ambientes con potencial presencia de gases peligrosos. Considerando esta diferencia en los perfiles de cargo y niveles de exposición, la implementación de los detectores de gases se prioriza en el personal operativo directamente vinculado a terreno. La dotación de este personal seleccionado se presenta en la siguiente tabla 4-15.

Tabla 4-15: Dotación personal operativo de Departamento de Operaciones

Cargo	Fraccionamiento	Hidrógeno	Coker	Cracking	Suministros	MOP
Operador Jefe	4	4	4	4	4	4
Supervisor Terreno	4	2	4	1	-	-
Operador de terreno	34	26	31	41	17	34
Personal subtotal	42	32	39	46	21	38
Máximo por turno	11	8	10	12	6	10
Personal total por turno	57					

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

El nuevo sistema digital de detección de gases de ERA contempla un ecosistema de dispositivos de Blackline Safety, a continuación, en la tabla 4-16 se detallan los dispositivos G7c y EXO existentes en ERA adquiridos para el Plan Piloto.

Tabla 4-16: Universo actual de detectores Blackline

Configuración detectores	Cantidad
G7c SO2	4
G7c Cl2	1
G7c NH3	1
EXO SO2	5

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

A continuación, se detallan los dispositivos a utilizar y complementos, así como también la distribución funcional de cada uno de los elementos del sistema.

- Blackline G7c

Los detectores Blackline G7c reemplazan a los detectores GasAlert Extreme y a los MultiRAE Lite, en sus diferentes funciones. G7c se emplaza como un nuevo detector personal que, al ser multigas, aumenta la seguridad de las personas, a continuación, se presenta en la tabla 4-17 las configuraciones disponibles de sensores.

Tabla 4-17: Configuración de sensores

Sensores fijos				Sensores variables		
H2S	O2	CO	LEL	SO2	NH3	Cl2

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Al ser G7c un detector con la capacidad de modificar su configuración de sensores, se establece que deben cumplir con los cuatro sensores fijos y uno variable en todo momento, este último dependiendo del área en donde se encuentre la persona de acuerdo con lo expresado en PHSEC-08 "Uso de Elementos de Protección Personal Mínimos".

La división de suministros contara con una flota total de detectores con sensor variante de Cl₂, mientras que el resto con variante de SO₂ y en menor medida NH₃, esta configuración busca asegurar la disponibilidad de equipos con diferentes variantes de sensores.

La distribución funcional de los diferentes sensores variables se realiza mediante el análisis de las áreas de exposición a gases peligrosos, y tomando como base, el procedimiento PHSEC-08.

La cantidad de detectores por división corresponde al máximo de personas por turno, a continuación, se presenta la distribución funcional en la siguiente tabla 4-18.

Tabla 4-18: Distribución funcional del universo de G7c

Configuración detectores	Fraccionamiento	Hidrógeno	Coker	Cracking	Suministros	MOP	SSO	Actuales	Total
G7c SO2	9	7	9	10	0	9	2	4	50
G7c Cl2	0	0	0	0	6	0	0	1	7
G7c NH3	2	1	1	2	0	1	0	1	8
Total	11	8	10	12	6	10	2	6	65

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Blackline EXO

Los dispositivos Blackline G7 EXO / G8 EXO rempazan a los detectores MeshGuard MRAE para la medición en áreas específicas en donde exista riesgos de exposición a gases peligrosos. Estos detectores se adoptan en la configuración presente en la tabla 4-19.

Tabla 4-19: Configuración de sensores

Sensores fijos				
H2S	O2	CO	LEL	SO2

Fuente: Elaboración propia

Como parte del Plan Piloto se adquirieron 5 detectores EXO G7c, dos adquiridos por Departamento Planificación y Ejecución Paradas de Planta y tres por SSO.

En operación normal de planta, se propone que cada una de las seis divisiones podrá contar con un detector EXO, solicitando la instalación del Dispositivo al Inspector en Prevención Operativa de su área, motivo por el cual, en temas de disponibilidad, se propone la adquisición un dispositivo EXO extra para SSO.

Para Paradas de Planta, la disposición de los detectores queda sujeta a análisis del Departamento SSO y Departamento Planificación y Ejecución Paradas de Planta.

En base a esto, se presenta la distribución funcional del universo propuesto de dispositivos EXO, para cada departamento.

- Docks

Se instalan dos módulos de calibración Dock G7 en Sala de Control, este lugar es seleccionado estratégicamente debido a que corresponde al lugar transitado por los operadores al inicio y fin del turno, a continuación, se presenta la disposición geográfica de los Módulos de Calibración en la figura 4-5.

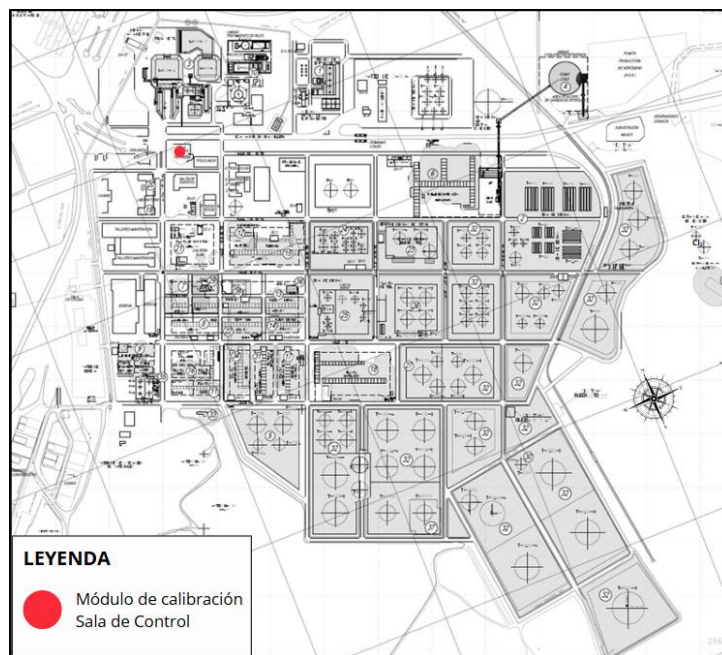


Figura 4-5: Disposición geográfica módulos de calibración

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los Módulos de calibración se instala en el ala noroeste de la Sala de Control, la siguiente imagen 4-1 muestra el lugar en donde será instalado.



Imagen 4-1: Lugar de instalación de módulos de calibración

Fuente: Elaboración propia

Un módulo incluye 5 docks, uno estará destinado a la calibración y el otro a bump test, los 10 Docks estará soportados a la pared, sobre una mesa de acero inoxidable, soportes para gases patrón, 4 gases patrón por módulo, conexión gas patrón – dock y dock – atmósfera, hoja de datos de seguridad de todas las sustancias, registro de cambio de cilindros, material gráfico de instructivo de Docks.

4.2.3. Integración del sistema

En esta sección se describe la configuración los dispositivos, perfiles de usuarios, y perfiles de alerta ante emergencias, conductos regulares y calibración de detectores para conformar un sistema cohesionado de detección y respuesta ante gases peligrosos.

- Gestión de usuarios

Los detectores G7c, no estarán asociados a ningún dato personal de un trabajador, como lo puede ser su nombre o número de teléfono, etc. de tal manera de evitar la sensación de monitoreo en el usuario. En cambio, cada dispositivo se identificará mediante un código alfanumérico compuesto por el nombre de la división y un número correlativo de dispositivo. Por ejemplo: Hidrógeno_01, Fraccionamiento_06 o Coker_11, etc.

Cada dispositivo de una división estará asignada a su grupo en la plataforma, permitiendo así, que cada división tenga un acceso a una única cuenta de visualización propia de sus dispositivos G7c y EXO y todos sus datos generados.

El jefe de cada división, operador jefe y operador TDC recibirán todas las notificaciones de alarmas generadas por sus equipos a sus correos ENAP. Por otro lado, cada división queda con libertad de compartir su cuenta de visualización a su estructura, si así lo estima conveniente.

La División de Prevención Operativa y Área de Respuesta a Emergencias dispondrá de visualización general de alarmas generas por cualquier división y sus dispositivos estarán asignados a su personal, para apoyar la comunicación en la gestión de alarmas y creación de contactos de emergencia.

- Funciones de los detectores

A continuación, se presentan las funciones habilitadas en el detector G7c en la tabla 4-20.

Tabla 4-20: Funciones habilitadas G7c

Ajustes funcionales	Descripción
Alerta SOS	Alarma de solicitud de ayuda
Alarma batería baja	Alarma sonora de batería baja al 10% de batería
Aviso bump test silenciado	Aviso de bump test cada 30 días en display
Aviso de calibración silenciado	Aviso de calibración cada 90 días en display
Bloquear detector descalibrado	El detector se bloquea automáticamente al estar sin calibración

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

A continuación, se presentan las funciones habilitadas en el detector de área EXO en la tabla 4-21.

Tabla 4-21: Funciones habilitadas EXO

Ajustes funcionales	Descripción
Alerta SOS	Alarma de solicitud de ayuda
Alarma caída	Detección de volcamiento de EXO
Alarma conectividad no disponible	Alarma sonora tras pérdida de conexión por más de 5 minutos
Alarma batería baja	Alarma sonora de batería baja al 3% de batería
Aviso de bump test silenciado	Aviso de bump test cada 30 días en display
Aviso de calibración silenciado	Aviso de calibración cada 90 días en display
Programa de muestreo	Intervalo de muestras por entrada de 2 minutos

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Protocolos de Respuesta a Emergencia

Ante la activación de una alarma, se configuran tres protocolos de respuesta a emergencias, "Protocolo G7c DPO", "Protocolo G7c OPERACIONES G7c" y "Protocolo EXO", que se activan desde la central de Blackline Live en Canadá.

Hay que mencionar que la activación de alarmas por batería baja de G7c se gestionaran de manera local por parte de cada usuario y no generaran activación de los protocolos, ni notificaciones a usuarios por correo electrónico. No así, la alarma de batería baja de EXO, que si enviara notificaciones por correo a la división operativa e inspector operativo encargado.

El "Protocolo G7c DPO" y el "Protocolo G7c OPE" están ligados a todas las alarmas que se pueden generar en los G7c, están corresponden a alarmas SOS, detección de umbral alto, STEAL y TWA, todas estas, la única diferencia es los contactos de emergencias de ambos. Estas alarmas activan el protocolo de respuesta a emergencia de Blackline Live, el cual inicia los flujos de comunicación de central con ERA, tal como se presentan en la siguiente figura 4-6.

