

Vicerrectorado de Innovación, Investigación y
Posgrado

Trabajo Final de Maestría en Administración de
Empresas-MBA



Optimización de Estrategias de Gestión del Déficit y Superávit
Operativo para la Reducción de Costos en la Terminal de
Almacenamiento y Despacho de Combustibles Líquidos de YPF
en el Año 2022

Tipología: Plan de Intervención

Maestrando: Patricio Alfredo Carrizo

Director: Dra. María Cecilia Ávila

Codirector: Mgter. Fabrizio Esteban González Novaresio

Año 2024.

Agradecimientos

Familia: A mi madre, Susana Godoy Novaresio, por su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanas: María Jimena Carrizo, Sabrina Carrizo y Dana Carrizo, por ser mis pilares en la vida.

A mis sobrina/os: Abril, Maia, Victorio, Stefano, Lisandro, Lorenzo , Gema y Benicio.

Ámbito académico: A la Doctora María Cecilia Ávila y al Magíster Fabrizio E. González Novaresio, por su dedicación y profesionalismo durante la elaboración del presente trabajo.

Ámbito laboral: A la empresa en que trabajo, YPF S.A.

Índice

Conceptos Polisémicos _____	9
Resumen _____	12
Abstract _____	13
Introducción _____	14
1. Identificación del Problema _____	16
2. Objetivos _____	18
2.1 Objetivo General _____	18
2.2 Objetivos Específicos _____	18
3. Justificación _____	19
3.1 Ámbito de Aplicación _____	20
3.2 Resumen de las Características del Complejo _____	21
3.3 Características Técnicas Principales _____	21
3.4 Productos Base Almacenados _____	22
3.5 Productos Comerciales Elaborados _____	22
3.6 Organización Operativa _____	22
3.7 Software Aplicado a las Operaciones: _____	22
4. Marco Teórico _____	24
4.1 Teoría del Triple Impacto _____	26
4.2 Modelos de Gestión Aplicados al Diseño del Plan _____	26
4.3 Vinculación de los Modelos de Gestión del Cambio con las Etapas de la Intervención _____	27
4.4 Enfoque Metodológico _____	28
4.5 Fuente de datos _____	29
4.6 Fuentes Primarias _____	29
4.7 Relevamiento de Campo _____	29
4.8 Fuentes Secundarias _____	29
4.9 Pareto o Ley 80/20 _____	30
4.10 Metodología SMART _____	30
4.11 Norma API 650 _____	30
4.12 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) _____	30

4.13	La Guía del Ingeniero para Medición de Tanques_____	31
4.14	La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos _____	32
4.15	OPEX (Operating Expenditure)_____	32
4.16	CAPEX (Capital Expenditure) _____	32
4.17	ROI (Return on Investment) _____	33
4.18	Período de Retorno (Payback Period)_____	33
4.19	Valor Actual Neto (VAN) _____	33
4.20	Tasa Interna de Retorno (TIR)_____	33
4.21	Índice Beneficio-Costo (B/C) _____	34
4.22	Margen de Contribución _____	34
4.23	EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization) _____	34
4.24	Método Teórico para los KPIs Financieros y Técnicos_____	35
4.25	Herramientas de Análisis _____	40
4.26	Microsoft Excel y Power BI _____	40
4.27	Sistema TAS _____	40
4.28	Sistema Enraf _____	40
4.29	Sistema SCADA _____	40
4.30	Sistema PI Vision _____	41
4.31	Limitaciones del Relevamiento_____	41
4.31.1	Impacto Cambiario y Restricciones Económicas _____	41
4.31.2	Precisión en los Sistemas de Medición _____	42
4.31.3	Estimaciones de Pérdidas por Evaporación _____	42
4.31.4	Cumplimiento Normativo y Emisiones de COVs _____	42
5.	Etapas del Proyecto _____	43
5.1	Resultados de la Metodología SMART _____	44
6.	Cronograma y Responsables _____	47
7.	Presupuesto _____	48
7.1	Ajuste de Costo Por Variación Económica _____	48
8.	Implementación de la Intervención _____	50
8.1	Análisis de Pareto de Variaciones de Volumen _____	50

8.2	Datos de Operación de la Nafta Infinia en TVM	51
8.3	Detalle Técnico de los Controles PUM	52
8.4	Detalle Técnico de los Controles Operativos (Déficit y Superávit)	53
8.5	Operaciones de la Nafta Infinia y Costo Asociado	55
8.6	Déficit Operativo y Costo Asociado	56
8.7	Diferencias PUM y Costo Asociado	56
8.8	Cálculo por Evaporación y Costo Asociado	57
8.9	Emisiones COVs y Costo Asociado	58
8.10	Verificación Cruzada de Sistemas de Medición	59
8.11	Diagnóstico Técnico Aplicado al Tanque 106 con TF	60
8.12	Justificación de la Intervención del Tanque 106	63
8.13	Análisis Comparativo de Soluciones	64
8.14	Desarrollo de la Solución Técnica	65
9.	Evaluación de Resultados de la Implementación	67
9.1	Benchmarking	67
9.2	Reducción de Pérdidas por Evaporación	68
9.3	Reducción de Déficit Operativo	68
9.4	Reducción de las Diferencias PUM	69
9.5	Reducción de Emisiones COVs	70
9.6	Resumen de Ingresos de Caja en TVM	71
9.7	Validación por Expertos	71
10.	Sostenibilidad	73
11.	Conclusiones	74
11.1	Evaluación Comparativa de la Intervención del Tanque 106	74
11.2	Evaluación Financiera de la Inversión	77
11.3	Síntesis del Impacto Técnico, Operativo y Financiero de la Intervención	80
11.4	Recomendaciones	80
11.5	Incorporación de Tecnologías Complementarias	83
12.	Referencias	85
13.	Apartados de Anexos	98

Anexo A	98
Detalles de la Evaluación Financiera de la Inversión	98
1) Valor del OPEX:	98
2) Valor del CAPEX:	98
3) Desarrollo del ROI	98
4) Desarrollo del Período de Retorno (Payback Period)	98
5) Desarrollo del Valor Actual Neto (VAN)	99
6) Desarrollo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	100
7) Desarrollo del Índice Beneficio-Costo (B/C)	100
8) Desarrollo de Margen de Contribución	100
9) Desarrollo del EBITDA	101
Anexo B	102
Estadísticas Climáticas de Villa Mercedes (San Luis, Argentina)	102
Anexo C	103
Cálculos Comparativos del Triple Impacto	103
Anexo D	105
Funcionamiento de un TK con DG y MI	105
Anexo E	106
Gráfico de Ahorros en Litros por la Implementación	106
Gráfico de Reducción de emisiones COVs por la Implementación	106
Gráfico de Mejoras en el Impacto Social	107
Gráfico de Resumen de Mejoras en Valor %	107

Índice de Tablas

Tabla 1 Detalle teórico de KPIs financieros y técnicos _____	36
Tabla 2 Detalle de tabla SMART _____	45
Tabla 3 Detalle por operación de nafta infinia en el año 2022 _____	55
Tabla 4 Evaluación técnica del TK 106 _____	61
Tabla 5 TK 27 de con DG y MI _____	67
Tabla 6 Resumen de ingresos por nafta infinia año 2022 _____	71
Tabla 7 Métricas antes y después de la implementación _____	75
Tabla 8 Detalle de los KPIs aplicados _____	78
Tabla 9 Indicadores de seguimiento de gestión del TK 106 con DG y MI _____	82
Tabla 10 Detalle de propuestas _____	84

Índice de Figuras

Figura 1 Modelo de funcionamiento de un TF ídem al TK 106 de TVM _____	17
Figura 2 Ubicación geográfica de la Terminal Villa Mercedes, Argentina _____	20
Figura 3 Imagen aérea del complejo _____	23
Figura 4 Croquis del proceso típico del complejo _____	23
Figura 5 Detalle del cronograma _____	47
Figura 6 Detalle del presupuesto _____	48
Figura 7 Variación de costo _____	49
Figura 8 Evolución de la inflación _____	49
Figura 9 80/20 o Ley de Pareto a variaciones de productos _____	50
Figura 10 Gráfico del diagrama de Pareto _____	51
Figura 11 Precio de los combustibles _____	52
Figura 12 Resultado del déficit operativo por cada producto _____	54
Figura 13 Resultado del déficit PUM por cada producto _____	54
Figura 14 Detalle de ganancia por operación _____	55
Figura 15 Detalle del déficit operativo por TKs de TF de nafta infinia _____	56
Figura 16 Detalle del resultado PUM por TKs de TF de nafta infinia _____	57
Figura 17 Detalle de evaporación por TKs de TF de nafta infinia _____	58
Figura 18 Detalle de emisiones COVs por TKs de TF de nafta infinia _____	59
Figura 19 Detalle de controles del sistemas de medición _____	60
Figura 20 Imagen del TF del TK 106 de TVM _____	63
Figura 21 Imagen del techo flotante con acumulación de agua _____	64
Figura 22 Imagen externa del TK 106 de TVM (antes) _____	66
Figura 23 Imagen externa proyectada del TK 106 de TVM (después) _____	66
Figura 24 Imagen de TK 27 con DG y MI _____	67
Figura 25 Detalle de reducción por evaporación del TK 106 _____	68
Figura 26 Detalle de reducción del déficit operativo del TK 106 _____	69
Figura 27 Detalle de reducción de diferencias PUM del TK 106 _____	70
Figura 28 Detalle de reducción de emisiones COVs del TK 106 _____	70
Figura 29 Imagen del sistema J5 (MOC) _____	72

Conceptos Polisémicos

Se definieron de manera específica algunos términos para evitar ambigüedades y brindar interpretaciones claras en el contexto.

- ARS: Peso Argentino (moneda oficial en el país).
- Batch: Volumen de producto líquido que se transporta por el poliducto , cuyo origen es la refinería Luján de Cuyo (Mendoza), y su destino los tanques de la terminal Villa Mercedes.
 - CAPEX (Capital Expenditure): Son los gastos destinados a la compra o mejora de activos a largo plazo.
 - Cargadero TOP: Instalación utilizada para carga de hidrocarburos a granel, mediante un brazo de carga, que se inserta de manera superior en las cisternas de los camiones tanque.
 - Costos financieros derivados del déficit y superávit: Son los gastos adicionales o pérdidas económicas que surgen cuando el volumen real de producto almacenado o despachado difiere del volumen estimado o planificado. Estos costos pueden incluir la pérdida de inventario por evaporación, costos de reposición, y el impacto en la rentabilidad debido a la falta o exceso de producto.
 - COVs: Compuestos orgánicos volátiles.
 - Déficit operativo: Indica que el resultado del volumen de combustible líquido es menor al volumen inicial medido y registrado del recipiente durante las operaciones de despacho desde cargadero TOP o reposo del producto.
 - DG: Tanque con domo geodésico.
 - EBVM: Estación de bombeo Villa Mercedes.
 - J5: Es un sistema que permite registrar, supervisar y gestionar procesos operativos, garantizando trazabilidad, control y eficiencia en tiempo real.
 - KPI (Key Performance Indicator): Se refiere a una métrica para medir el rendimiento en el Plan de Intervención.
 - L: Litros.

- MI: Tanque con Membrana interna.
- MOC (Management of Change): Es un proceso estructurado para implementar modificaciones en forma controlada, minimizando riesgos y asegurando eficiencia operativa.
 - OPEX (Operating Expenditure): Gastos Operativos en el funcionamiento diario de las operaciones.
 - Ozono Troposférico: Es el ozono de la troposfera que se forma por reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles bajo luz solar. Aunque protege en la estratosfera, en la troposfera es un contaminante que afecta la salud y el medio ambiente.
 - PIN: Proyecto de Innovación o de Intervención.
 - Poliducto: Tubería utilizada para el transporte de diferentes tipos de combustibles líquidos de manera secuencial.
 - ppm (Partes por millón): Unidad física de concentración, cantidad de una sustancia en peso por cada un millón de otra en volumen.
 - PUM (Punto Único de Medición): Es la medición estándar calibrada de un volumen determinado de combustible líquido que ingreso/egreso por medio del poliducto a un tanque.
 - Recepción, Bombeo y Despacho: Todas estas actividades se realizan en el contexto de la logística de combustibles líquidos en tanques, a través del transporte por un poliducto de 16 pulgadas, gestionando el mismo mediante un programa de batch secuenciales, finalmente el despacho a través de camiones cisterna hacia los clientes externos (estaciones de servicios, clientes mayoristas, etc.).
 - Refinería L.C: Refinería de YPF ubicada en Luján de Cuyo en la provincia de Mendoza (Argentina).
 - Superávit operativo: Indica que el resultado del volumen de combustible líquido es mayor al volumen inicial medido y registrado del recipiente durante las operaciones de despacho desde cargadero TOP o el reposo del producto.
 - TF: Tanque de techo flotante.