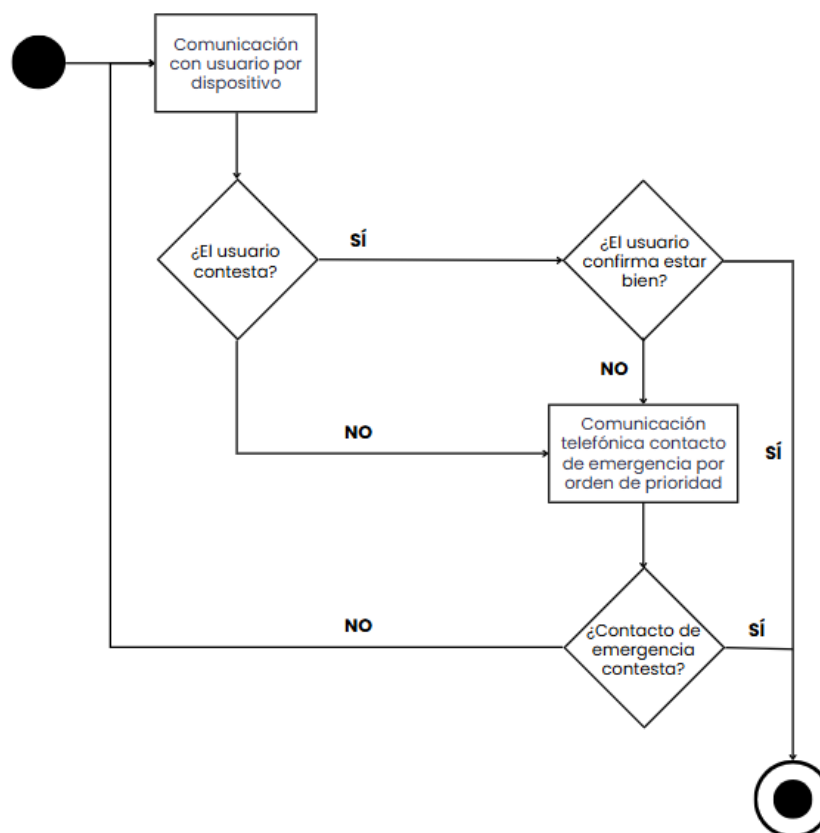


Figura 4-6: Protocolo DPO y OPERACIONES Respuesta a Emergencias G7c

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Al detectarse el evento iniciador en el G7c, se activa ambos protocolos establecidos, los eventos iniciadores son los siguientes:

- Concentración de gas superior al umbral alto
- TWA y STEAL
- Alarma SOS (Alarma SOS EXO, comparte protocolo)

La Etapa 1 busca comunicar a la Central Blackline con el usuario del dispositivo para conocer su condición, si el usuario no contesta, inicia la Etapa 2, en la cual la Central, intenta comunicarse con los contactos de emergencia mediante un orden de prioridad para informar sobre el evento, si no consigue comunicarse, vuelve a la Etapa 1.

En el "Protocolo G7c DPO" se activa flujos de comunicación con el siguiente orden de prioridad de contactos de emergencia presentados en la figura 4-7.



Figura 4-7: Orden de prioridad contactos de emergencia G7c DPO

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Por otro lado, el "Protocolo G7c OPE" comparte orden de prioridad con los contactos de emergencia de "Protocolo EXO" que se presenta en la figura 4-8.

El "Protocolo EXO", se activa cuando se presenta una alarma por:

- Detección de umbral alto
- Bomba bloqueada
- Detección de vuelco del EXO

Cualquiera de estas alarmas activa el flujo de comunicación presentado en la figura 4-4 en el Plan Piloto.

La activación de las alarmas anteriormente mencionadas en el protocolo EXO, activan el flujo de comunicación con el orden de prioridad de contactos de emergencia para informar el evento.

Ambos protocolos, comparten el orden de prioridad de contactos de emergencia para operaciones, que dependerá de la división operativa e inspector en prevención operativa asignado, la estructura general se presenta en la siguiente figura 4-8.

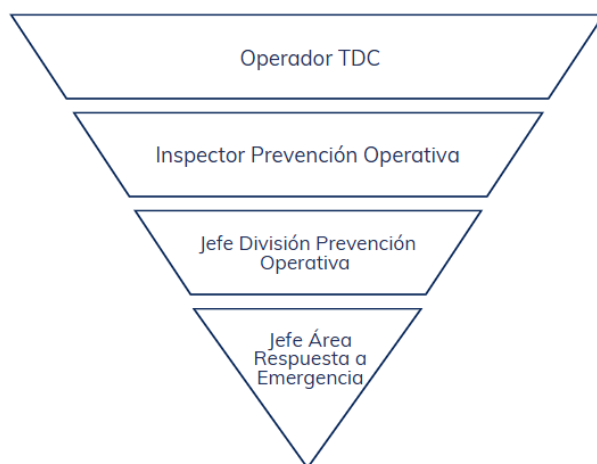


Figura 4-8: Orden de prioridad contactos de emergencia G7c OPERACIONES

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Se crearán seis perfiles de alerta, con los mismos protocolos, pero variando el orden de prioridad, dependiendo de la división. La primera opción de contacto de emergencia corresponde al Operador TDC de la división, luego al Inspector en Prevención Operativa encargado de la división, continuando con el jefe en Prevención Operativa, jefe Área Respuesta a Emergencias y, por último, el Asistente de Protección Planta.

Una vez se realice la comunicación del evento a algún contacto de emergencia, se debe seguir el flujograma presente en ANEXO 15 y ANEXO 16, para "Protocolo G7c DPO" y el "Protocolo G7c OPERACIONES" respectivamente.

La detección de umbral bajo de concentración de gas, en cualquier protocolo, solo emite notificaciones vía correo electrónico. Los valores utilizados para alarmas de umbral bajo y alto, son los presentados en la tabla 2-2.

El resumen de los dispositivos, eventos que activan alarmas, protocolos y prioridades de contacto, se resumen en la siguiente figura 4-9.

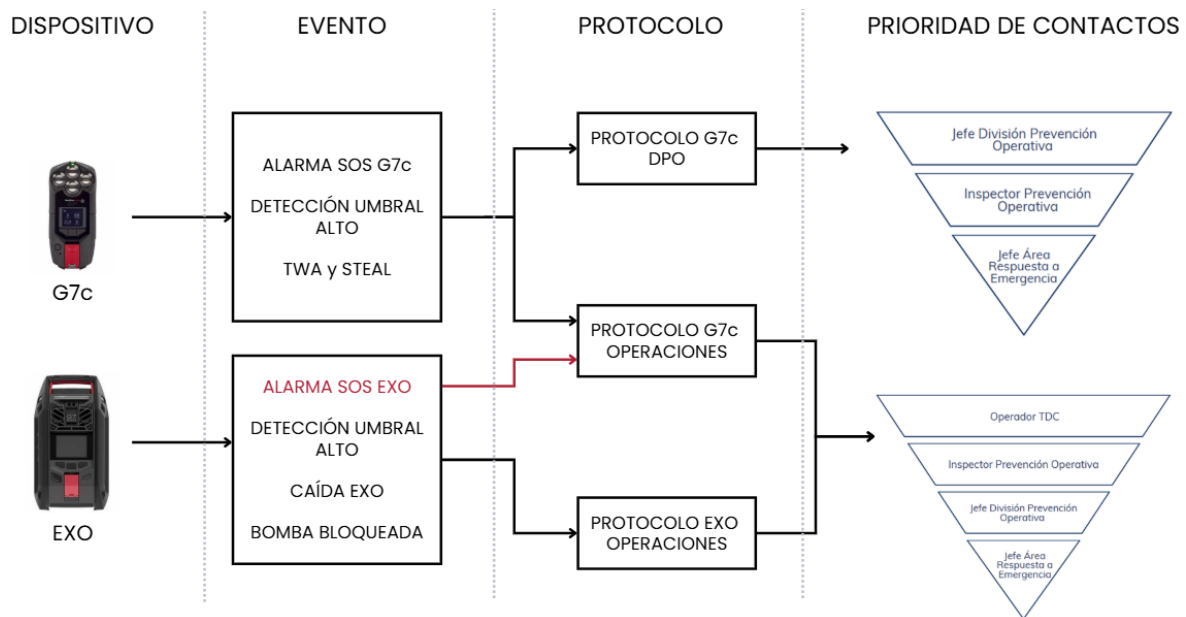


Figura 4-9: Resumen de arquitectura del Sistema Detección Digital

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Gestión de fallas

Ante la identificación de una falla en el funcionamiento de un detector multigas, cada usuario deberá seguir el conducto regular establecido para garantizar una adecuada trazabilidad de la desviación y activar el proceso de garantía del equipo cuando sea posible.

Este procedimiento tiene por objetivo asegurar la trazabilidad de los incidentes técnicos y garantizar que cada dispositivo que presente una anomalía sea tratado de forma oportuna conforme a las condiciones de garantía del fabricante.

A continuación, en la figura 4-10 se presenta el flujograma que debe seguir el usuario al identificar una desviación en su dispositivo.

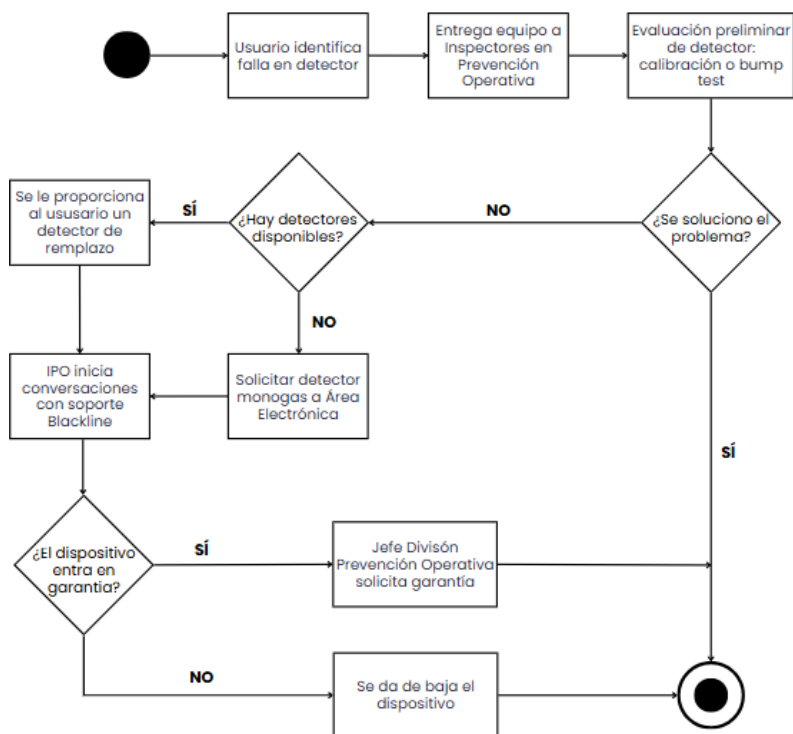


Figura 4-10: Conducto regular gestión de fallas

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

- Calibración

El periodo de calibración de los detectores G7c y EXO será cada 90 días, la calibración de los Detectores G7c será responsabilidad de cada usuario, mientras que los IPO estarán a cargo de los EXO.

Las pruebas de funcionamiento o bump test se realizarán cada 30 días, en 2 grupos de divisiones, es decir, el Grupo 1 el día 0 y 30 y el Grupo 2 el día 15 y 45, tanto para los G7c como los EXO. La configuración de los grupos de bump test se presenta a continuación en la tabla 4-22.

Tabla 4-22: Grupos de bump test

Grupo 1	Suministros, Cracking, MOP y DPO
Grupo 2	Fraccionamiento, Coker e Hidrógeno

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

En el ANEXO 14, se presenta un calendario de 4 periodos de calibración, es decir 52 semanas o un año calendario, en este se muestra la semana que le corresponde realizar calibración de detectores a cada división, incluyendo Prevención Operativa, además de la semana en que se debe cambiar los diferentes cilindros de gas patrón en el módulo.

El almacenamiento de los gases patrón, realiza Bodega de ERA, el retiro y disposición en Módulo de calibración res responsabilidad de los Inspectores en Prevención Operativa.

4.2.4. Gestión del Cambio

Para este propósito, se consideran las buenas prácticas propuestas por Blackline Safety en su "Change Management Workbook", las cuales han sido adaptadas a la realidad de ENAP Refinería Aconcagua y al proyecto Sistema de Detección Digital. Estas se estructuran en cinco etapas clave que guían la transformación digital, alineadas también con las etapas del proyecto presentadas en el ANEXO 10.

- Alinear el propósito del cambio

El cambio tecnológico debe estar alineado con los objetivos de seguridad y la cultura organizacional de la empresa. En el caso de ERA, esto se enmarca en la Política Corporativa de Salud y Seguridad Ocupacional, presentada en ANEXO 1, cuyo énfasis se encuentra en la protección de la vida y la integridad física de trabajadores y contratistas, promoviendo la gestión preventiva, el liderazgo en seguridad y el mejoramiento continuo. La introducción de tecnología conectada contribuye directamente a estos compromisos, principalmente en buscar las mejores prácticas de seguridad en la industria.

- Liderazgo visible y comunicación efectiva

La participación de líderes organizacionales es esencial para generar confianza en los usuarios. En el proyecto Sistema de Detección Digital, esto se aborda mediante instancias de socialización del proyecto con Operadores jefe, Supervisores de Terreno y jefes de División de Operaciones. Estos encuentros tienen como objetivo difundir los beneficios del sistema, reducir la resistencia al cambio y reforzar el sentido de urgencia y compromiso con la seguridad.

- Construcción de una red de cambio interna

La formación de una mesa multidisciplinaria liderada por el Departamento de SSO y conformada por personal clave de Operaciones y Prevención Operativa permite generar una instancia permanente de retroalimentación, resolución de desviaciones y mejora

continua. Esta red tiene un rol fundamental en acompañar el proceso de implementación y facilitar la adopción desde cada división.

- Inversión en implementación y formación

El éxito del despliegue del sistema depende en gran parte de la capacitación efectiva de los usuarios. Para ello, el proyecto considera tres planes de formación: uno para el uso práctico de los dispositivos G7c, otro orientado a líderes en la gestión y análisis de información en Blackline Live y el último, enfocado en el uso de Módulos de Calibración Dock. Ambos incluyen módulos introductorios, sesiones prácticas, resolución de alarmas y cierre con consultas.

- Monitoreo de adopción y cierre de brechas

Una vez desplegado el sistema, es necesario evaluar su adopción y efectividad. Para ello, se considera el uso de indicadores de desempeño asociados al uso de detectores, activación de alarmas, cumplimiento de calibraciones y tiempos de respuesta. Esta información, junto con encuestas de retroalimentación y análisis de datos de Blackline Analytics, permitirá tomar decisiones informadas para fortalecer la adopción y ajustar procesos.

4.2.5. Gestión de Riesgos Emergentes

Se ha desarrollado un Plan de Gestión de Riesgos del proyecto que permita anticipar y gestionar las amenazas asociadas a su futura implementación. Este análisis se centra especialmente en riesgos emergentes.

Para ello, se utiliza una metodología cualitativa basada en la construcción por parte de una mesa de trabajo, una matriz de evaluación de riesgos, considerando los niveles de probabilidad y consecuencia. A partir de esta matriz, se clasifican los riesgos según su nivel de criticidad, lo que permite priorizar las medidas de mitigación necesarias para garantizar una implementación exitosa del sistema.

En el ANEXO 17 se presenta la calificación de atributos de probabilidad utilizada como escala para determinar la probabilidad de que un riesgo se materialice, la calificación de atributos de consecuencia, como escala para determinar el impacto de los efectos de la materialización del riesgo y la fórmula de cálculo de exposición al riesgo. Todo elaborado mediante una mesa de trabajo en conjunto a IPO.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de evaluación de riesgos permiten clasificar cada situación según su nivel de criticidad. Para ello, se pondera la

probabilidad y la consecuencia en una escala del 1 al 3, y el nivel de riesgo se obtiene multiplicando ambos factores (Riesgo = Probabilidad × Consecuencia). En función del valor resultante, se establece la siguiente categorización:

- Riesgo Bajo: puntuación entre 1 y 2.
- Riesgo Medio: puntuación entre 3 y 5.
- Riesgo Alto: puntuación superior a 6.

En el ANEXO 18 se presentan los riesgos emergentes más relevantes que podrían surgir durante la implementación de la propuesta de transformación digital en ERA.

4.2.6. Análisis de costos

En esta sección se analizan los costos asociados a la ejecución del Plan Piloto, y a la propuesta de transformación digital. Considerar precios de lista, sin impuesto al valor agregado del 21%.

- Plan Piloto

Tal como se indicó anteriormente, el Plan Piloto considera la adquisición de seis detectores G7c y cinco detectores EXO, con subscripciones de monitoreo de 2 y 3 años respectivamente, de acuerdo con los precios de lista indicado en la tabla 3-4.

El Plan piloto no considera como concepto de costo la adquisición de gas patrón, ya que se utilizaron unos ya adquiridos por otro centro de costos de ERA.

A continuación, se presentan los conceptos de costos, cantidades y costos total en dólares de cada elemento del Plan Piloto en la tabla 4-23.

Tabla 4-23: Costos asociado a implementación Plan Piloto

Concepto	Ítem	Característica	Cantidad	Costo
Hardware	G7c + bomba + set de carga	SO2	4	\$ 2.552
		CL2	1	\$ 638
		NH3	1	\$ 638
	EXO + bomba + set instalación y carga	SO2	5	\$ 30.550
Software	Monitoreo Blackline Live G7c	-	6	\$ 13.800
	Monitoreo Blackline Live EXO	-	5	\$ 6.840

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La inversión inicial de la implementación del Plan Piloto por concepto de costo, se resumen en la siguiente tabla 4-24.

Tabla 4-24: Inversión inicial por concepto Plan Piloto

Concepto	Costos
Hardware	\$ 34.378
Software	\$ 20.640
Inversión inicial	\$ 55.018

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La inversión inicial asociada a la propuesta asciende a un total de US\$55.018. De este monto, US\$34.378 corresponden a la adquisición del hardware, mientras que US\$20.640 se destinan a la contratación del servicio de software, contemplando una duración de dos años para los dispositivos G7c y tres años para los EXO.

- Propuesta transformación digital

Para llevar a cabo el análisis de costos de la propuesta, en primer lugar, se estima la inversión inicial requerida para la implementación, considerando los componentes aquellos que ya fueron adquiridos en el marco del Plan Piloto. A continuación, en la tabla 4-25 se presentan los costos asociados a implementación de propuesta.

Tabla 4-25: Costos asociados a implementación de propuesta

Concepto	Ítem	Característica	Cantidad	Costo
Hardware	Detector individual + bomba + set de carga	SO2	50	\$ 31.900
		CL2	7	\$ 4.466
		NH3	8	\$ 5.104
	Detector portátil de área + bomba	SO2	6	\$ 36.660
	Módulo de calibración	-	2	\$ 9.720
Software	Monitoreo Blackline Live G7c	-	65	\$ 149.500
	Monitoreo Blackline Live EXO	-	6	\$ 8.208
Infraestructura	Soportes cilindro gas	-	2	\$ 100
	Reguladores de caudal	1 [l/min]	4	\$ 1.520
		0,5 [l/min]	8	\$ 3.040
Mano de obra	Instalación Docks			\$ 100
Mantenición	Gas patrón	Mezcla	10	\$ 5.480
		SO2	7	\$ 3.094
		Cl2	3	\$ 1.980
		NH3	3	\$ 1.980

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los cálculos realizados para la estimación de los cilindros necesarios para implementar la propuesta, se presentan en el ANEXO 19.

Finalmente, la inversión inicial total de la propuesta por concepto se resume en la Tabla 4-26, la cual consolida los principales ítems presupuestarios.

Tabla 4-26: Inversión inicial por concepto de propuesta

Concepto	Costos
Hardware	\$ 87.850
Software	\$ 157.708
Infraestructura	\$ 4.660
Mano de obra	\$ 100
Mantenimiento	\$ 12.534
Inversión inicial	\$ 262.852

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

A partir de esta base, se realiza una proyección de inversión a 5 y 10 años, considerando un crecimiento anual estimado de costos del 2 %. Para efectos de este análisis, se define el Año 0 como el periodo correspondiente a la ejecución del Plan Piloto, mientras que el Año 1 marca el inicio de la implementación completa del sistema propuesto. Esta estructura permite evaluar la evolución financiera del proyecto desde el primer año completo de operación. El desglose de los costos anuales se detalla a continuación en la tabla 4-27.

Tabla 4-27: Proyección de costos de implementación de propuesta

Año	Hardware + Software		DOCK	Mantenimiento		Infraestructura + Mano de obra	Costo anual
	G7c	EXO		Gas patrón			
0	\$ 17.628	\$ 37.390				\$	55.018
1	\$ 173.342	\$ 7.478	\$ 9.720	\$ 12.534	\$ 4.760	\$	207.834
2	\$ 14.358			\$ 12.785		\$	27.142
3	\$ 141.182	\$ 7.259		\$ 13.040		\$	161.481
4	\$ 14.938	\$ 1.452		\$ 13.301		\$	29.690
5	\$ 146.886			\$ 13.567		\$	160.453
6	\$ 15.541	\$ 7.703		\$ 13.839		\$	37.083
7	\$ 152.820	\$ 1.541		\$ 14.115		\$	168.476
8	\$ 16.169			\$ 14.398		\$	30.567
9	\$ 158.994	\$ 8.174		\$ 14.686		\$	181.854
10	\$ 16.822	\$ 1.635		\$ 14.979		\$	33.436
Σ 5	\$ 508.333	\$ 53.578	\$ 9.720	\$ 65.227	\$ 4.760	\$	641.619
Σ 10	\$ 868.680	\$ 72.631	\$ 9.720	\$ 137.244	\$ 4.760	\$	1.093.035

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los costos finales corresponden a USD\$641.619 a los 5 años y a los 10 años los costos aumentan a USD\$1.093.035.

4.2.7. Beneficios a la organización

Con la final de comparar los costos asociados a la propuesta, con una renovación del universo de detectores actuales. A continuación, se presenta el mismo análisis costos del universo de detectores de ERA, pero limitado a los detectores utilizados por DPO y Operaciones, utilizando los precisos lista de la tabla 2-7.