- TFM: Trabajo final de Maestría.
 - TK: Tanque de almacenamiento de combustibles líquidos.
 - Tn: Datos en toneladas.
 - TVM: Terminal de despacho de combustibles líquidos Villa Mercedes.
- USD (Oficial): En Argentina es el tipo de cambio del dólar establecido por el gobierno y el Banco Central para las transacciones Oficiales.
 - Variabilidad operativa: Se refiere a las fluctuaciones o cambios imprevistos que ocurren en los procesos operativos de una instalación, como el despacho, almacenamiento y recepción de productos. Estas variaciones pueden deberse a factores externos como cambios en la demanda, condiciones climáticas, o problemas técnicos, y afectan la eficiencia operativa y los costos.
 - Variación de Volumen: Diferencia de volumen final e inicial.
 - WACC (Weighted average cost of capital): Costo promedio ponderado del capital que una empresa utiliza para financiar sus operaciones, combinado con deuda y capital propio.

Resumen

El propósito de este Trabajo Final de Maestría (TFM) es medir la efectividad de una intervención estructural aplicada en un tanque para combustibles líquidos de 10.000 m³ de capacidad, ubicado en una terminal de almacenamiento y despacho. La intervención consiste en el reemplazo del techo flotante por un domo geodésico de aluminio y una membrana interna flotante. El análisis contempla la comparación de variables clave antes y después de la intervención. Estas variables se examinan bajo criterios de triple impacto: económico, social y ambiental, con el objetivo de respaldar la viabilidad técnica de la solución implementada y definir parámetros para su seguimiento posterior.

Palabras clave: intervención estructural, eficiencia operativa, almacenamiento de hidrocarburos, triple impacto.

Abstract

The purpose of this Master's Final Project (TFM) is to evaluate the effectiveness of a structural intervention applied to a 10,000 m³ capacity tank for liquid fuels, located at a storage and dispatch terminal. The intervention consists of replacing the floating roof with an aluminum geodesic dome and an internal floating membrane. The analysis includes the comparison of key variables before and after the intervention. These variables are examined under triple impact criteria: economic, social, and environmental, with the aim of supporting the technical feasibility of the implemented solution and defining parameters for its subsequent monitoring.

Keywords: structural intervention, operational efficiency, hydrocarbon storage, triple impact.

Introducción

En el ámbito de la gestión de terminales de almacenamiento y despacho de combustibles líquidos, la optimización del déficit y superávit operativo es una necesidad estratégica crucial a nivel global.

Según la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency [IEA], 2024), la industria petrolera enfrenta desafíos económicos y operativos persistentes, que incluyen la necesidad de mejorar la eficiencia en sus procesos para hacer frente a la volatilidad del mercado y las fluctuaciones en la demanda de energía. A nivel internacional, la adopción de tecnologías avanzadas y estrategias de optimización operativa han permitido a las principales empresas petroleras generar ahorros significativos. Un ejemplo de esto es que algunas compañías han logrado reducir costos hasta un 30 % y obtener ahorros estimados de entre 200 y 300 millones de dólares mediante la digitalización de sus operaciones y la mejora en la gestión de activos en un período de 18 meses (McKinsey & Company, 2023a; Accenture, 2023).

En el contexto de la República Argentina, las empresas petroleras buscan estrategias que no solo superen dificultades generales, sino que se centren en aspectos específicos, adaptándose a las particularidades del entorno argentino, donde la inflación y la variabilidad cambiaria son permanentes, complicando la gestión del modelo de negocios.

En el escenario de la provincia de San Luis (Argentina), sobresale la presencia exclusiva de una única planta industrial situada en la Ciudad de Villa Mercedes, perteneciente a la empresa YPF S.A. (YPF S.A., 2023). Las operaciones de la instalación se ven significativamente influenciada por las condiciones climáticas particulares de la región, caracterizadas por precipitaciones estivales abundantes y amplias variaciones térmicas.

El plan de intervención se enfoca en la terminal de almacenamiento y despacho de combustibles líquidos Villa Mercedes. En este contexto, se identifica al tanque 106, destinado al almacenamiento de 10.000 m³ de combustible líquido, el cual presenta fallas técnicas en su techo flotante que generan pérdidas por evaporación, errores de medición y emisiones

contaminantes al medio ambiente, excediendo los parámetros operativos establecidos.

A partir de esta problemática, se propone medir la situación actual del recipiente, considerando tanto los aspectos técnicos como las implicancias operativas y las consecuencias económicas.

La intervención estructural ya prevista en el tanque permitirá realizar nuevas observaciones posteriores, a fin de evaluar la efectividad de la implementación y determinar si las desviaciones detectadas en el proceso de la instalación fueron corregidas.

1. Identificación del Problema

La Terminal Villa Mercedes (San Luis, Argentina) constituye un nodo estratégico dentro del sistema de almacenamiento y distribución de combustibles líquidos de la compañía YPF en la región central del país. Entre sus instalaciones, el tanque 106 (TK 106) desempeña un rol operativo esencial. Actualmente, se identificó que este tanque (TK) presenta deformaciones estructurales en su techo flotante (TF), lo cual afecta el desempeño técnico del sistema de medición, genera pérdidas de producto por evaporación y contribuye a emisiones contaminantes.

Las condiciones climáticas de la región, caracterizadas por lluvias intensas y amplitudes térmicas significativas, agravan esta situación, favoreciendo el deterioro progresivo de la estructura. Estos factores han sido identificados como determinantes en la disminución del rendimiento operativo del TK y en la necesidad de implementar una intervención correctiva.

La Figura 1 representa un modelo esquemático del funcionamiento de un TK de almacenamiento con TF.

- Fallas en el techo flotante:

Las deformaciones del TF provocan acumulación de agua de lluvia sobre su superficie y un desgaste progresivo en los sellos perimetrales, tanto primarios como secundarios. Esta pérdida de estanqueidad reduce su capacidad para contener vapores y debilita su función como barrera ambiental. Como consecuencia, se facilita la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COVs), lo que compromete la seguridad operativa y la integridad ambiental de la instalación (Inspenet, 2024a).

- Errores de medición:

La alteración de la geometría del techo afecta directamente la precisión de las lecturas de nivel. Esto genera imprecisiones en el inventario volumétrico y compromete la confiabilidad del monitoreo operacional, provocando discrepancias entre las mediciones físicas y los registros contables (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2020).

- Pérdidas por evaporación:

El aumento del espacio de vapor ocasionado por las deformaciones estructurales favorece la evaporación del combustible. Durante los ciclos de llenado, vaciado y reposo, el ingreso de aire y las variaciones térmicas reducen la saturación de vapor, acelerando la conversión del producto a fase gaseosa y elevando la presión interna del TK (Predictiva21, 2022).

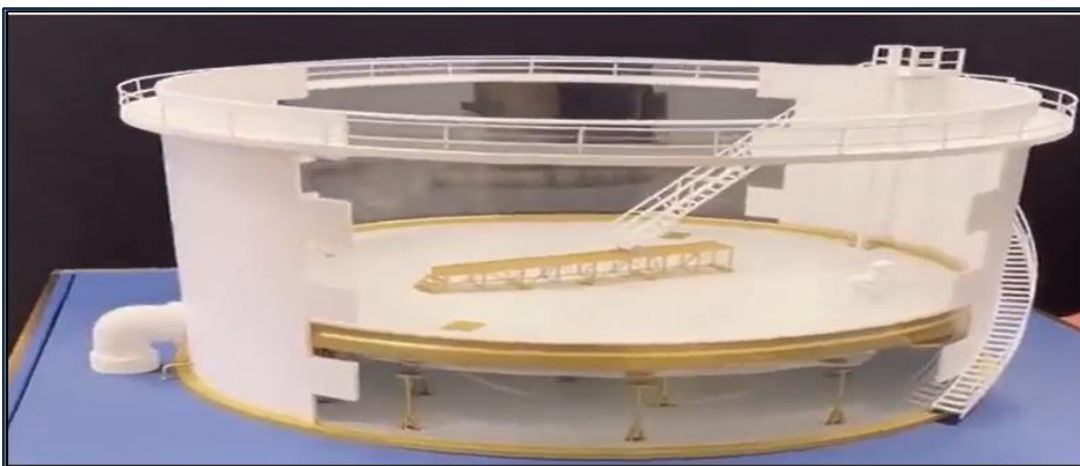
- Emisiones contaminantes:

Las emisiones generadas por las fallas estructurales y de sellado se traducen en la liberación directa de COVs hacia la atmósfera. Estos compuestos afectan la calidad del aire circundante y exponen a la instalación al incumplimiento de normas ambientales, además de representar un riesgo operativo significativo (Academia.edu, 2021).

El conjunto de estos factores indica que el TK 106 opera por fuera de los parámetros normales establecidos para sistemas de almacenamiento atmosférico. Las variaciones de presión y flujo, sumadas a las pérdidas operativas y las emisiones no controladas, refuerzan la necesidad de implementar un plan de intervención que contemple soluciones estructurales y operativas concretas.

Figura 1

Modelo de funcionamiento de un TF ídem al TK 106 de TVM



NOTA. RAMIREZ, E.(2024). *TANQUE DE TECHO FLOTANTE* [VIDEO]. LINKEDIN. [The professor Ely Ramirez en LinkedIn: Tanque de techo flotante](#)

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar la efectividad de una intervención estructural en un tanque de almacenamiento de combustibles líquidos, utilizando datos operativos del año 2022, con el fin de optimizar la gestión del déficit y superávit operativo y contribuir a la reducción de costos en una terminal de despacho de combustibles.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar el producto líquido que presenta mayor volumen de variaciones operativas, para analizar su influencia en las fluctuaciones y su impacto en la gestión del déficit y superávit operativo.
- b) Determinar el costo promedio de las operaciones de recepción, bombeo y despacho a partir de registros históricos del año 2022, para identificar áreas de oportunidad en la eficiencia operativa.
- c) Analizar el impacto financiero de las variaciones operativas de los combustibles líquidos, utilizando los datos históricos disponibles.
- d) Identificar las condiciones estructurales y operativas que contribuyeron a las pérdidas de producto, evaporaciones y emisiones de COVs en el tanque.
- e) Comparar la eficiencia operativa proyectada antes y después de la intervención estructural, mediante la medición de déficit operativo, superávit, evaporaciones y emisiones de COVs.
- f) Seleccionar criterios basados en la eficiencia para replicar la intervención técnica en otras instalaciones de almacenamiento de combustibles líquidos, priorizando aquellas con mayores volúmenes gestionados y criticidad de producto.

3. Justificación

El plan de intervención (PIN) se justificó en función de los resultados obtenidos en el análisis técnico-operativo del TK 106 de la Terminal Villa Mercedes de YPF, a partir de los registros correspondientes al año 2022. La evaluación realizada sobre el comportamiento del TK durante ese período evidenció variaciones significativas en el volumen gestionado, asociadas a condiciones estructurales del TF y a variables climáticas que afectan la precisión de las mediciones durante las operaciones de llenado, vaciado y reposo. Estas variaciones generaron pérdidas operativas con impacto económico, ambiental y en la seguridad de las instalaciones. Asimismo, se identificó que el producto líquido con mayor volumen de fluctuaciones operativas constituye un factor crítico en la gestión del déficit y superávit operativo, lo cual refuerza la necesidad de realizar un análisis específico sobre su comportamiento.

En respuesta a este diagnóstico, se planteó la necesidad de evaluar la efectividad de una intervención estructural proyectada, que contempla el reemplazo del TF por un sistema compuesto por un domo geodésico (DG) y membrana interna (MI). Esta evaluación se basó en el análisis de datos operativos disponibles y en modelos técnicos comúnmente utilizados en la industria energética para estimar pérdidas evitables, mejoras operativas y ahorros potenciales.

El objetivo es realizar una evaluación técnica, operativa y económica de dicha solución, incluyendo estimaciones sobre la reducción de variaciones, la eficiencia en el almacenamiento y la mitigación de desvíos operativos, dentro de los parámetros definidos por estándares sectoriales.

La justificación se estructuró sobre un enfoque de triple impacto. En lo económico, se proyectó una optimización de recursos que contribuye a reducir pérdidas; en lo ambiental, se contempló una mejora en la gestión del producto almacenado frente a condiciones externas; y en lo social, se destacó la contribución a la seguridad del personal y de la infraestructura crítica de la terminal.

Asimismo, el análisis permitió establecer criterios para una replicabilidad internacional de esta intervención en otras instalaciones del sector energético que presenten condiciones operativas similares, priorizando aquellas con mayor volumen gestionado o producto crucial para la empresa.

En este marco, el PIN constituyó una herramienta técnica y estratégica para apoyar la toma de decisiones corporativas, alineada con las políticas de mejora continua, eficiencia operativa y sustentabilidad. Su valor radicó en ofrecer una evaluación fundada en datos reales, conforme a estándares aplicables, y con orientación a la optimización de la gestión logística de almacenamiento.

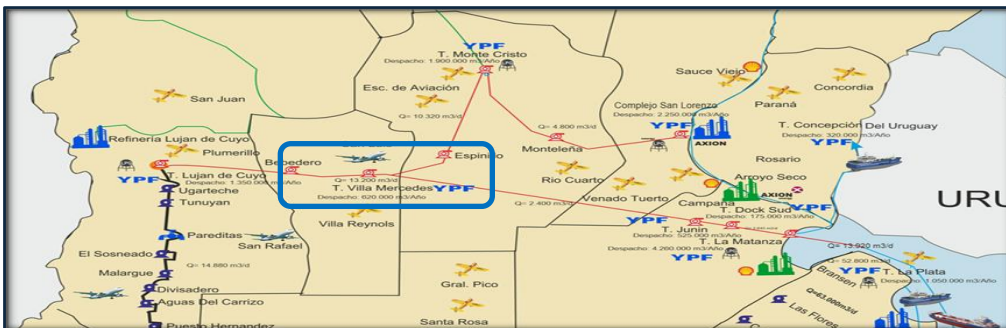
3.1 **Ámbito de Aplicación**

La intervención se aplicó en la Terminal de almacenamiento y despacho de combustibles líquidos Villa Mercedes (TVM), ubicada en la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis. La Figura 2 muestra la ubicación geográfica de la TVM dentro del sistema logístico del país. Las coordenadas pueden consultarse en el sitio Geodestinos San Luis (Geodestinos San Luis, s.f).

La instalación forma parte de la estructura organizativa del Downstream y depende de la Gerencia Ejecutiva de Logística (YPF S.A., 2023).

Figura 2

Ubicación geográfica de la Terminal Villa Mercedes, Argentina



Nota. Información interna de TVM. En color rojo se observa la traza del poliducto.

3.2 Resumen de las Características del Complejo

En la Figura 3 se presenta una imagen general de la superficie del complejo, el cual cuenta con las siguientes características:

La TVM es una instalación dedicada al almacenamiento y despacho de combustibles líquidos. Está ubicada en la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis, Argentina, y es la única planta de este tipo en la provincia, desempeñando un rol estratégico en el abastecimiento regional.

El complejo Villa Mercedes, conformado por la TVM y la estación de bombeo (EBVM), ocupa una superficie total de 53 hectáreas y opera de manera continua para garantizar la logística de combustibles en la zona centro del país.

La terminal recibe combustibles desde la Refinería Luján de Cuyo (Mendoza) a través de un poliducto de 16 pulgadas de diámetro y 340 kilómetros de longitud. En la Figura 4 se observa un esquema del proceso operativo típico.

Los productos son almacenados y posteriormente despachados:

- A clientes externos, mediante camiones cisterna.
- A clientes internos, mediante el poliducto.

3.3 Características Técnicas Principales

- Capacidad de almacenamiento: 100.103 m³.
- Cantidad de TKs: 20.
- 5 TKs de techo fijo con MI.
- 5 TKs de techo fijo.
- 7 TKs de TF.
- 1 TK de DG con MI.
- 2 TKs cilíndricos (horizontal y vertical).
- Tipo de cargadero: camiones tipo TOP (carga superior).

3.4 Productos Base Almacenados

Los productos almacenados en los TKs son nafta super, nafta infinia, gasoil 1500 ppm de azufre, gasoil 10 ppm de azufre, JP1 (jet fuel), bioetanol, biodiesel, aditivos y trazador fiscal.

3.5 Productos Comerciales Elaborados

A partir de los compuestos base se elaboran los productos comerciales: Nafta Super XXI, Nafta Infinia, Ultra Diesel XXI, Infinia Diesel, Diesel 500, Kerosene y Jet A-1.

3.6 Organización Operativa

La terminal está conformada por un jefe de instalación, un técnico en Seguridad e Higiene Laboral, un técnico de producto, cinco supervisores y cinco operadores en la sala de control, un jefe de administración y tres técnicos en administración. El personal de sala de control trabaja en turnos rotativos las 24 horas, los 365 días del año.

3.7 Software Aplicado a las Operaciones:

- Sistema TAS: automatización de carga de camiones.
- Sistema Enraf: medición de volúmenes almacenados en los TKs.
- Sistema SCADA: monitoreo en tiempo real.
- Sistema PI Vision: visualización y análisis de datos históricos.

Figura 3

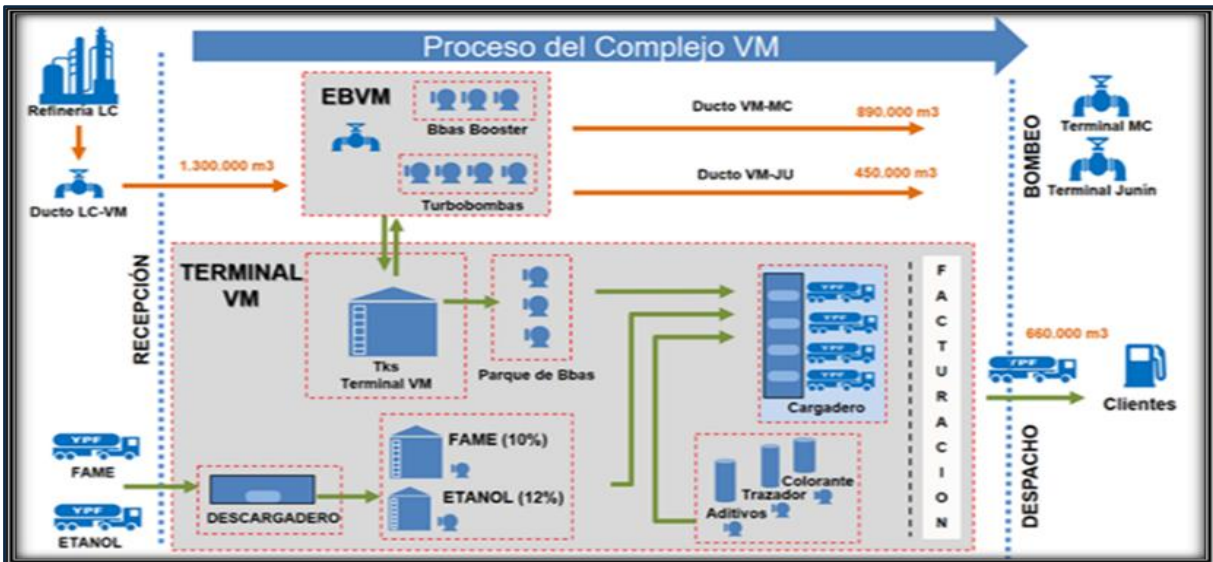
Imagen aérea del complejo



Nota. Información interna de TVM. Se observan los 13 TKs de almacenamiento de combustibles livianos y los 4 de biocombustibles.

Figura 4

Croquis del proceso típico del complejo



Nota. El proceso corresponde a combustibles líquidos livianos y biocombustibles.

4. Marco Teórico

Los tanques (TKs) de almacenamiento de combustibles líquidos constituyen infraestructuras fundamentales en la industria energética. Están diseñados para contener grandes volúmenes de hidrocarburos bajo condiciones de presión atmosférica (American Petroleum Institute, 2020). Estas estructuras presentan diversas configuraciones de techos, siendo el techo flotante (TF) una de las más empleadas para reducir la formación de vapores en el espacio superior. Este sistema se compone de una plataforma que flota directamente sobre el líquido, adaptándose a las variaciones de volumen, lo que limita la evaporación y disminuye el riesgo de generación de atmósferas explosivas (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2024, cap. 7). El sistema de flotación, integrado por pontones (compartimentos sellados ubicados dentro de la estructura del techo), sellos perimetrales y mecanismos de drenaje, acompaña el nivel del producto y mejora la eficiencia del almacenamiento (Chin, 2022).

La seguridad del personal involucrado en estas operaciones representa un aspecto prioritario, debido a los riesgos asociados a incendios, explosiones y exposición a vapores tóxicos (Occupational Safety and Health Administration, 2022). El diseño del TF contribuye a mitigar estos riesgos al reducir el volumen de vapores inflamables, reforzando la protección del entorno operativo (API, 2020; EPA, 2024).

A pesar de sus ventajas, estudios recientes han identificado fallas asociadas a los TF. Entre ellas se destacan la corrosión en los pontones, la acumulación de agua por drenajes ineficientes, la fatiga en soldaduras y el deterioro de los sellos perimetrales. Estas deficiencias comprometen la integridad estructural del TK y disminuyen su eficiencia operativa (Becht, 2024). Ante este escenario, se han promovido soluciones alternativas que incrementan la seguridad y el rendimiento técnico.

Entre estas soluciones, los techos fijos combinados con membranas internas flotantes (MI) han adquirido relevancia. En particular, los domos geodésicos de aluminio (DG) se destacan por su estructura basada en redes

triangulares interconectadas, que distribuyen las cargas de forma homogénea. Esto mejora la resistencia mecánica y reduce el peso total de la cubierta (Maxwell Tanks, 2024). Además, eliminan columnas internas, maximizan el volumen útil y disminuyen los puntos propensos a corrosión, aumentando la vida útil de la instalación.

La MI complementa este sistema al funcionar como una barrera secundaria sobre la superficie del líquido. Su uso contribuye significativamente a la reducción de emisiones COVs y permite una adecuada adaptación al nivel del producto (Det-Tronics, 2020). La combinación del DG y la MI mantiene los beneficios del TF convencional, al tiempo que corrige sus limitaciones estructurales y facilita el cumplimiento de regulaciones ambientales más estrictas.

Empresas como Center Enamel han desarrollado DG de aluminio específicamente diseñados para TKs de hidrocarburos, valorados por su resistencia a la corrosión, facilidad de montaje y bajo mantenimiento (Center Enamel, 2025). Investigaciones recientes señalan que la implementación de este tipo de cubiertas puede reducir las emisiones de COVs en más del 90 %, lo que representa un avance significativo en términos de sostenibilidad ambiental (EPCM Holdings, 2020).

Desde el punto de vista normativo, el diseño de los DG de aluminio está incluido en el Apéndice G de la norma API 650 (API, 2020), orientado a mejorar el control de vapores en TKs de almacenamiento (Mangushev & Sotnikov, 2020). En paralelo, se han propuesto técnicas de monitoreo al DG para realizar un seguimiento continuo de las deformaciones estructurales, permitiendo la detección temprana de anomalías y la prevención de fallas críticas (Yang et al., 2025). Estas estrategias, integradas al rediseño mediante cubiertas con DG y MI, ofrecen una solución integral para mejorar la eficiencia operativa y minimizar los impactos ambientales en las terminales de almacenamiento de combustibles líquidos.

4.1 Teoría del Triple Impacto

El enfoque del triple impacto se utiliza ampliamente para evaluar proyectos desde tres dimensiones esenciales: económica, social y ambiental. Este marco permite una evaluación equilibrada de las intervenciones, alinear la responsabilidad corporativa con la sostenibilidad y considerar los efectos financieros, sociales y ambientales en las operaciones empresariales (Tseng et al., 2020; Nogueira, Gomes, & Lopes, 2025).