A continuación, en la tabla 4-28 se presentan los datos para determinar la cantidad de cilindros necesarios para calibrar el universo de detectores en utilizados por DPO y Operaciones.

Tabla 4-28: Cilindros utilizados en detectores de DPO y Operaciones

Detector	Cantidad	Gas patrón	vol [l]	Q [l/min]	t [min]	[l/Cal]	[Cal/año]	[Cal/Cilindro]	0,8	Cilindros necesarios
H2S	170	H2S	58	0,5	2	1	510	46		11
SO2	40	SO2	58	0,5	2	1	120	46		4
NH3	20	NH3	58	1	2	2	60	23		4
CL2	20	CL2	58	1	2	2	60	23		3
MULTIGAS SO2	15	Mezcla	58	0,5	2	1	45	46		2
		SO2	58	0,5	2	1	45	-		-
MULTIGAS NH3	5	Mezcla	58	0,5	2	1	15	-		-
		NH3	58	1	2	2	15	-		-

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La siguiente tabla 4-29, indica el costo unitario en dólares de los cilindros de gas patrón y los gastos totales del periodo para la calibración de todo el universo de detectores utilizados por DPO y Operaciones.

Tabla 4-29: Costos de calibración actuales para DPO y Operaciones

Gas	Cilindros	Costo	Subtotal
H2S	11,0	\$ 442	\$ 4.862
SO2	4,0	\$ 442	\$ 1.768
NH3	4,0	\$ 660	\$ 2.640
CL2	3,0	\$ 660	\$ 1.980
Mezcla	2,0	\$ 548	\$ 1.096
Total			\$ 12.346

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

La inversión inicial del universo actual, y sus conceptos de costos anuales en dólares asociados se presentan en la siguiente tabla 4-30.

Tabla 4-30: Costos anuales detectores utilizados por DPO y Operaciones

Detector	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Repuesto	Mantención	Reposición
GasAlert Extreme	H2S	170	\$ 421	\$ 71.570	\$ 7.157	\$ 17.000	\$ 3.579
	SO2	40	\$ 627	\$ 25.080	\$ 2.508	\$ 4.000	\$ 1.254
	Cl2	20	\$ 627	\$ 12.540	\$ 1.254	\$ 2.000	\$ 627
MRAE Lite	NH3	20	\$ 781	\$ 15.620	\$ 1.562	\$ 2.000	\$ 781
	SO2	15	\$ 3.538	\$ 53.070	\$ 5.307	\$ 1.500	\$ 2.654
	NH3	5	\$ 3.640	\$ 18.200	\$ 1.820	\$ 500	\$ 910
Total				\$ 196.080	\$ 19.608	\$ 27.000	\$ 9.804

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

Los costos anuales proyectados en dólares a cinco y diez años se presentan en la siguiente tabla 4-31, se considera una tasa de aumento de costos del 2%.

Tabla 4-31: Costos anuales proyectados de detectores utilizados por DPO y Operaciones

Año	Hardware			Mantención	Repuestos	Gases	Reposición	Anual
	GasAlertExtreme	MRAE	Mesa calibración					
0	\$ 124.810	\$ 71.270	\$ 7.308			\$ 12.346		\$ 215.734
1				\$ 27.000	\$ 19.608	\$ 12.593	\$ 9.804	\$ 69.005
2				\$ 27.540	\$ 20.000	\$ 12.845	\$ 10.000	\$ 70.385
3				\$ 28.091	\$ 20.400	\$ 13.102	\$ 10.200	\$ 71.793
4				\$ 28.653	\$ 20.808	\$ 13.364	\$ 10.404	\$ 73.229
5				\$ 29.226	\$ 21.224	\$ 13.631	\$ 10.612	\$ 74.693
6				\$ 29.810	\$ 21.649	\$ 13.904	\$ 10.824	\$ 76.187
7				\$ 30.406	\$ 22.082	\$ 14.182	\$ 11.041	\$ 77.711
8				\$ 31.015	\$ 22.523	\$ 14.465	\$ 11.262	\$ 79.265
9				\$ 31.635	\$ 22.974	\$ 14.755	\$ 11.487	\$ 80.850
10				\$ 32.267	\$ 23.433	\$ 15.050	\$ 11.717	\$ 82.467
Σ5 años	\$ 124.810	\$ 71.270	\$ 7.308	\$ 140.509	\$ 102.041	\$ 77.880	\$ 51.020	\$ 574.838
Σ10 años	\$ 124.810	\$ 71.270	\$ 7.308	\$ 295.642	\$ 214.702	\$ 150.235	\$ 107.351	\$ 971.319

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

A continuación, se presenta la comparativa de los costos de renovación del sistema actual versus los de la implementación de la propuesta a 5 y 10 años, se presenta la siguiente tabla 4-32.

Tabla 4-32: Comparación de costos renovación detector actuales versus propuesta

Proyección	Renovación	Propuesta	Factor aumento
Σ 5 años	\$ 574.838	\$ 641.619	1,12
Σ 10 años	\$ 971.319	\$ 1.093.035	1,13

Fuente: Elaboración propia basada en investigación

En términos contractuales, la implementación contempla la suscripción al servicio de monitoreo Blackline Live, garantía para sensores, detectores y complementos. Para la proyección de costos a cinco años, se contempla una cobertura de 6 (12) años para los detectores adquiridos durante el Plan Piloto y 6 (10) años para los destinados a Operaciones. En el caso de los detectores EXO, se contempla también una cobertura de 6 (12) años de servicio, tanto para los equipos del Plan Piloto como para los incorporados en esta propuesta. Además, se incluye la estimación de costos de gas patrón para un período de 5 (10) años. Entre paréntesis se indican los años de servicio de la proyección a 10 años.

Los resultados del análisis económico indican que la implementación de la propuesta tiene un factor de aumento de costos de 1,12 a los 5 años y de 1,13 a los 10 años de proyección, en comparación a renovar el sistema actual con los elementos existentes, además de agregar seis dispositivos de detección de área, que desde hace años no están disponibles en ERA, con un peso en la inversión de un 10 y 8% a 5 y 10 años, de acuerdo con ANEXO 20.

Considerando limitaciones comprendidas por el personal, la implementación del sistema "Detección Digital" representa una solución integral a las principales deficiencias detectadas en el sistema actual de monitoreo de gases, generando beneficios concretos para ENAP Refinería Aconcagua tanto en términos operacionales como de seguridad. Entre los principales beneficios se destacan:

- Ampliación de la cobertura de detección: Se mejora la protección del personal de Operaciones al integrar detectores individuales con capacidad multigas, reemplazando los modelos monogas actuales y permitiendo la medición simultánea de H₂S, CO, O₂, LEL y un gas adicional entre SO₂, NH₃ o Cl₂, mejorando significativamente la capacidad de identificación y respuesta frente a atmósferas peligrosas.
- Mayor confiabilidad operativa: Gracias a la incorporación de módulos de calibración automáticos, se permite realizar pruebas de funcionamiento cada 30 días de forma programada, y calibraciones cada 90 días y sin incrementar el consumo de gas patrón

que existe actualmente para calibrar cada 60 días, este aumento de pruebas asegura que los dispositivos se mantengan en condiciones óptimas dentro de especificación, además, el bloqueo del dispositivo si no se encuentra en calibración, asegura la confiabilidad del equipo en todo momento. Esta acción reduce la probabilidad de fallas no detectadas.

- **Aumento de disponibilidad de equipos:** La integración de un detector individual con capacidad multigas, se reemplaza así los dos modelos actualmente utilizados por un solo dispositivo más versátil, capaz de cubrir todas sus necesidades operativas, consolidando un universo de 250 detectores a uno de 65 G7c más 6 EXO. Esta acción elimina la dependencia de múltiples equipos y asegura la disponibilidad respecto al sistema actual.
- **Estandarización de protocolos de respuesta:** Se fortalece la respuesta ante eventos críticos mediante la implementación de protocolos de emergencia automáticos y jerarquizados, habilitados a través de la plataforma Blackline Live. El sistema permite emitir alertas automáticas en tiempo real, iniciando contacto primero con el usuario y luego contactos notificados según corresponda, disminuyendo los tiempos de respuesta y facilitando una reacción temprana ante condiciones peligrosas, a diferencia del sistema actual, en donde no existe comunicación si a un trabajador en terreno se le activo una alarma por exposición a gases que puede ser fatal.
- **Trazabilidad de datos:** Cada dispositivo conectado recopila información sobre activaciones, ubicación, calibraciones, uso y estado. Estos datos son visualizados en la plataforma Blackline Live, lo que permite una supervisión proactiva, generación de reportes periódicos y análisis preventivos. Considerando que actualmente no se cuenta con esta trazabilidad, el beneficio representa un cambio estructural en la gestión de riesgos y toma de decisiones basada en datos.

Considerando los beneficios operacionales y este leve incremento de costos, se traduce en un gran salto en materia de salud y seguridad de las personas.

Un aspecto adicional favorable es que, al contratar el servicio, los detectores reciben actualizaciones periódicas de firmware, que permiten corregir errores e incorporar nuevas funcionalidades, lo que facilita futuras mejoras en el sistema sin requerir nuevas inversiones en hardware.

La implementación del Sistema Detección Digital cuenta con una favorable aceptación por parte del personal líder, quienes han manifestado su disposición a adoptar modificaciones orientadas a fortalecer y modernizar el sistema actual. Este respaldo

interno representa un factor clave para facilitar el proceso de cambio y garantizar una transición exitosa hacia un modelo digital más robusto, seguro y alineado con los compromisos de la organización, con escalabilidad y adaptabilidad.

Por sobre todo, el mayor valor de esta propuesta radica en su capacidad de salvar vidas. Al permitir la gestión oportuna de una detección de gases peligrosos, la activación inmediata de protocolos de emergencia y la localización en tiempo real de los trabajadores, este sistema puede marcar la diferencia entre un evento contenido y una fatalidad.

En contextos industriales donde los tiempos de respuesta son críticos, contar con este sistema conectada no solo mejora la eficiencia, sino que puede ser determinante para preservar la vida e integridad de las personas. Esta es, sin duda, la justificación más poderosa para avanzar en su implementación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los objetivos específicos del proyecto, la aplicación de la encuesta a Operaciones permitió identificar las problemáticas del sistema actual, además de conocer el nivel de satisfacción de personal líder frente a elementos del sistema, entre los resultados más importantes fue conocer la disposición favorable hacia la incorporación de nuevas tecnologías, destacando la necesidad de dispositivos más versátiles, con conectividad y trazabilidad operativa. Esto sentó las bases para la definición de requisitos técnicos y funcionales que guiaron la investigación de tecnologías emergentes y la selección de proveedores.

En cuanto al estado del arte, la revisión exhaustiva de tecnologías emergentes en el ámbito de detección de gases permitió identificar soluciones con mayores prestaciones operativas, trazabilidad digital y herramientas que hagan más robusto el sistema. Luego la selección de proveedores, entrego como resultado a Blackline Safety como la tecnología mejor alineada a los requisitos de ERA.

Se elaboró un Plan Piloto de la tecnología de Blackline Safety que permitió obtener datos reales, desviaciones detectadas, análisis de tiempos respuestas ante eventos. Esto permitió identificar puntos críticos y oportunidades de mejora para el diseño final del sistema.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis económico que incluyó tanto la inversión inicial, incluyendo Plan Piloto, como una proyección de costos a 10 años. Esta evaluación arrojó que para implementar el sistema se requiere una inversión inicial de USD\$262.852, mientras que los costos proyectados a 10 años corresponden a USD\$1.093.035. Además, el análisis permitió identificar beneficios técnicos concretos del sistema para la organización, por el lado económico, comparándolo la renovación del sistema actual, se estima un factor de aumento de costos de 1.13 en 10 años.

En síntesis, el proyecto cumplió todos los objetivos específicos, permitiendo cumplir el objetivo general de diseñar una propuesta de transformación digital estructurada y robusta, además de técnica y económicamente viable, para evolucionar el sistema de detección de gases peligrosos hacia un sistema conectado, con mayor trazabilidad, control y capacidad de respuesta ante emergencias.

Referente a las recomendaciones, en primer lugar, se recomienda evaluar la factibilidad técnica y económica de extender la implementación del Sistema de Detección Digital al

Departamento de Mantenimiento e Ingeniería de ERA. Dependiendo de los resultados, se sugiere escalar dicha evaluación a nivel corporativo, incluyendo a ENAP Refinería Bío Bío y las filiales ENAP Magallanes y Supply Chain.

Se plantea una consideración especial para ENAP Magallanes, debido a su experiencia positiva previa con tecnología Blackline Safety. En esta filial, se registró un evento donde un trabajador quedó detenido en su vehículo por varias horas en una zona sin señal de radio. Gracias a su detector G7c, pudo activar la alarma SOS, lo que permitió a sus compañeros ubicarlo y asistirlo. Este caso refuerza la utilidad operativa de los detectores conectados en entornos de alta dispersión territorial y condiciones extremas, como lo es la ubicación geográfica de ENAP Magallanes, destacando el potencial valor de su adopción en esta filial.

Por otro lado, concordancia con los principios de transformación digital y fortalecer la cultura preventiva, se recomienda iniciar en el desarrollo de programas de capacitación apoyados en simuladores 3D. Estos simuladores estarían basados en escenarios reales de la planta ERA, obtenidos mediante escaneo láser, lo que permitiría generar entornos virtuales inmersivos y altamente representativos del contexto operativo de ERA.

Esta iniciativa facilitaría la capacitación de trabajadores en situaciones críticas, como respuesta a alarmas de gas, evacuaciones por emergencia, pero así también en tareas rutinarias en plantas, sin comprometer su seguridad en terreno, alineándose con el compromiso de adoptar las mejores prácticas de la industria en temas de salud y seguridad ocupacional.

BIBLIOGRAFÍA

De la Cruz, E. P. Avances tecnológicos en ingeniería aplicada a la salud ocupacional y su impacto en la prevención de riesgos: una revisión sistemática. <https://www.researchgate.net/profile/Ever-Padilla-De-La-Cruz/publication/389652111>

Bockschecker, Alina; Hackstein, Sarah; and Baumöl, Ulrike, "Systematization of the term digital transformation and its phenomena from a socio-technical perspective – A literature review" (2018). Research Papers. 43. [Systematization of the term digital transformation and its phenomena from a socio-technical perspective A literature review](#)

Chamorro, R. M. G., Padrón, H. D., Novas, A. J., & Andreu, M. E. G. (2024). Evaluación de la contaminación laboral por gases y aerosoles inorgánicos en áreas de la refinería de petróleo 'Nico López'. Revista Cubana de Salud y Trabajo, 5(2), 22-25. [Evaluación de la contaminación laboral por gases y aerosoles inorgánicos en áreas de la refinería de petróleo 'Nico López' | Revista Cubana de Salud y Trabajo](#)

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., y Garnero, P. (2018). Industria 4.0: Fabricando el Futuro. [Industria 4.0: Fabricando el Futuro | Publicaciones](#)

GALÁN CANO, J. M. (2019). Aplicación de las Nuevas Tecnologías a la Prevención De Riesgos Laborales. <https://hdl.handle.net/10953.1/10866>

Brocal, F., González, C., Komljenovic, D., Katina, P. F., & Sebastián, M. A. (2019). Emerging risk management in industry 4.0: An approach to improve organizational and human performance in the complex systems. complexity, 2019(1), 2089763. <https://doi.org/10.1155/2019/2089763>

Arana-Landín, G., Laskurain-Iturbe, I., Iturrate, M., & Landeta-Manzano, B. (2023). Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety. Heliyon, 9(3), e13720. [Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety: Heliyon](#)

ANEXO

ANEXO 1



POLÍTICA CORPORATIVA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

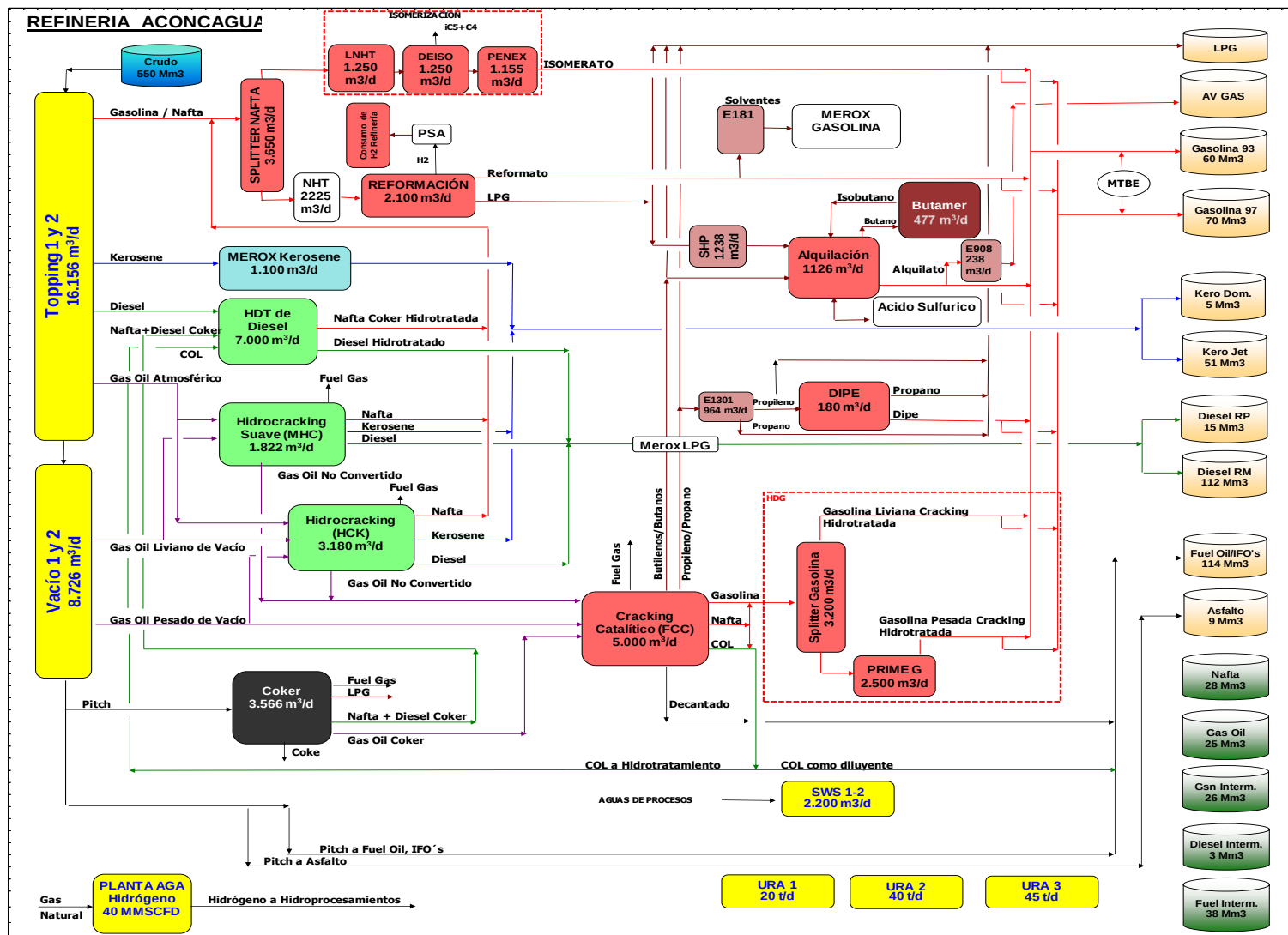
ENAP, consciente de su rol estratégico e impulsor en el desarrollo energético del país, en conocimiento además del riesgo inherente de sus operaciones, se compromete a una gestión centrada en el cuidado de las personas, protegiendo la vida, integridad física y salud de todas/os nuestras/os trabajadoras/es, ya sean propios o contratistas.

Para ello, cada una de sus Filiales y Unidades de Negocio desarrollará una gestión con foco en la prevención, promoción de la seguridad y salud en el trabajo, la gestión de riesgos de fatalidad, el liderazgo en seguridad y el mejoramiento continuo, y que nos permita:

- **Consolidar la cultura de seguridad** presente en todas las decisiones del negocio, expresada en el compromiso y cumplimiento irrestricto de nuestras herramientas preventivas.
- **Mantener un liderazgo visible en terreno**, con foco en la gestión de riesgos de fatalidad y la verificación de los controles definidos como críticos, como parte de la responsabilidad de todos los estamentos de la empresa.
- **Fomentar la capacitación y participación** de cada uno de las/os trabajadoras/es en el cumplimiento de los estándares y normas en materias de Seguridad y Salud Ocupacional.
- **Buscar continuamente la excelencia** y mejores prácticas en seguridad y salud, comprometiéndonos a cumplir la legislación vigente y los compromisos aplicables.
- **Asegurar que ninguna meta de producción justifique el exponer a trabajadoras/es o contratistas** a un riesgo no controlado que pueda comprometer su integridad física o salud.
- **Identificar los peligros, evaluar y gestionar activamente los riesgos** de las actividades que se desarrollen, exigiendo el cumplimiento eficaz de los controles establecidos y una conducta responsable en materias de Seguridad y Salud Ocupacional.
- **Mantener procesos y sistemas auditables que faciliten la gestión efectiva** en seguridad y salud ocupacional, y que promuevan las mejores prácticas como el análisis de eventos no deseados, propiciando el aprendizaje y mejoramiento continuo.

La administración de ENAP se compromete a revisar periódicamente esta política y asegurar que sea relevante y apropiada para los objetivos de la Empresa, sus Filiales y Unidades de Negocio, así como facilitar los recursos para su correcta aplicación y exigir a toda la organización su cumplimiento.