Con respecto al impacto económico, se centra en la rentabilidad y el valor económico que genera un proyecto, considerando su sostenibilidad financiera y el retorno de la inversión a largo plazo, el impacto social analiza el aporte de la propuesta al bienestar social, incluyendo factores como la creación de empleo, la equidad y la salud y seguridad de los trabajadores, y el impacto ambiental examina el compromiso con la sostenibilidad ambiental, abarcando la reducción de emisiones, el uso eficiente de los recursos y la minimización de residuos.

4.2 Modelos de Gestión Aplicados al Diseño del Plan

Este plan de intervención se fundamentó en modelos conceptuales contemporáneos en las áreas de gestión del cambio, gestión de proyectos e innovación organizacional. Estos marcos teóricos proporcionaron una estructura metodológica sólida para abordar intervenciones operativas complejas con un enfoque estratégico y sostenible.

En el ámbito de la gestión del cambio, se consideró el modelo de tres fases actualizado por Cummings y Worley (2020), que comprende las etapas de descongelamiento, cambio y recongelamiento. Este enfoque ha sido adaptado en estudios recientes para facilitar transiciones organizacionales estructuradas y progresivas (Abawari, 2024). Asimismo, se integró el modelo de ocho etapas aplicado por Spain, LeBeouf y Cook (2022), que describe un proceso sistemático que va desde la creación de un sentido de urgencia hasta la institucionalización de nuevas prácticas.

En cuanto a la gestión de proyectos, se adoptó el enfoque propuesto por el Project Management Institute (PMI, 2021), el cual organiza la ejecución de proyectos en áreas clave como alcance, cronograma, costos, riesgos y gestión de interesados. Este marco metodológico proporciona una guía efectiva para la planificación y administración de proyectos de mejora en entornos industriales.

Además, se incorporó el Modelo de Innovación e Intervención para la Gestión de Organizaciones (MIIGO), desarrollado por Ramírez Salazar (2020), el cual integra los ejes de innovación, tecnología y conocimiento en la gestión organizacional. Este enfoque permite estructurar procesos de mejora continua desde una perspectiva sistémica, contribuyendo a fortalecer la lógica del diseño de intervenciones sostenibles.

Estos modelos ofrecieron una base conceptual robusta que refuerza la alineación de este plan con buenas prácticas organizacionales, metodologías actuales y principios de mejora continua.

4.3 Vinculación de los Modelos de Gestión del Cambio con las Etapas de la Intervención

La intervención en el TK 106 se estructuró siguiendo los modelos conceptuales presentados en el marco teórico, aplicados mediante la herramienta corporativa J5 Management of Change (MOC), utilizada para gestionar modificaciones técnicas en instalaciones críticas. Este proceso se alineó con las fases definidas por Cummings y Worley (2020) y Abawari (2024), el modelo de ocho etapas de Spain, LeBeouf y Cook (2022) y los lineamientos del Project Management Institute (PMI, 2021), integrando también los principios del Modelo de Innovación e Intervención para la Gestión de Organizaciones (MIIGO), de Ramírez Salazar (2020), que promueve la incorporación de innovación, tecnología y conocimiento en la gestión organizacional.

En la fase antes (descongelamiento), el MOC permitió formalizar la solicitud del cambio, realizar la evaluación técnica y económica, identificar riesgos y definir indicadores de desempeño. Este procedimiento incluyó la

revisión por parte de los roles definidos en el flujo corporativo: solicitante, líder de implementación, grupo de gestión técnica, evaluador económico y comité de inversión, además de la verificación del nivel de riesgo por parte del sector de medioambiente y seguridad.

En la fase durante (cambio), se coordinó la instalación del DG y la MI, registrando el avance en el sistema J5 y realizando validaciones intermedias.

Se aplicaron controles de calidad, inspecciones y trazabilidad documental, en coherencia con las áreas de ejecución y control de proyectos y con el enfoque sistémico del MIIGO.

En la fase después (recongelamiento), actualmente en desarrollo debido a que la obra se encuentra en ejecución, se establecieron procedimientos para comparar condiciones antes y después, realizar la evaluación financiera de la inversión y dar seguimiento a indicadores técnicos, ambientales y económicos. Estas acciones, programadas en plataforma J5 Management of Change (Hexagon, s.f.), se fundamentaron en evidencia teórica y en experiencias previas documentadas, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de los beneficios y la posibilidad de replicar la solución en otros TKs con características similares.

4.4 Enfoque Metodológico

El presente plan de intervención adoptó un enfoque cuantitativo, con un alcance aplicado y descriptivo. Se utilizó un diseño no experimental de tipo transversal, adecuado para contextos en los que se analizan situaciones operativas reales sin manipulación de variables, con el propósito de sustentar técnicamente una intervención ya definida.

Este enfoque permitió caracterizar una situación problemática y comparar variables clave antes y después de la intervención propuesta. A su vez, el diseño no experimental resulta pertinente para medir la efectividad proyectada de una solución técnica que aún no ha sido implementada, estableciendo así una base objetiva para su posterior evaluación y seguimiento.

4.5 Fuente de datos

En este apartado se describen las fuentes y procedimientos utilizados para la recolección, organización y análisis de la información considerada en el desarrollo del plan de intervención. Se incluyeron tanto la documentación obtenida mediante actividades prácticas como relevamiento en campo, revisión de las normativas técnicas, reportes internos y estándares específicos aplicables al sector de almacenamiento y despacho de combustibles líquidos.

4.6 Fuentes Primarias

Las fuentes primarias comprenden datos originales y directos obtenidos mediante relevamientos de campo, observaciones técnicas. Esta evidencia es clave para identificar condiciones operativas reales, registrar comportamientos del sistema en su entorno natural y respaldar el análisis técnico con evidencia concreta no mediada por interpretaciones previas (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

4.7 Relevamiento de Campo

El relevamiento de campo se refiere a la recopilación directa de datos en el entorno natural del estudio, permitiendo una observación cercana y detallada de las condiciones reales en las que se desarrolla. Este método es útil para obtener información primaria que complementa otras técnicas utilizadas. Su rigor en la organización y registro de hallazgos es clave para garantizar la precisión y validez de los resultados (Hernández Sampieri et al., 2023).

4.8 Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias comprenden información ya elaborada, procesada o publicada previamente por organismos técnicos, autores especializados o entidades académicas. Este tipo de fuentes incluye artículos científicos, libros, informes técnicos, manuales normativos, documentos institucionales y bases de datos reconocidas. Estas fuentes resultaron fundamentales para contextualizar el diagnóstico, respaldar los criterios

técnicos aplicados y comparar la situación operativa local con estándares del sector energético (Hernández Sampieri et al., 2023).

4.9 Pareto o Ley 80/20

El análisis de Pareto, también conocido como el principio 80/20, es una herramienta analítica que se utilizó para identificar y priorizar las causas más significativas de un problema. Este principio establece que el 80 % de los efectos proviene de aproximadamente el 20 % de las causas, lo que permite enfocar los esfuerzos en los factores que generan el mayor impacto (Pew Research Center, 2021).

4.10 Metodología SMART

Los objetivos SMART constituyen una herramienta clave en la planificación estratégica y en la gestión por resultados. Esta técnica establece que todo objetivo debe ser específico, medible, alcanzable, relevante y temporal, lo que permite aumentar la claridad y la efectividad en la formulación de metas (Herrity, 2025)

4.11 Norma API 650

La norma API 650 establece los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño, construcción y mantenimiento de TKs de almacenamiento atmosférico de acero, comúnmente utilizados en la industria petrolera. Este estándar especifica criterios detallados sobre materiales, métodos de soldadura, pruebas de presión y procedimientos de inspección, asegurando la integridad estructural y operativa de los TKs y contribuyendo a la prevención de riesgos ambientales y de seguridad (API, 2020).

4.12 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) son sustancias químicas con alta volatilidad que se liberan fácilmente a la atmósfera. Estos compuestos pueden contribuir a la formación de ozono troposférico, lo que genera efectos

adversos en la salud humana y en el medio ambiente. En el manejo de combustibles líquidos, las emisiones de COVs representan un riesgo significativo tanto para la salud de los trabajadores como para el cumplimiento de normativas ambientales.

En Argentina, la regulación de estas emisiones se encuentra contemplada en distintos marcos normativos. La Ley 24.051 regula la gestión de residuos y sustancias peligrosas (República Argentina, 1991). La Ley 25.675 establece principios y directrices para la protección del medio ambiente (República Argentina, 2002). La Ley 26.562 se centra en la regulación de la calidad del aire y el control de emisiones atmosféricas (República Argentina, 2009). Asimismo, la Resolución 831/93 de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable establece un régimen de información y control sobre las emisiones de COVs en la industria (Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, 1993).

En el plano internacional, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos proporciona directrices para la gestión de emisiones de COVs, con el fin de promover prácticas que minimicen el impacto ambiental (EPA, 2024). En la misma línea, la Guía del Ingeniero de Emerson destaca la importancia de implementar sistemas de control adecuados para reducir dichas emisiones, considerando factores tanto técnicos como ambientales en su evaluación (Emerson, 2021).

4.13 La Guía del Ingeniero para Medición de Tanques

La Guía del Ingeniero para la Medición de TKs de Emerson proporcionó un enfoque técnico para asegurar mediciones precisas de almacenamiento, abarcando desde la selección de instrumentos hasta la implementación de estándares industriales. Esta guía es esencial para la gestión segura y eficiente del inventario en instalaciones de almacenamiento (Emerson, 2021).

4.14 La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

La Agencia se estableció en 1970 y es una autoridad fundamental en la regulación de contaminantes y la protección ambiental. Sus normativas son una referencia clave, ya que se analizó la evaporación de hidrocarburos y las emisiones COVs (EPA, 2024).

El Capítulo 7 del AP-42 de la normativa de la EPA establece directrices esenciales para el control y monitoreo de emisiones contaminantes, lo cual resulta especialmente relevante en el contexto de la evaporación de combustibles. Sus principales aportes al PIN fueron:

- Límites de emisión: define niveles permitidos de emisión de contaminantes atmosféricos, proporcionando una base para evaluar y controlar las emisiones de COVs derivadas de la evaporación.
- Monitoreo continuo: la normativa de la EPA exige monitoreo y ajustes cuando las emisiones superan los límites aceptables, garantizando así un control constante sobre los niveles de evaporación.
- Prevención y mejora continua: promueve prácticas de almacenamiento y reducción de emisiones que minimicen el impacto ambiental, fomentando un enfoque de sostenibilidad.

4.15 OPEX (Operating Expenditure)

OPEX (Operating Expenses) se refiere a los gastos operativos de un proyecto o empresa, incluyendo los costos recurrentes necesarios para mantener las operaciones diarias, como salarios, mantenimiento y suministros. Este KPI cubre gastos regulares que impactan directamente en la rentabilidad operativa (Investopedia, 2024a).

4.16 CAPEX (Capital Expenditure)

CAPEX (Capital Expenditures) se refiere a los gastos de capital destinados a la adquisición, mejora o mantenimiento de activos físicos de una empresa o proyecto, como edificios, maquinaria y equipos. Este tipo de

inversión es de largo plazo y tiene como objetivo aumentar la capacidad productiva o extienden la vida útil de los activos (Investopedia, 2024b).

4.17 ROI (Return on Investment)

El Retorno sobre la Inversión (ROI) es una métrica que mide la rentabilidad de una inversión en relación con su costo. Se calcula dividiendo la ganancia neta obtenida por el costo total de la inversión y se expresa como un porcentaje. Un ROI positivo indica que los beneficios superan los costos, lo que sugiere que la inversión es rentable (Investopedia, 2024c).

4.18 Período de Retorno (Payback Period)

El período de recuperación es un indicador financiero que determina el tiempo necesario para recuperar una inversión inicial a través de los flujos de efectivo generados por el proyecto. Este análisis es esencial para evaluar la viabilidad financiera a corto y mediano plazo y permite a las empresas priorizar proyectos que generen beneficios en un plazo más reducido (Investopedia, 2024d).

4.19 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un KPI que se utilizó para analizar la viabilidad financiera de la inversión, ya que calcula si los beneficios futuros del proyecto, actualizados al valor presente mediante una tasa de descuento, superan la inversión inicial. Un VAN positivo indica que el proyecto generará ganancias netas, lo que justifica la inversión. Un VAN negativo sugiere lo contrario (Corporate Finance Institute, 2023a).