ANEXO 2



ANEXO 3

Califique su nivel de satisfacción respecto a las prestaciones (cantidad de gases medibles) y practicidad (comodidad, peso y tamaño) de los detectores actuales. *

	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Prestaciones del detector monogas	☐	☐	☐	☐
Practicidad del detector monogas	☐	☐	☐	☐
Prestaciones del detector MultiRAE	☐	☐	☐	☐
Practicidad del detector MultiRAE	☐	☐	☐	☐

¿Con qué frecuencia su equipo de trabajo entrega al Área Electrónica los detectores para su calibración? *

- ☐ Antes a los 60 días recomendados por ERA
- ☐ Cuando el detector indica que la calibración esta vencida, es decir, posterior a los 60 días recomendados de ERA

¿Cuál es tu nivel de satisfacción respecto a la disponibilidad de los detectores, durante el periodo de espera de su calibración? *

	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Disponibilidad detectores	☐	☐	☐	☐

¿Cuál es tu nivel de satisfacción respecto a la disponibilidad de los detectores MRAE (Multigas)? *

	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Disponibilidad detectores	☐	☐	☐	☐

Quando se activa la alarma de algún detector individual, ¿Usted o su equipo reportan el evento? *

- ☐ Sí
- ☐ No

Referente a la anterior pregunta, si usted reporta el evento, ¿A quién o donde lo reporta?

Escriba su respuesta

Durante el último año, ¿Se ha informado sobre la activación de alarmas falsas del detector en zonas libres de gases? Ejemplo: oficinas.

*

- ☐ Sí
- ☐ No

¿Usted cuenta con acceso y trazabilidad de datos generados por los detectores de su equipo de trabajo? *

- ☐ Si, tengo acceso a esa información
- ☐ Si, tengo acceso a esa información de manera limitada
- ☐ No tengo acceso a esa información

¿Considera usted que la medición de un solo gas (detectores monogas) representa una debilidad frente a la variedad de atmósferas peligrosas que pueden presentarse en las áreas de procesos? *

- ☐ Sí, es una debilidad
- ☐ No es una debilidad

¿Cree usted que es una desventaja que los detectores actuales no registren automáticamente las activaciones de alarmas, la ubicación geográfica, ni generen un historial de eventos? *

- ☐ Sí, es una debilidad
- ☐ No es una debilidad

¿Cuál de los siguientes enunciados representa mejor su percepción conforme al sistema de detección de gases? *

- ☐ El sistema actual es robusto y me da seguridad frente a todos los gases peligrosos presentes en ERA
- ☐ El sistema tiene limitaciones, podría mejorar

¿Cuáles de las siguientes características considera usted que potenciarían el sistema actual de detección de gases? **Puede marcar todas las que prefiera.** *

- ☐ Detector individual con medición multigas (H2S + O2 + CO + LEL + NH3/SO2/Cl2)
- ☐ Uso de detector individual (multigas) para autorizar permisos de trabajo
- ☐ Detector con alarma SOS en comunicación directa con SSO
- ☐ Detectores individuales con bomba para mediciones a distancia
- ☐ Integración con Sistema de Respuesta a Emergencias (recepción de notificaciones de alarmas)
- ☐ Registro y geolocalización de activación de alarmas
- ☐ Monitoreo continuo del estado operacional de los dispositivos
- ☐ Trazabilidad de datos generados
- ☐ Recepción de mensajes de voz tras activación de alarma
- ☐ Posibilidad de que usted pueda calibrar su detector de forma semiautónoma en lugares estratégicos dentro de ERA

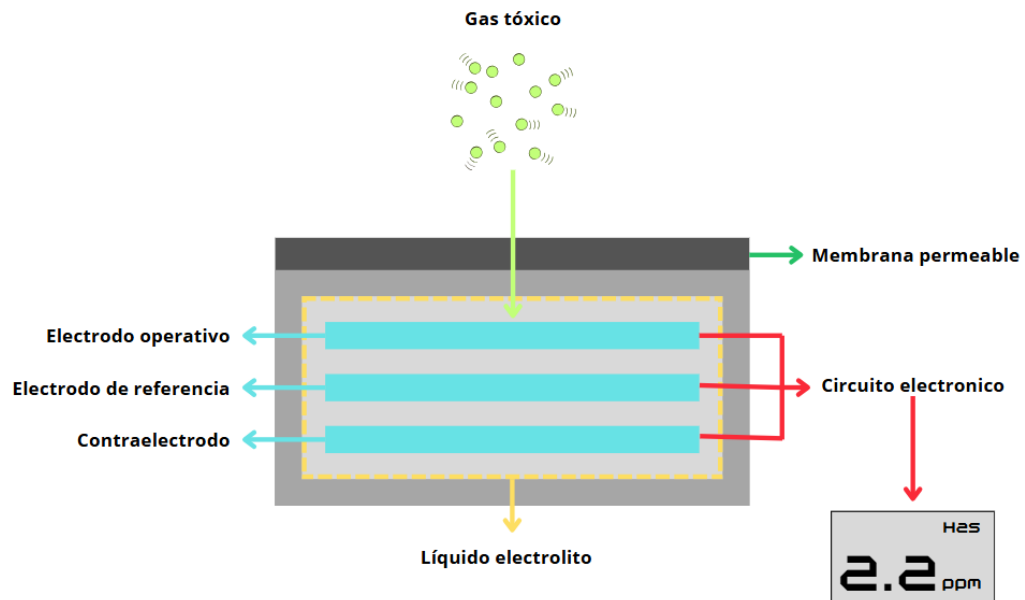
En el hipotético caso de una modificación del sistema de detección de gases peligrosos, ¿cuál es su grado de conformidad con la incorporación del **conjunto** de características mencionadas anteriormente? *

	Muy desconforme	Desconforme	Conforme	Muy conforme
Características de transformación digital	☐	☐	☐	☐

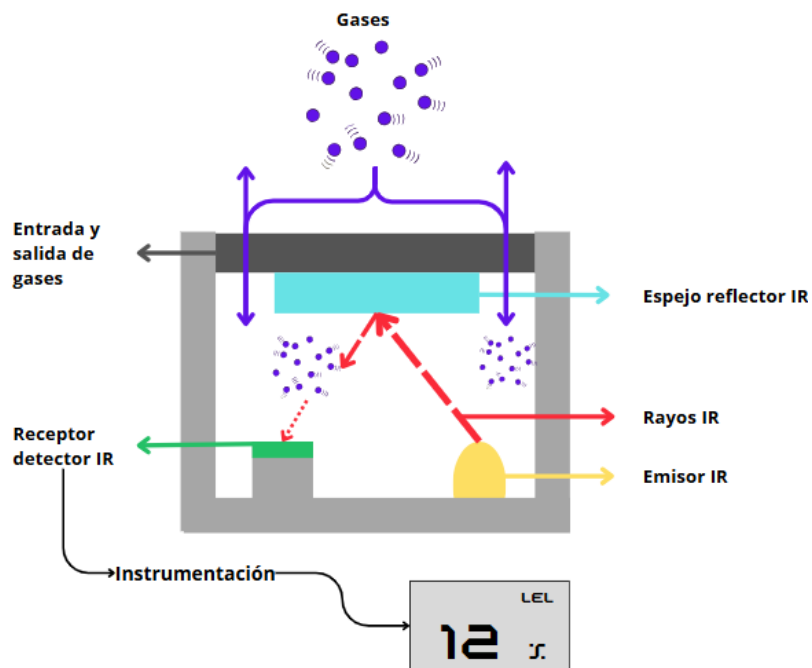
En el hipotético caso de una modificación del sistema de detección de gases peligrosos, ¿estaría de acuerdo a cargar la batería de su dispositivo al finalizar cada turno, ya sea por cable o en un módulo de carga? *

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
Cargar batería al finalizar turno	☐	☐	☐	☐

ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6

DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE PROVEDORES		
CARACTERÍSTICAS	PTS	DESCRIPCIÓN
Configuración de dispositivo	1	Configuración individual de dispositivo
	2	-
	3	Configuración de total de flota desde plataforma
Análisis de datos	1	Sin administración de datos
	2	Datos e informes exportables
	3	Análisis de datos automatizados
Panel de control en vivo	1	Sin visualización de flota de dispositivos
	2	-
	3	Monitoreo de estado operacional de dispositivos y ubicación de dispositivos
Notificación de alarmas	1	Sin notificación de alarmas
	2	-
	3	Notificación de alarmas configurables
Protocolo de emergencia	1	Sin herramientas para integrar a protocolo de emergencia
	2	-
	3	Permite creación de protocolos de emergencia
Soporte técnico	1	Sin soporte
	2	Plataforma de soporte
	3	Soporte técnico 24/7
Detector individual multigas: Autonomía	1	Menos de 12 horas
	2	-
	3	Más de 12 horas
Detector individual multigas: Bloqueo operativo	1	Con opción de bloqueo de dispositivo son calibración
	2	-
	3	Con opción de bloqueo de dispositivo son calibración
Detector individual multigas: Geolocalización	1	Sin ubicación GPS integrada para geolocalizar eventos
	2	-
	3	Con ubicación GPS para geolocalizar eventos
Detector portátil de área: Autonomía	1	Menos de 720 horas
	2	Entre 720 y 1440 horas
	3	Más de 1440 horas
Detector portátil de área: Bloqueo operativo	1	Con opción de bloqueo de dispositivo son calibración
	2	-
	3	Con opción de bloqueo de dispositivo son calibración
Detector portátil de área: Geolocalización	1	Sin ubicación GPS integrada para geolocalizar eventos
	2	-
	3	Con ubicación GPS para geolocalizar eventos

ANEXO 7

ÍTEM	PESO POND.	CRITERIO	PESO POND.	CARACTERÍSTICA	PESO POND.	BLACKLINE SAFETY		DRÄGER	
						PUNTOS	VALOR	PUNTOS	VALOR
SERVICIO	0,5	Gestión dispositivos	0,2	Configuración de dispositivos	1	3	0,30	3	0,30
		Monitoreo y análisis de datos	0,3	Análisis de datos	0,5	3	0,23	3	0,23
				Panel de control en vivo	0,5	3	0,23	3	0,23
		Seguridad de personal	0,3	Notificación de alarmas	0,5	3	0,23	3	0,23
				Protocolos de emergencia	0,5	3	0,23	1	0,08
		Soporte	0,2	Soporte técnico	1	3	0,30	2	0,20
DETECTOR	0,5	Multigas individual	0,5	Autonomía	0,5	3	0,38	2	0,25
				Ubicación GPS	0,2	3	0,15	1	0,05
				Bloqueo operativo	0,3	3	0,23	3	0,23
		Portátil de área	0,5	Autonomía	0,7	3	0,53	1	0,18
				Ubicación GPS	0,1	3	0,08	1	0,03
				Bloqueo operativo	0,2	3	0,15	3	0,15
TOTAL	1		1		1		3		2,13

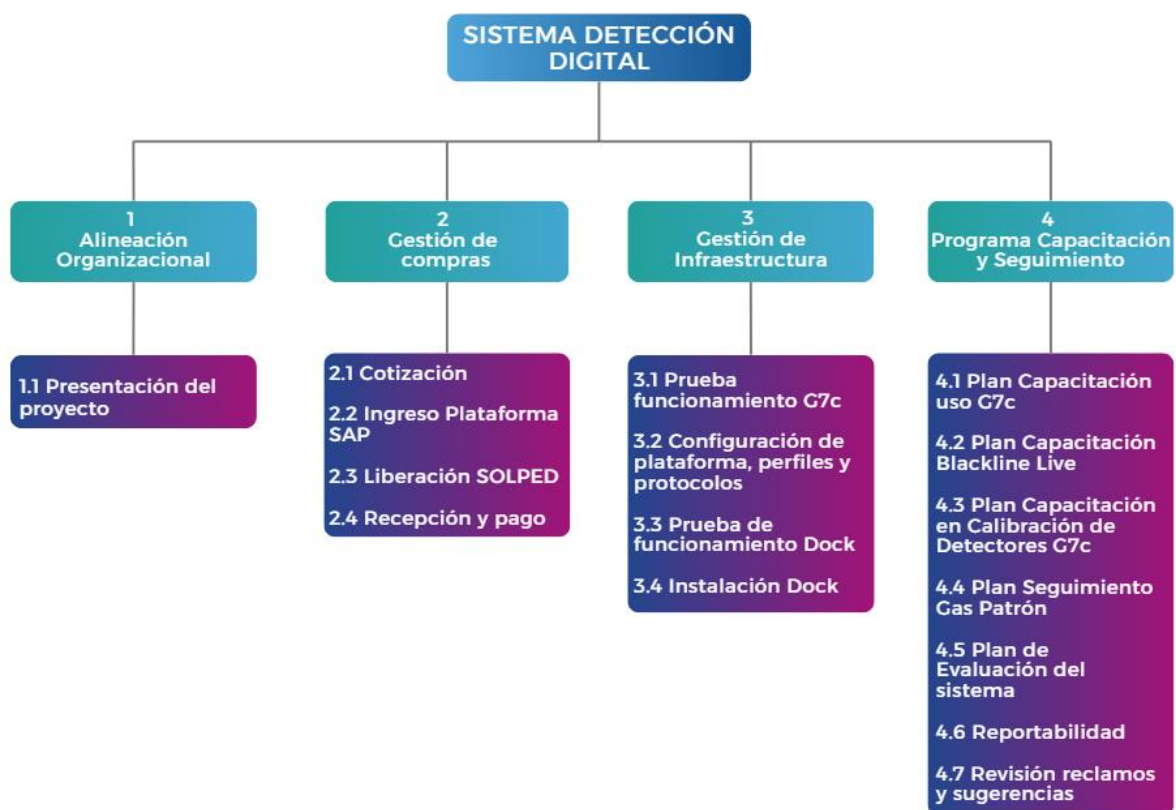
ANEXO 8

Dispositivo	Descripción	Clasificación
G7	G7 no realiza conexión satelital tras varios intentos	Conexión
G7	Tras calibración y bump test, sensor H2S/CO presenta lecturas de 100 ppm CO y -1,2 a 1,7 ppm de H2S en oficina	Sensor
EXO G7	Simulación de exposición de atmósfera tóxica, sin lectura de sensores	Sensor
G7	Alarma por “Conectividad no disponible”, conexión vuelve a los pocos minutos	Conexión
G7	No actualiza ubicación GPS, al aplicar reiniciar vuelve	Conexión
G7	No actualiza ubicación GPS, al aplicar reiniciar vuelve	Conexión
G7	Sensor H2S/CO se activa al estar expuesto a productos de limpieza	Sensor
G7	Activa alarma de caída por golpe de detector en asiento de camioneta 90%	Acelerómetro
EXO G7	No se activa detección de caída tras manipular dispositivo y transportarlo en triciclo	Acelerómetro
G7	Se activa alarma de caída tras dejar G7 en sillón de oficina 95%	Acelerómetro

ANEXO 9

Alerta ID	Dispositivo	Tipo de alarma	Tiempo total de alarma [h:min:s]	Tiempo de entrega a Plataforma [s]	Reconocimiento Blackline [s]	Notificación a Orden [s]	Tiempo resolución alarma [min]
7097711	G7 EXO	Bomba Bloqueada	00:03:22	3	29	-	2,83
7095056	G7 EXO	Detección de vuelco	00:48:04	1	23	-	47,67
7090000	G7c	Caída detectada	00:09:23	2	8	180	9,22
7090001	G7c	Alarma SOS	00:09:14	2	8	-	9,07
7084345	G7 EXO	Bomba Bloqueada	00:04:25	2	26	120	3,95
7084273	G7 EXO	Bomba Bloqueada	00:09:02	3	16	120	8,72
7084240	G7 EXO	Bomba Bloqueada	00:03:51	18	26	180	3,12
7077834	G7c	Caída detectada	00:40:53	3	14	-	40,6
7062937	G7c	Perdida Check de vida	00:04:14	1	23	240	3,85
7061267	G7c	Perdida Check de vida	00:02:52	1	9	60	2,72
7054595	G7c	Perdida Check de vida	00:05:15	1	24	60	4,85
7053536	G7c	Alarma SOS	00:07:47	1	13	120	7,55
7037258	G7c	Perdida Check de vida	00:18:42	1	16	180	18,43
7037011	G7c	Perdida Check de vida	00:16:08	1	14	180	15,9
7035093	G7c	Mensaje de alerta	00:00:41	1	30	-	0,18
7024960	G7 EXO	Detección de umbral alto	00:00:34	7	13	-	0,22
7024959	G7 EXO	Detección de umbral alto	00:08:16	4	17	180	7,92
7024850	G7 EXO	Detección de vuelco	00:02:16	18	38	-	1,33
7024846	G7 EXO	Detección de umbral alto	00:21:01	8	27	180	20,43
7022413	G7c	Perdida Check de vida	00:01:38	1	22	-	1,27
7020695	G7c	Alarma SOS	00:03:10	2	9	-	2,98
7015664	G7c	Hombre sin movimiento	00:02:39	4	62	-	1,55

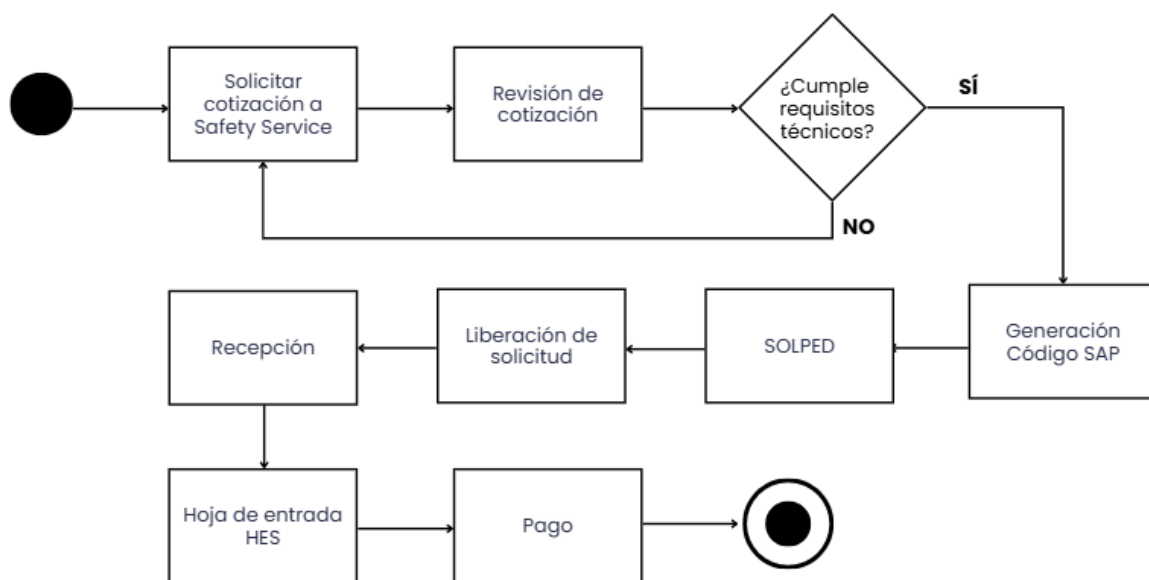
ANEXO 10



ANEXO 11

[illegible][illegible]

ANEXO 12



ANEXO 13

Objetivo	Meta	Seguimiento	Responsable	Supervisa	Plan de Acción	Recursos
Capacitar a Operaciones en uso de detectores G7c, mediante Plan de Capacitación Detectores	Lograr un 100% de Operadores por división capacitados durante 6 meses.	Semanal	Inspectores Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Ejecución Plan de Capacitación uso Detectores	Materiales: Salón Operaciones terreno, G7c, Presentación y Registro asistencia Humanos: IPO, Usuarios G7c y Safety Service
Capacitar Operadores TDC en uso de Blackline Live, mediante Plan Capacitación Blackline Live	Lograr un 100% de Operadores TDC capacitados por división en dos meses.	Semanal	Inspectores Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Ejecución Plan de Capacitación Blackline Live Asincrónico	Materiales: Presentación y evaluación online Humanos: Operadores TDC, IPO
Capacitar a personal de operaciones en Calibración de detectores G7c, mediante Plan de Capacitación de Calibración	Lograr EL 100% de personal de operaciones que utilice detectores cuenta con certificado de calibración de Blackline Safety	Semanal	Inspectores Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Ejecución Plan de Capacitación de Calibración	Materiales: Sala de operaciones terreno, Docks, G7c, gas patrón y Registro asistencia Humanos: IPO, Operadores y Safety Service
Asegurar la disponibilidad de gases patrón en los módulos	Lograr un 100% de disponibilidad gases patrón	Semanal	Inspectores Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Plan de seguimiento gas patrón	Material: Gas patrón y calendario de calibración
Evaluar sistema de detección de gases, mediante una mesa de trabajo multidisciplinaria y formulario de reclamos y sugerencias	Realizar al menos una reunión anual.	Marzo y septiembre por los primeros 2 años de implementado el sistema	Jefe División Prevención Operativa	Jefe Departamento SSO	Ejecución Reunión mesa multidisciplinaria (jefe división Prevención Operativa IPO, Operadores y líderes operaciones.)	Materiales: Sala de reuniones IPO, Presentación reportes, formato de acta y minuta Humanos: jefe División Prevención Operativa IPO, Operadores y líderes operaciones.
	Revisión de reclamos y sugerencias	Cada dos meses	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Formulario de recepción de reclamos y sugerencias	Materiales: Formulario Humanos: IPO y jefe División Prevención Operativa
Gestionar todas las fallas de detectores,	Lograr un 100% de soluciones a	Diario	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Conducto regular gestión de fallas	Materiales: G7c y EXO