4.20 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador clave que mide la rentabilidad de una inversión, representando la tasa de descuento que hace que el valor presente de los flujos de efectivo futuros sea igual a la inversión

inicial. Una TIR superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento indica que el proyecto generará una rentabilidad favorable (Investopedia, 2024e).

4.21 Índice Beneficio-Costo (B/C)

El Índice Beneficio-Costo (B/C) es un indicador financiero que evalúa la relación entre los beneficios y los costos de un proyecto, ayudando a determinar su viabilidad económica. Se calcula dividiendo el valor presente de los beneficios por el valor presente de los costos. Un índice mayor que 1 indica que los beneficios superan los costos, lo que sugiere que el proyecto es rentable (Corporate Finance Institute, 2023b).

4.22 Margen de Contribución

El Margen de Contribución es una medida financiera que indica cuánto contribuyen las ventas a cubrir los costos fijos después de deducir los costos variables. Se calcula restando los costos variables de los ingresos por ventas y es útil para analizar la rentabilidad y la capacidad de un proyecto o producto para generar beneficios. Un margen positivo sugiere que las ventas ayudan a cubrir los costos fijos y a generar ganancias adicionales (Investopedia, 2024f).

4.23 EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization)

El EBITDA es una métrica financiera que mide el rendimiento operativo de un proyecto o empresa. Excluye los efectos de decisiones financieras, impuestos, intereses, depreciación y amortización, centrándose en la capacidad de generar flujo de efectivo a partir de las operaciones principales. Es útil para comparar la rentabilidad operativa entre empresas o proyectos, sin considerar factores contables o financieros que puedan distorsionar el análisis operativo (British Business Bank, 2023).

4.24 Método Teórico para los KPIs Financieros y Técnicos

En la Tabla 1 se presentan los fundamentos teóricos asociados a cada métrica financiera y técnica, como base conceptual para su aplicación en la evaluación del proyecto.

Tabla 1

Detalle teórico de KPIs financieros y técnicos

KPI	Fórmula	Detalle
CAPEX	$= C_i + C_r + C_a$	<p>C_i=Costos de inversión inicial C_r=Costos de reemplazo o mejora C_a=Otros costos asociados a activos a largo plazo</p>
OPEX	$= C_m + C_e + C_o$	<p>C_m=Costos de mantenimiento C_e=Costos de energía C_o=Otros costos operativos recurrentes</p>
EBITDA	$= \text{Ganancias Totales} - \text{OPEX} + \text{Depreciación} + \text{Amortización}$	<p>Ganancias Totales=Ingresos generados OPEX=Costos operativos Depreciación y Amortización=Gastos no monetarios que reflejan la pérdida de valor de activos</p>

KPI	Fórmula	Detalle
Margen de Contribución	$= \frac{(\text{Ganancias Totales} - \text{OPEX})}{\text{Ganancias Totales}} \times 100.$	El resultado se expresa en valor porcentual
Valor Actual Neto (VAN)	$= \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$	<p>CF_t=Flujo de efectivo en el período t r=Tasa de descuento o tasa de retorno requerida t= Período que varía desde 0 hasta n I=Inversión inicial n=Número total de períodos</p>
Tasa Interna de Retorno (TIR)	$= \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$	<p>F_t=Flujo neto de caja en el período t r=Tasa Interna de Retorno (TIR) t= Período de tiempo n=Número total de períodos del proyecto I_0= Inversión inicial realizada en el período cero</p>

KPI	Fórmula	Detalle
Índice Beneficio Costo (B/C)	$= \frac{\text{Ahorros Anuales}}{\text{Costo de la Inversión}}$	Es un índice adimensional
Período de Retorno (Payback Period)	$= \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo de Caja Anual Neto}}$	El resultado se expresa en unidades de tiempo
ROI	$= \frac{\text{Ganancias Neta}}{\text{Costo de la Inversión}} \times 100.$	El resultado se expresa en valor porcentual
Cálculos por Evaporación de nafta	$= K \cdot V \cdot P \cdot W$	<p>K=Factor de actividad del tanque (ajustado según el tipo de sello)</p> <p>V=Volumen almacenado</p> <p>P =Presión de vapor de la nafta</p> <p>W=Factor de corrección (clima y ubicación)</p>

KPI	Fórmula	Detalle
Emisiones COVs	$= K_w \cdot N \cdot Q \cdot P \cdot M$	<p>K_w = Factor de emisión por llenado. N = Número de ciclos de llenado y vaciado por año Q = Volumen promedio trasferido por ciclo (m^3) P = Presión de vapor del líquido a la temperatura promedio (KPa) M = Factor de conversión a masa (kg/m^3 o toneladas/m^3)</p>
Superávit Operativo	$= V_f - V_i$	<p>V_i = Volumen inicial V_f = Volumen final</p>
Déficit Operativo	$= V_i - V_f$	<p>V_i = Volumen inicial V_f = Volumen final</p>

4.25 Herramientas de Análisis

Durante el desarrollo del PIN, se emplearon diversas herramientas tecnológicas e informáticas que facilitaron el procesamiento y la interpretación de datos operativos y financieros de manera eficiente.

Estas herramientas optimizaron la organización de la información y permitieron un análisis detallado de los distintos aspectos operativos, mejorando la comprensión de las variaciones observadas en los procesos.

Su utilización fue fundamental para estructurar los datos recopilados y sustentar el análisis técnico. A continuación, se justifica la selección del software utilizado.

4.26 Microsoft Excel y Power BI

Se utilizaron para procesar los parámetros de operación y KPIs (Microsoft, 2021).

4.27 Sistema TAS

Se aplicó para cuantificar las operaciones de carga, descarga y control de inventarios (Dearman Systems Inc., 2021).

4.28 Sistema Enraf

Este sistema se empleó para la obtención de datos sobre los volúmenes almacenados en los TKs de combustibles (Honeywell, s.f.).

4.29 Sistema SCADA

Se utilizó el sistema SCADA para monitorear y recopilar datos de niveles de almacenamiento de combustibles líquidos, el flujo de ingreso y egreso de producto, así como la temperatura y presión de los TKs, en tiempo real durante las operaciones (Fortinet, s.f.).

4.30 Sistema PI Vision

PI Vision se empleó como una plataforma de visualización que integra datos provenientes de diferentes fuentes operativas. Su uso permitió un monitoreo en tiempo real y la identificación temprana de cualquier anomalía en las operaciones, optimizando el control sobre los procesos (AVEVA, s.f.).

4.31 Limitaciones del Relevamiento

Durante el desarrollo del PIN, se identificaron varias limitaciones que pudieron haber influido en los cálculos y análisis de los datos operativos y financieros. Las mismas se tuvieron en cuenta durante el análisis para mitigar su impacto.

4.31.1 Impacto Cambiario y Restricciones Económicas

La volatilidad del tipo de cambio del dólar en Argentina y las restricciones cambiarias pueden afectar los costos proyectados de inversiones en tecnología e infraestructura, ya que muchas operaciones se denominan en USD (oficial), en un contexto donde también existe un tipo de cambio paralelo. Esta dualidad aumenta la incertidumbre financiera y complica las proyecciones de inversión (Banco Central de la República Argentina, 2024a).

Asimismo, las políticas cambiarias pueden limitar la capacidad para ejecutar mejoras en los plazos establecidos, afectando la planificación financiera (Banco Central de la República Argentina, 2024b) e incidiendo en la estimación de métricas clave.

En este contexto, el análisis financiero del PIN se centró en los ahorros generados por la implementación en el TK 106 y los ingresos de caja de las operaciones de nafta infinia en TVM, sin considerar ingresos derivados del giro normal del negocio vinculados a la caja operativa. Este enfoque permitió evaluar con precisión los beneficios económicos específicos de la inversión.

4.31.2 Precisión en los Sistemas de Medición

Los sistemas de medición TAS y Enraf trabajan con una tolerancia de error que puede afectar las estimaciones de déficit y superávit operativos. Las pequeñas variaciones en los volúmenes medidos pueden influir significativamente en los costos operativos, por lo que se implementaron ajustes en los modelos de cálculo para compensar este efecto (American Petroleum Institute [API], 2019).

4.31.3 Estimaciones de Pérdidas por Evaporación

Las pérdidas por evaporación de los combustibles líquidos fueron influenciadas por las condiciones climáticas, como la temperatura y la presión atmosférica. Aunque se aplican fórmulas estándar para calcular dichas pérdidas, las variaciones climáticas no controlables pueden afectar la precisión de estas estimaciones. Se utilizaron márgenes de seguridad para mitigar este impacto (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas [IAPG], 2022).

4.31.4 Cumplimiento Normativo y Emisiones de COVs

El cumplimiento de las normativas ambientales sobre las emisiones de COVs, se estimaron utilizando fuentes secundarias confiables. No obstante, las actualizaciones o cambios en las regulaciones durante el curso del PIN pueden influir en los costos proyectados para la implementación de las medidas de cumplimiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2018).

5. Etapas del Proyecto

La intervención se estructuró en seis etapas consecutivas. En primer lugar, se realizó la recolección y sistematización de registros operativos correspondientes al año 2022. En esta fase se incluyeron los volúmenes recibidos y despachados, el déficit y superávit operativo, las pérdidas por evaporación, las emisiones de COVs y las condiciones climáticas relevantes. También se identificó el producto que presentó mayores variaciones operativas, con el objetivo de analizar su impacto en la eficiencia de gestión.

Posteriormente, se desarrolló el diagnóstico técnico-operativo del TF del TK 106, centrado en las desviaciones detectadas durante las operaciones de llenado, vaciado y reposo. Este análisis integró mediciones cuantitativas, registros documentales y observaciones sobre el comportamiento estructural del recipiente.

La tercera etapa correspondió a la definición de la solución estructural prevista, basada en el reemplazo del TF por un sistema compuesto por un DG y una MI. Esta propuesta se fundamentó en normativas técnicas vigentes para el almacenamiento de combustibles líquidos.

En la cuarta etapa se elaboró la proyección de resultados esperados a partir de la intervención. Se calcularon las mejoras operativas estimadas mediante modelos técnicos, considerando la reducción del déficit operativo, de las emisiones de COVs, de las pérdidas por evaporación y de las diferencias de medición PUM, además de los ahorros económicos asociados.

La quinta etapa se orientó a la medición comparativa y a la evaluación de la efectividad proyectada de la intervención. Para ello, se analizaron las variables clave antes y después de la solución propuesta, utilizando indicadores técnicos, ambientales y financieros. Este proceso permitió estimar el impacto global de la intervención en el rendimiento del TK 106 y en los costos asociados a su operación.

Finalmente, la sexta etapa se enfocó en el diseño de indicadores de gestión para el seguimiento posterior a la implementación. En este punto se definieron variables clave para el monitoreo de la sostenibilidad de la solución

estructural, incluyendo umbrales de control y la asignación de responsabilidades por sector. Asimismo, se establecieron criterios para la replicabilidad de la intervención en otras instalaciones del sector energético con condiciones operativas similares.