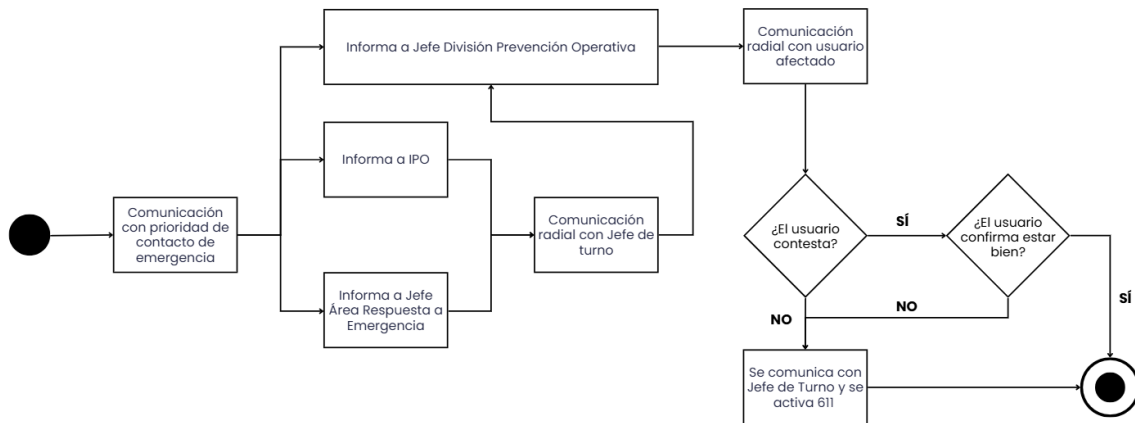
mediante conducto regular de gestión de fallas	usuarios de detectores					Humanos: IPO y jefe División Prevención Operativa
Entregar reportabilidad a cada división de Operaciones, mediante presentación de indicadores clave de desempeño	Entregar un reporte mensual a cada división	Mensual	Inspector Prevención Operativa	Jefe División Prevención Operativa	Reporte mensual	Materiales: Blackline Analytics, reporte Humanos: IPO

ANEXO 14

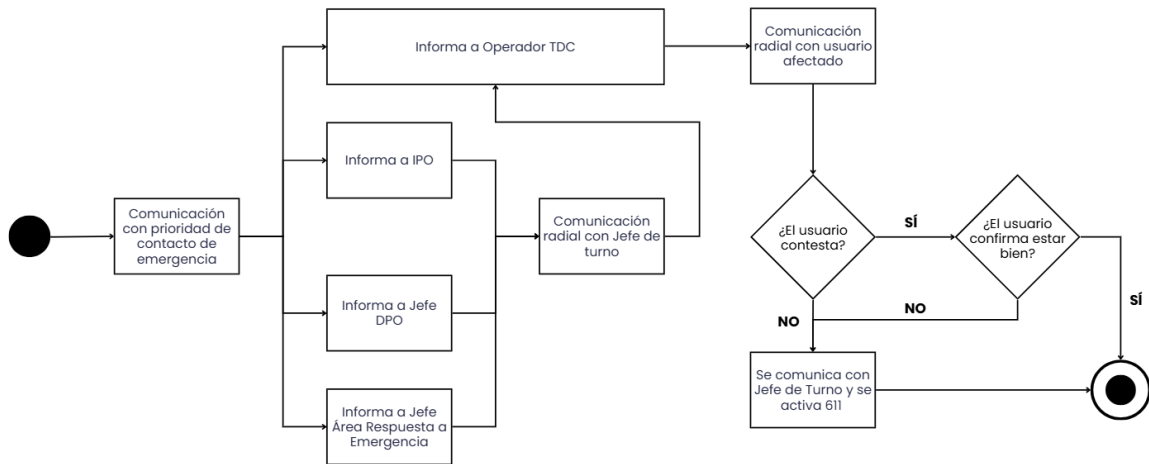
Periodo	Semana	Calibración	Cambio cilindro	Periodo	Semana	Calibración	Cambio cilindro
P1	1	Suministros	H2S, SO2, Cl2, NH3	P3	27	Suministros	–
	2	–	–		28	–	–
	3	Hidrógeno	–		29	Hidrógeno	–
	4	–	–		30	–	H2S
	5	Cracking	–		31	Cracking	SO2
	6	–	–		32	–	–
	7	Fraccionamiento	–		33	Fraccionamiento	–
	8	–	H2S		34	–	–
	9	MOP	–		35	MOP	–
	10	–	–		36	–	–
	11	Coker	SO2		37	Coker	H2S
	12	–	–		38	–	–
	13	DPO	–		39	DPO	–
P2	14	Suministros	–	P4	40	Suministros	–
	15	–	H2S		41	–	–
	16	Hidrógeno	–		42	Hidrógeno	SO2
	17	–	–		43	–	–
	18	Cracking	–		44	Cracking	–
	19	–	–		45	–	H2S
	20	Fraccionamiento	–		46	Fraccionamiento	–
	21	–	SO2		47	–	–
	22	MOP	H2S		48	MOP	–
	23	–	–		49	–	–
	24	Coker	–		50	Coker	–
	25	–	–		51	–	–
	26	DPO	Cl2, NH3		52	DPO	–
				P1	1	Suministros	H2S, SO2, Cl2, NH3

Periodo	Semana	Bump Test	Cambio cilindro	Periodo	Semana	Bump Test	Cambio cilindro
P1	1	G1	H2S, SO2, Cl2, NH3	P3	27	G2	–
	2	–	–		28		–
	3	G2	–		29	G1	–
	4		–		30		–
	5	G1	–		31	G2	–
	6	–	–		32		–
	7	G2	–		33	G1	–
	8		–		34		-
	9	G1	–		35	G2	H2S
	10	–	–		36		–
	11	G2	–		37	G1	–
	12		–		38		–
	13	G1	–		39	G2	–
P2	14	–	–	P4	40		–
	15	G2	–		41	G1	–
	16		–		42		–
	17	G1	-		43	G2	–
	18	–	H2S		44		–
	19	G2	–		45	G1	–
	20		–		46		–
	21	G1	–		47	G2	–
	22	–	–		48		–
	23	G2	–		49	G1	–
	24		–		50		–
	25	G1	–		51	G2	–
	26	–	SO2		52		–
				P1	1	G1	H2S, SO2, Cl2, NH3

ANEXO 15



ANEXO 16



ANEXO 17

Probabilidad		
Nivel	Ponderación	Descripción
Baja	1	Poco probable de ocurrir. No hay antecedentes.
Media	2	Puede ocurrir bajo ciertas condiciones.
Alta	3	Ocurre con frecuencia o existe evidencia reciente.

Consecuencia		
Nivel	Ponderación	Descripción
Baja	1	Consecuencia menor. No afecta plazos ni objetivos.
Media	2	Consecuencia relevante. Puede requerir ajustes moderados.
Alta	3	Consecuencia significativa. Compromete éxito del proyecto.

Nivel de riesgo		Consecuencia		
		Baja 1	Media 2	Alta 3
Probabilidad	Baja 1	1	2	3
	Media 2	2	4	6
	Alta 3	3	6	9

ANEXO 18

ID	Riesgo Identificado	Categoría	Causa	Consecuencia	P	C	R	Medidas de Mitigación
R01	Resistencia al cambio del personal de Operaciones	Organizacional	Falta de capacitación Temor a la vigilancia Rechazo a nuevas tecnologías	Baja adopción del sistema Uso incorrecto o nulo de los nuevos dispositivos	2	3	6	Presentación de Proyecto Planes de Capacitación
R02	Rechazo por parte de líderes de operaciones	Organizacional	Percepción de control excesivo	Posible bloqueo o retraso en la implementación del sistema	2	3	6	Presentación de Proyecto
R03	Falla de sensores	Tecnológico	Contaminación Fallos de componentes Calibración inadecuada Desgaste vida útil.	Interferencias, lecturas erróneas Pérdida de sensibilidad Falsas alarmas	2	3	6	Gestión de fallos
R04	Saturación módulos de calibración	Logístico	Mal uso del calendario de calibración	Atraso en cumplimiento de calibraciones y bloqueos de uso	2	2	4	Calendarización por división Capacitación Calibración G7c
R05	Uso inapropiado de Alarma SOS	Operacional	Desconocimiento del protocolo	Activación innecesaria de protocolo de emergencia y llamado a contactos	2	2	4	Capacitación uso de detectores G7c Filtro de alarmas (Llamado al detector)
R06	Demora en gestión de fallas	Logístico	Dependencia a terceros	Prolongada indisponibilidad del equipo para el usuario	2	2	4	Detectores de remplazo a disponibilidad

ANEXO 19

CALIBRACIÓN PROPUESTA BLACKLINE							Perido			
							90			
							4			
Detector	Cantidad	Gas patrón	vol [l]	Q [l/min]	T [min]	[l/Cal]	[Cal/año]	[Cal/Cilindro]	0,8	Cilindros necesarios
G7c H2S	65	Mezcla	58	0,5	2	1	260	46		7
G7c SO2	50	SO2	58	0,5	2	1	200	46		5
G7c NH3	8	NH3	58	1	2	2	32	23		2
G7c CL2	7	CL2	58	1	2	2	28	23		2
EXO SO2	5	Mezcla	58	0,5	2	1	20	-		-
		SO2	58	0,5	2	1	20	-		-
EXO NH3	1	Mezcla	58	0,5	2	1	4	-		-
		NH3	58	1	2	2	4	-		-

BUMP TEST PROPUESTA BLACKLINE							Perido			
							30			
							12			
Detector	Cantidad	Gas patrón	vol [l]	Q [l/min]	T [min]	[l/BT]	[BT/año]	[Cal/Cilindro]	0,8	Cilindros necesarios
G7c H2S	65	Mezcla	58	0,5	0,25	0,125	780	371		3
G7c SO2	50	SO2	58	0,5	0,25	0,125	600	371		2
G7c NH3	8	NH3	58	1	0,25	0,25	96	186		1
G7c CL2	7	CL2	58	1	0,25	0,25	84	186		1
EXO SO2	5	Mezcla	58	0,5	0,25	0,125	60	-		-
		SO2	58	0,5	0,25	0,125	60	-		-
EXO NH3	1	Mezcla	58	0,5	0,25	0,125	12	-		-
		NH3	58	1	0,25	0,25	12	-		-

TOTAL PROPUESTA	Gas	Cilindros	Costo	Total
	MEZCLA	10,0	\$ 548	\$ 5.480
	SO2	7,0	\$ 442	\$ 3.094
	NH3	3,0	\$ 660	\$ 1.980
	CL2	3,0	\$ 660	\$ 1.980
				\$ 12.534

ANEXO 20

Proyección	Actual	Propuesta	Factor aumento
$\sum$ 5 años	\$ 574.838	\$ 641.619	1,12
$\sum$ 10 años	\$ 971.319	\$ 1.093.035	1,13

Proyección	Actual	Propuesta sin EXO	Factor aumento	Peso
$\sum$ 5 años	\$ 574.838	\$ 588.041	1,02	10%
$\sum$ 10 años	\$ 971.319	\$ 1.020.404	1,05	8%