5.1 Resultados de la Metodología SMART

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los resultados de la metodología SMART sobre los objetivos específicos:

Tabla 2
Detalle de tabla SMART

Objetivo específico	Específico	Medible	Alcanzable	Relevante	Temporal
a) Identificar el producto líquido con mayores variaciones operativas	Reconoce el producto más crítico por su nivel de fluctuación operativa	Medido en L, a partir de variaciones registradas históricamente	Viable mediante análisis comparativo de datos históricos	Prioriza el producto con mayor impacto en el déficit/superávit	Aplicado en la fase de diagnóstico inicial
b) Determinar el costo promedio de las operaciones de 2022	Se enfoca en calcular los costos de recepción, bombeo y despacho	Costos promedio expresados en USD por operación	Factible con registros operativos ya existentes	Identifica oportunidades de eficiencia en costos operativos	Corresponde a la primera etapa del proyecto
c) Impacto financiero de variaciones operativas	Analiza los impactos de pérdidas operativas	Cálculo de pérdidas financieras por datos históricos	Por precios de referencia y balances históricos	Brinda sustento económico para justificar la intervención	Análisis económico previo a la intervención

Objetivo específico	Específico	Medible	Alcanzable	Relevante	Temporal
d) Identificar condiciones estructurales que generan pérdidas y emisiones	Describe técnicamente causas estructurales y operativas en el TK 106	Inspecciones técnicas y registros documentales	Posible con relevamiento en campo y reportes técnicos	Sustenta el diagnóstico técnico previo a la intervención	Implementado durante la etapa de evaluación técnica
e) Comparar eficiencia antes y después de la intervención estructural	Evalúa la mejora mediante indicadores operativos y ambientales	Comparación de indicadores: déficit, superávit, evaporaciones y COVs	Cálculos posibles a partir de datos previos y proyectados	Permite validar la efectividad técnica y económica de la obra	Desarrollado tras la ejecución de la intervención
f) Definir criterios para replicar la intervención en otras instalaciones	Plantea lineamientos para replicar la mejora según criterios de eficiencia	Criterios basados en volúmenes gestionados y criticidad del producto	Derivable a partir del análisis de resultados de esta intervención	Aporta a la estrategia de sostenibilidad del sistema logístico	Ubicado en la fase final de cierre del proyecto

6. Cronograma y Responsables

A continuación en la Figura 5 se detallan los puntos del cronograma y sus responsables de cumplimiento en el desarrollo del PIN:

Figura 5

Detalle del cronograma

Descripción del hito	Responsables	Progreso	Inicio
Intervención de Tk 106	Ingeniería/Operaciones		feb-24
Gráfico de proyecto	Técnico en productos/Operaciones	100%	jun-24
Etapas del proyecto			
Recolección y sistematización de datos históricos operativos del año 2022	Técnico en productos/Operaciones	100%	jun-24
Diagnóstico técnico-operativo de la situación estructural del techo flotante del tanque	Técnico en productos/Operaciones	100%	jul-24
Reemplazo del techo flotante por un sistema compuesto por un domo geodésico de aluminio y una membrana interna flotante	Ingeniería	70%	feb-24
Proyección los resultados esperados	Técnico en productos/Operaciones	100%	ago-24
Medición comparativa de las variables operativas clave antes y después de la intervención	Técnico en productos/Operaciones	100%	ago-24
Evaluación de la efectividad proyectada de la intervención estructural	Técnico en productos/Operaciones	100%	ago-24
Formulación de lineamientos estratégicos para la replicabilidad de la solución técnica	Técnico en productos/Operaciones	100%	ago-24
Fin de Proyecto		75%	ago-25

7. Presupuesto

El monto de la inversión se detalla en la Figura 6.

Figura 6

Detalle del presupuesto

Concepto	Valor en USD
Adecuación civil	\$ 28.554,71
Adecuación ingreso al recinto	\$ 33.947,39
Adecuación drenaje industrial	\$ 21.670,78
Pasamuros	\$ 13.578,96
Adecuación Metalúrgica	\$ 67.894,78
Desguace techo flotante y estructuras metálicas	\$ 53.407,94
Adecuación en virola superior para DG	\$ 42.434,24
Adecuación anillo rigidizador existente	\$ 36.789,39
Escalera de acceso a entrada de hombre cuadrada de 30" x 30"	\$ 15.460,54
Plataforma de telemedición	\$ 18.678,16
Parches traslapados en piso	\$ 20.368,43
Reparación, soldadura piso-envolvente y puerta de limpieza	\$ 31.530,20
Reparación soldadura en conexión de purga de fondo y techo	\$ 18.423,89
Pescante y cáncamo en boca de hombre y puerta de limpieza	\$ 11.456,22
Costura de sello tapón de ½ pulgada	\$ 8.500,61
Nuevas líneas aéreas de recepción y despacho, doble bloqueo	\$ 169.736,96
Rompe vórtice y tubo difusor	\$ 9.876,44
Anclajes anti-giro membrana interna flotante	\$ 9.765,34
Nuevos tubos de muestreo, telemedición, vaina de temperatura y sobrellenado	\$ 17.565,55
Adecuación PAT	\$ 5.432,23
Iluminación	\$ 14.234,21
Refrigeración del TK	\$ 11.334,90
Pintura interior	\$ 56.784,23
Pintura exterior y sellado talón	\$ 67.899,56
Prueba hidrostática	\$ 16.973,70
Sustitución del techo flotante por una nueva membrana interna de aluminio	\$ 1.188.158,71
Instalación de un domo geodésico	\$ 1.084.421,75
Tareas de verificación por entrega de obra	\$ 7.543,34
Total	\$ 3.082.423,16

7.1 Ajuste de Costo Por Variación Económica

Para los cálculos financieros del PIN, se consideró el valor actualizado del costo de obra correspondiente a abril del 2025, que asciende a USD 3.082.423,15. Este monto representa un incremento del 36,75 % respecto al presupuesto original de febrero de 2024, que era de USD 2.254.507,34. El incremento se muestra en la Figura 7.

Este aumento se justifica por el contexto económico nacional, dado que entre febrero de 2024 y abril de 2025, Argentina acumuló una inflación superior al 140,47 %, como se observa en la Figura 8, afectando los costos de insumos industriales y obras de infraestructura (INDEC, 2025a).

Figura 7

Variación de costo

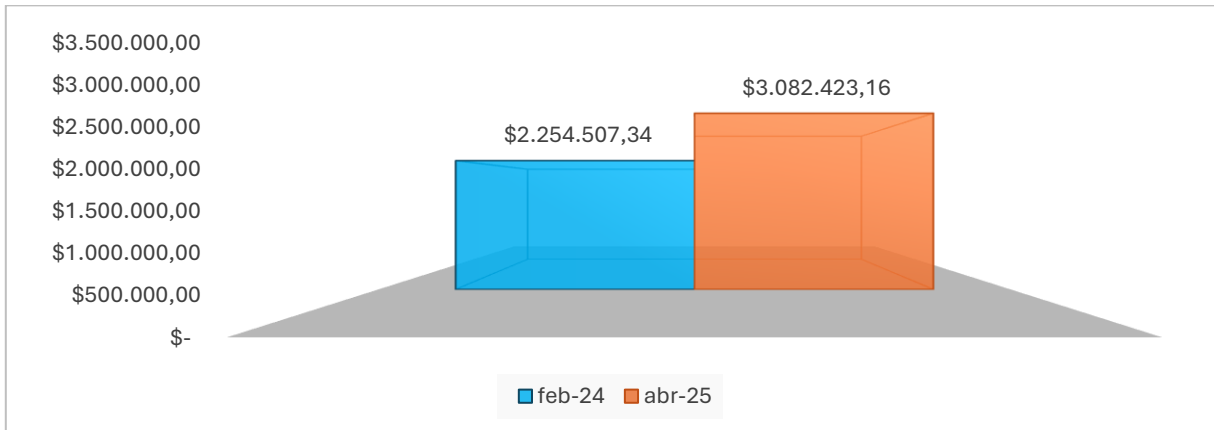
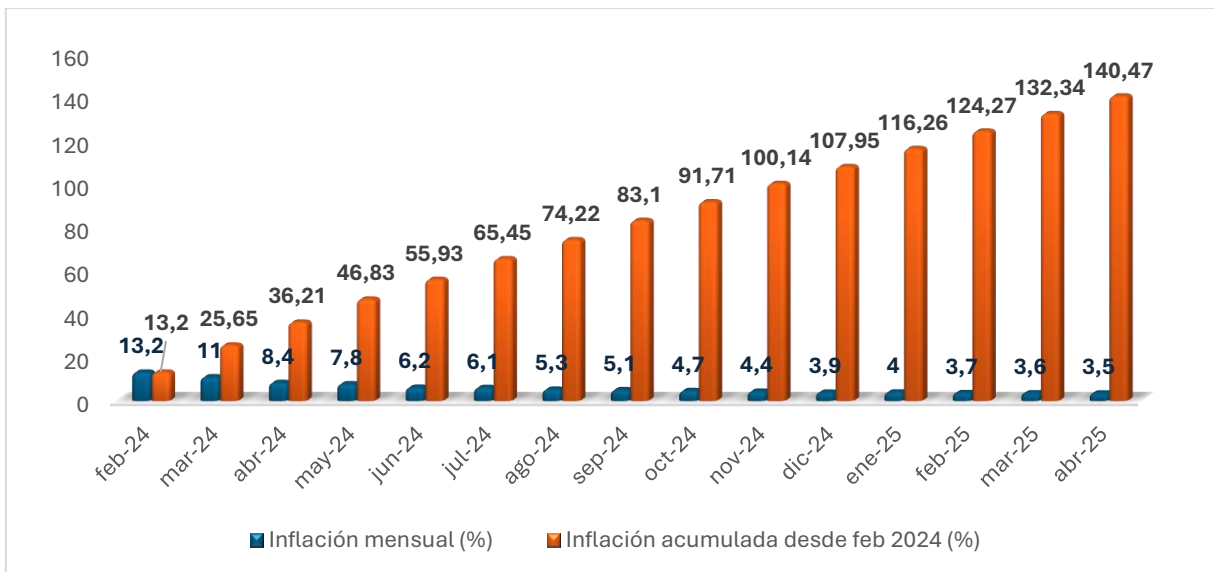


Figura 8

Evolución de la inflación



Nota. Adaptado de *Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025b)*. Índice de precios al consumidor (IPC). Variaciones acumuladas interanuales. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-5-31>

8. Implementación de la Intervención

8.1 Análisis de Pareto de Variaciones de Volumen

Se detalla el análisis realizado a las variaciones de volumen de la totalidad de los productos base, como se observan en las Figuras 9 y 10.

Se destacaron tres causas principales que representan el 80% del problema, siendo la nafta infinia la más significativa, con un 46% del total.

Figura 9

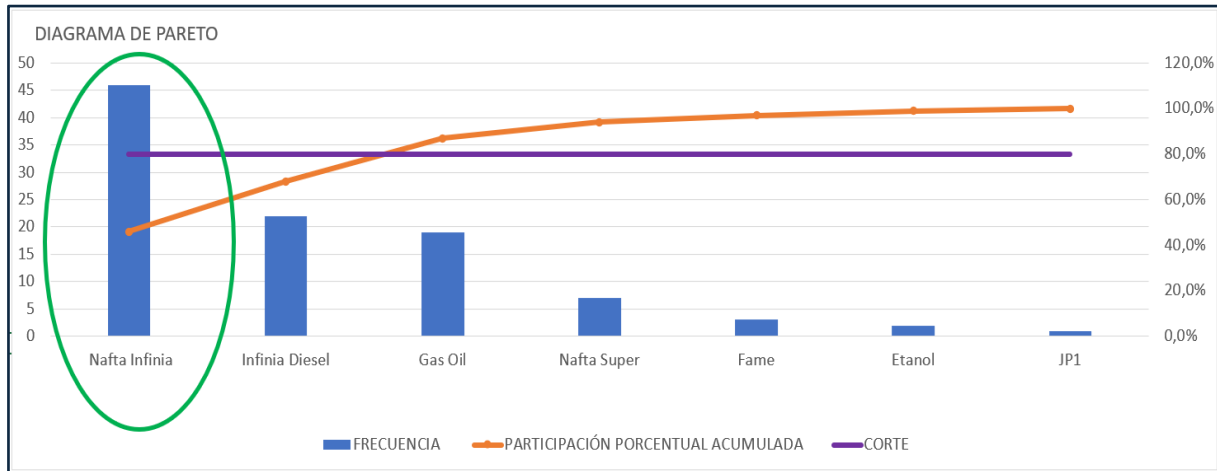
80/20 o Ley de Pareto a variaciones de productos

Diagrama de Pareto-Variaciones de Volumen por Productos base								
INCIDENCIA	FRECUENCIA	RANKING	POSICIÓN REAL	INCIDENCIA ORDENADA	FRECUENCIA	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL ACUMULADA	CORTE
Nafta Infinia	46	1	1	Nafta Infinia	46	46%	46,0%	80,0%
Infinia Diesel	22	2	2	Infinia Diesel	22	22%	68,0%	80,0%
Gas Oil	19	3	3	Gas Oil	19	19%	87,0%	80,0%
Nafta Super	7	4	4	Nafta Super	7	7%	94,0%	80,0%
Fame	3	5	5	Fame	3	3%	97,0%	80,0%
Etanol	2	6	6	Etanol	2	2%	99,0%	80,0%
JP1	1	7	7	JP1	1	1%	100,0%	80,0%
Total					100			

Nota. Adaptado de *Diagrama de Pareto* [Archivo Excel], por PlanillaExcel.com, s.f, (<https://www.planillaexcel.com/diagrama-de-pareto>).

Figura 10

Gráfico del diagrama de Pareto



Nota. Adaptado de *Diagrama de Pareto* [Archivo Excel], por PlanillaExcel.com, s.f, (<https://www.planillaexcel.com/diagrama-de-pareto>).

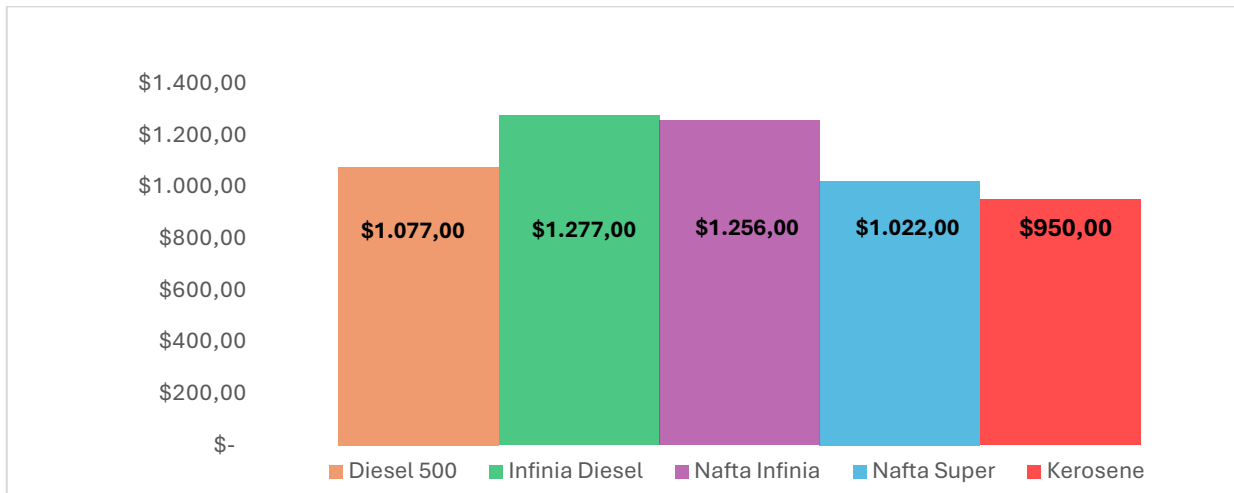
8.2 Datos de Operación de la Nafta Infinia en TVM

Es importante distinguir entre la evaporación de la nafta y las emisiones COVs. Mientras que la evaporación es el proceso físico en el que la nafta líquida se transforma en vapor por factores ambientales, las emisiones COVs se refieren a los compuestos orgánicos presentes en la nafta (como benceno y tolueno), que se liberan a la atmósfera como resultado de esa evaporación, contribuyendo a la contaminación atmosférica.

El año 2022 se seleccionó como base de análisis por ser el último año completo en que el TK 106 estuvo en servicio.

A continuación, se presentan los datos operativos y los costos de la nafta infinia correspondientes a dicho periodo.

En la Figura 11, se compara el precio de los combustibles líquidos que se distribuyen desde la TVM. La nafta infinia en el surtidor en Argentina tiene un coste de ARS 1.256,00, y el valor del dólar estadounidense (Oficial) es de ARS 878,00, ambos valores correspondientes a junio de 2024 (YPF, 2024; Banco Central de la República Argentina, 2024c). Este producto es el que posee mayor importe por su calidad.

Figura 11*Precio de los combustibles*

8.3 Detalle Técnico de los Controles PUM

El Punto Único de Medición (PUM) en el complejo Villa Mercedes se encuentra en la EBVM, donde el sistema OMNI 6000 Flow Computer registra el volumen dinámico de producto que es recibido en los TKs desde la refinería Luján de Cuyo (Mendoza), o bombeado desde los TKs hacia el poliducto con destino a las terminales de Monte Cristo (Córdoba) o Junín (Buenos Aires), Argentina. Estas mediciones se expresan en litros (L) a 15 °C, conforme a las normas API MPMS capítulos 5.3 y 3.1B (American Petroleum Institute [API], 2005, 2021; OMNI Flow Computers, Inc., 2017).

En paralelo, el volumen estático en los TKs es medido por el sistema Enraf Smart Servo 954, de acuerdo con las especificaciones de API MPMS Capítulo 3.1B (API, 2021; Honeywell, s.f.).

La comparación entre ambos reportes de los sistemas al finalizar cada batch o lote de producto líquido, permite verificar si el volumen que ingresó o egresó coincide con lo efectivamente almacenado en los TKs. Las diferencias detectadas se registran como diferencias PUM, y quedan documentadas por cada operación. Los productos transportados incluyen gas oil 1500 ppm de azufre, gasoil 10 ppm de azufre, nafta super, nafta infinia y JP1 (jet fuel).

Los volúmenes de los batch secuenciales transportados por el poliducto, varían entre 500 m³ y 10.000 m³. La determinación del tamaño del batch depende de múltiples parámetros como propiedades fisicoquímicas del producto, presión de la tubería, altimetría, equipos de bombeo en servicio, calidad del producto y capacidad de producción de la Refinería Luján de Cuyo.

8.4 Detalle Técnico de los Controles Operativos (Déficit y Superávit)

El sistema Enraf Smart Servo 954 (Honeywell, s.f.), instalado en los TKs de la TVM , permite medir el volumen de producto líquido tanto en estado de reposo como durante el despacho a camiones cisterna. Esta tecnología opera bajo los estándares establecidos por la API MPMS: Capítulo 3.1B para medición de nivel y conversión del volumen real en L a 15 °C, unidad de referencia utilizada por ambos sistemas de medición (API, 2021).

Durante el despacho, el sistema Enraf registra el descenso de nivel en tiempo real y calcula el volumen retirado. En paralelo, el sistema del cargadero de camiones cisterna independiente del Enraf emplea caudalímetros volumétricos para registrar el volumen cargado por cada unidad. Ambos sistemas entregan sus reportes diarios en L a 15 °C.

Al finalizar cada jornada, se comparan los volúmenes registrados por los sistemas. Esta comparación permite identificar diferencias operativas, que pueden originarse tanto durante la carga como en reposo, donde pueden generarse por pérdidas por evaporación no visibles pero detectables en los balances de nivel. El volumen promedio de carga por camión cisterna es de 37 m³.

El relevamiento de campo aplicado permitió identificar las principales ineficiencias y áreas críticas en el proceso. En las Figuras 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de datos leídos, donde se observa que la nafta infinia fue el producto con mayor variación de volumen en el déficit operativo, y además representó un aporte relevante en el déficit de las diferencias PUM de los volúmenes operados mediante el poliducto, en ambos

casos para el año 2022. Debido a que la nafta infinia es la que posee mayor valor por su calidad, ya que es el producto premium de YPF, es de interés que su operatividad desde la refinera hasta el surtidor sea atendida meticulosamente.

Figura 12

Resultado del déficit operativo por cada producto

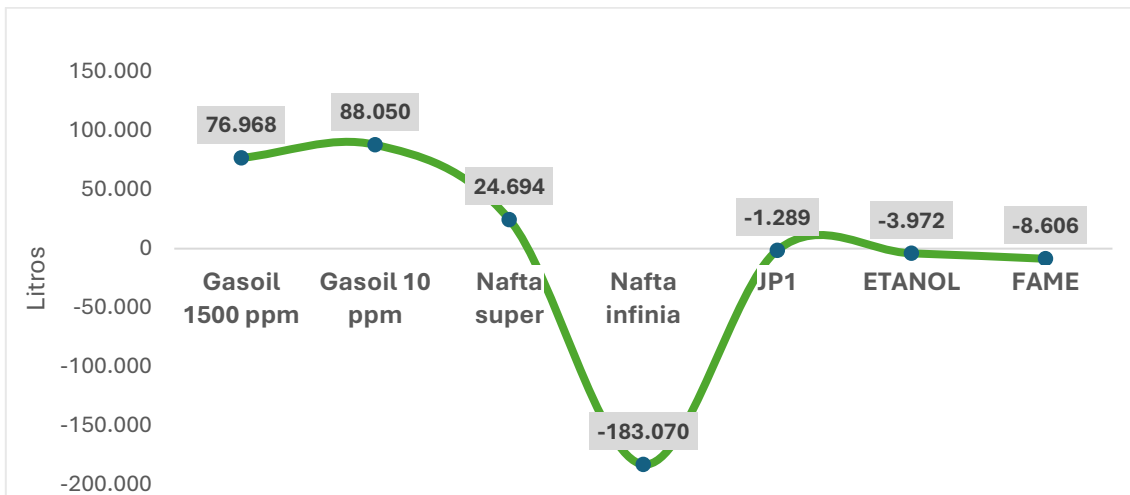
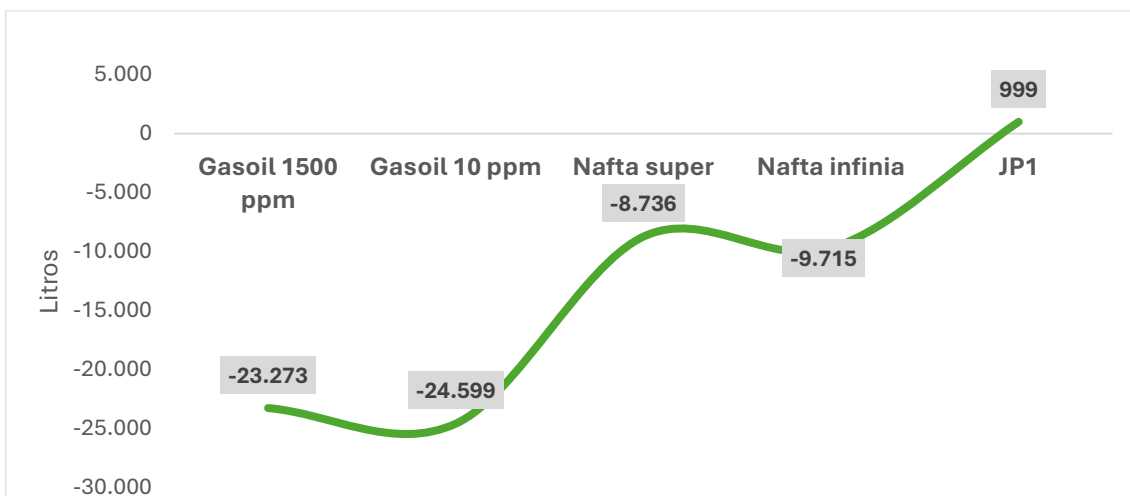


Figura 13

Resultado del déficit PUM por cada producto



8.5 Operaciones de la Nafta Infinia y Costo Asociado

A continuación, en la Tabla 3 y Figura 14, se observan los volúmenes y costos de nafta infinia operados por medio del poliducto con las maniobras operativas realizadas por la EBVM y el despacho a clientes externos.

El origen de las remesas proviene desde la refinería Luján de Cuyo (LC), y se traducen en ingresos operativos y financieros que afectan positivamente a la TVM.

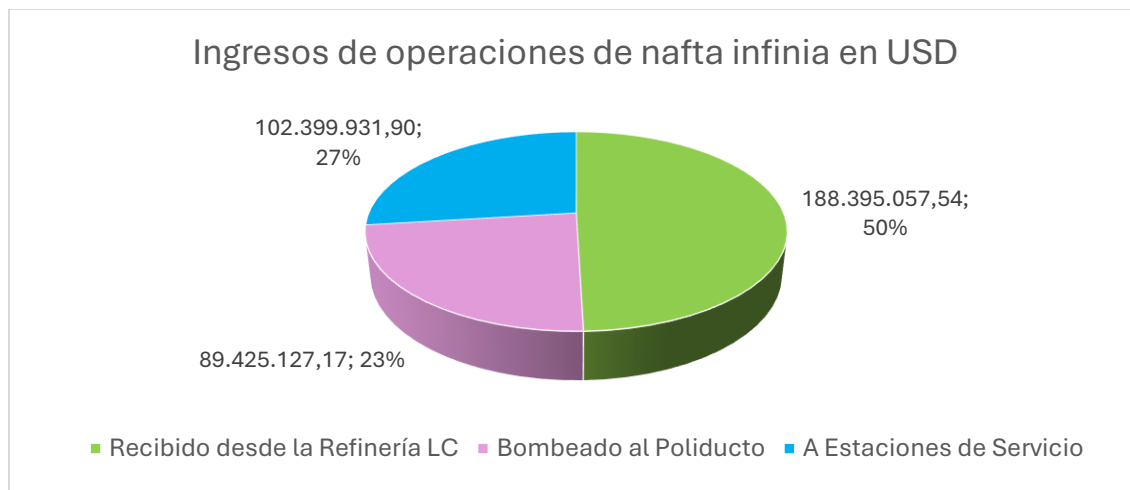
Tabla 3

Detalle por operación de nafta infinia en el año 2022

Operación	Volumen L	Valor USD
Recibido desde la Refinería LC	131.696.545	188.395.057,54
Bombeado al Poliducto	62.512.151	89.425.127,17
A Estaciones de Servicio	71.582.118	102.399.931,90

Figura 14

Detalle de ganancia por operación



8.6 Déficit Operativo y Costo Asociado

El almacenamiento destinado para la nafta infinia en la TVM, con un total de 18.000 m³, se distribuye en tres recipientes de TF: los TKs 106 (capacidad 10.000 m³), 111 (capacidad 5000 m³) y 105 (3.000 m³).

El total del volumen del déficit para el año 2022 es de 183.070 L, y el costo total asociado es de USD 261.886,01.

En la Figura 15 se observan los detalles por cada uno de los TKs.

Figura 15

Detalle del déficit operativo por TKs de TF de nafta infinia



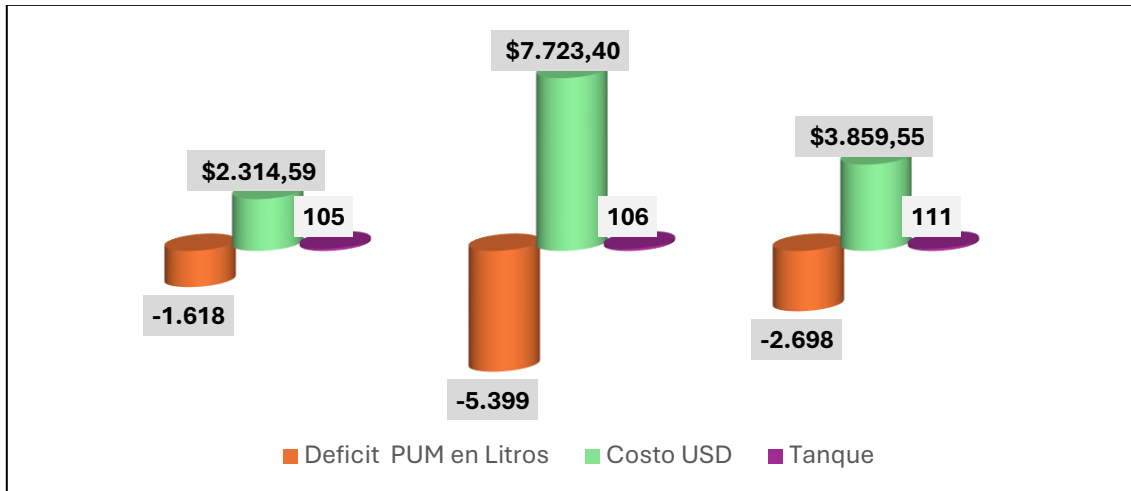
8.7 Diferencias PUM y Costo Asociado

Las diferencias PUM pueden ser positivas o negativas. Su objetivo determinado por el área de metrología de la compañía es que se mantengan dentro de $\pm 0,06$ % del volumen total medido mensualmente, siendo su ideal que tienda a cero. El resultado del año 2022 para la nafta infinia fue un déficit de 9.715 L, el cual totaliza un valor monetario de USD 13.897,54.

En la Figura 16 se representan los resultados por cada TK.

Figura 16

Detalle del resultado PUM por TKs de TF de nafta infinia



8.8 Cálculo por Evaporación y Costo Asociado

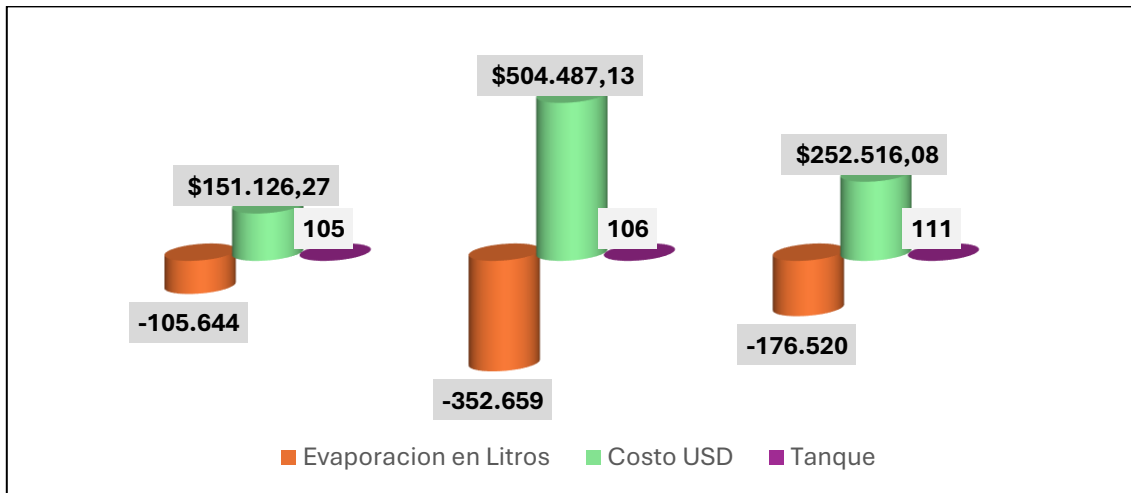
Se realizó un cálculo por evaporación para los tres recipientes de TF de nafta infinia, aplicando la metodología de la EPA (AP-42, capítulo 7) y los lineamientos de la API Standard 650 para TKs con sellos primario y secundario (EPA, 2024; API, 2020).

Según lo requerido por la EPA AP-42, se incorporaron las condiciones climáticas locales, como temperatura promedio, velocidad del viento y humedad relativa, obtenidas de la Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis (REM, 2022), como se detalla en el Anexo B. Además, se consideraron la superficie de los TKs, el factor de emisión ($k_1 = 0,05$), la frecuencia de llenado y los parámetros técnicos del producto (YPF S.A., 2019).

El volumen total evaporado en 2022 fue de 634.823 L, y con respecto a los costos asociados totalizaron USD 908.129,48. La distribución por cada uno de los TKs se muestra en la Figura 17.

Figura 17

Detalle de evaporación por TKs de TF de nafta infinia



8.9 Emisiones COVs y Costo Asociado

Para calcular las emisiones de COVs en los TKs 105, 106 y 111, se utilizó un factor de emisión de 0,11 g/L, lo que implica que, por cada litro de nafta infinia almacenado, se emiten 0,11 gramos de COVs. Este valor se encuentra dentro del rango estimado por la EPA para líquidos volátiles en TKs de TF, entre 0,1 y 0,15 g/L (EPA, 2024).

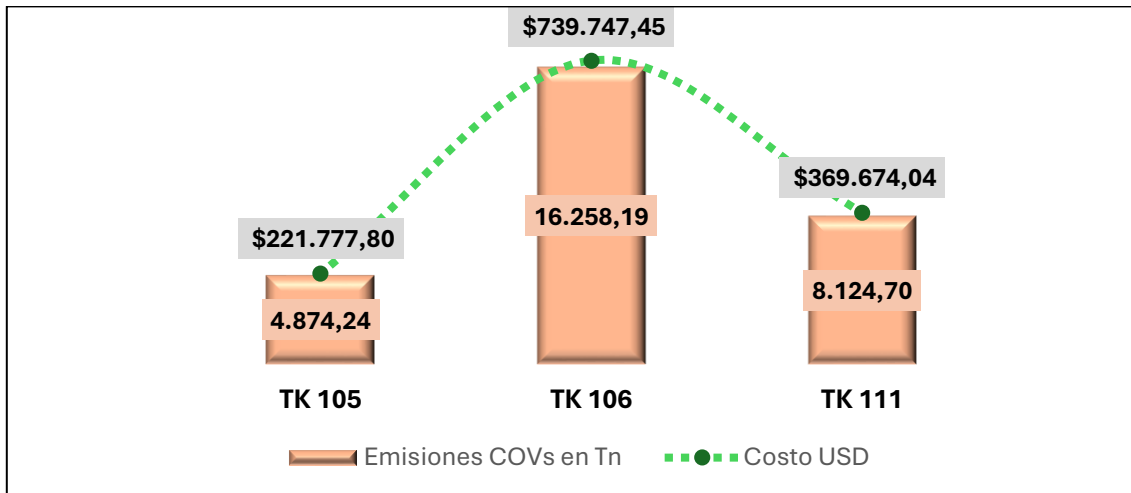
El costo de estas emisiones se estimó en USD 45,5 por tonelada (Tn) de COVs emitidas, en línea con precios internacionales del carbono, que oscilan entre USD 20 y 50 por Tn (Banco Mundial, 2022).

La cantidad total de emisiones en 2022 en Tn fue de 29.257,13. En cuanto a los costos asociados, el total fue de USD 1.331.199,29.

En la Figura 18, se muestra la distribución por cada uno de los TKs.

Figura 18

Detalle de emisiones COVs por TKs de TF de nafta infinia



8.10 Verificación Cruzada de Sistemas de Medición

Con el fin de establecer el problema real de las diferencias de volumen de ingreso y egreso de la nafta infinia en TVM, se realizó un análisis sobre la totalidad de las operaciones del producto durante el año 2022, incluyendo la recepción desde la refinería (LC), el bombeo al poliducto, el despacho hacia estaciones de servicio mediante camiones cisterna y el volumen almacenado en TKs como se muestra en la Figura 19.

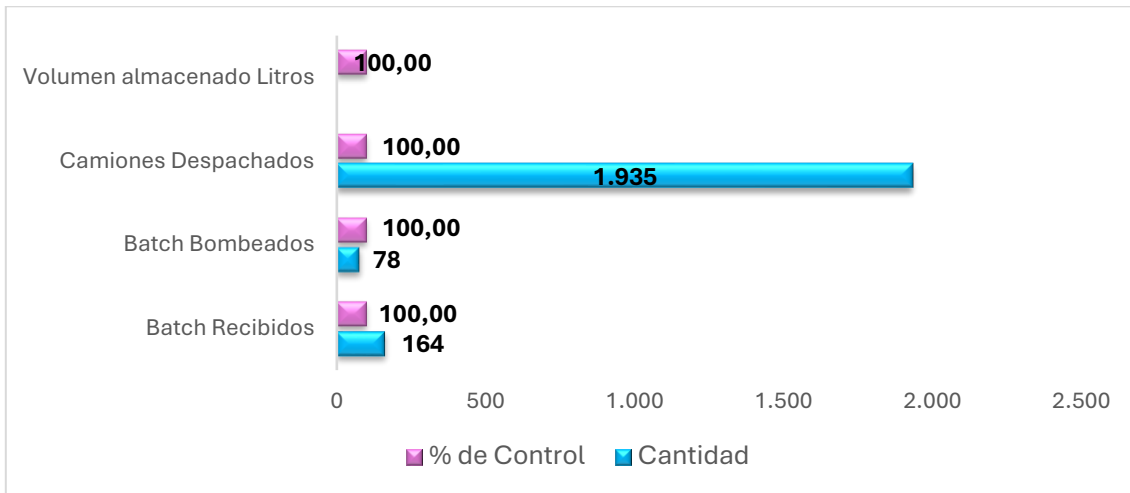
Se compararon los registros del sistema OMNI (2017), ubicado en la EBVM (PUM), con los valores medidos por el sistema Enraf (Honeywell, s.f.), en los TKs de la TVM. También se contrastaron los volúmenes reportados por el sistema TAS del cargadero de camiones (Dearman Systems Inc., 2021).

Como resultado del control cruzado, no se detectaron inconsistencias atribuibles a fallas en los sistemas de medición, los cuales operaron dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por el área de metrología de la compañía, conforme a lo estipulado en las normas API MPMS Capítulo 3.1B (API, 2021), Capítulo 5.3 (API, 2005) y Capítulo 11.1 (API, 2019).

Con lo analizado anteriormente, las tendencias al déficit de nafta infinia en el TK 106, no son atribuibles a posibles errores de los sistemas de medición, ni a desvíos operativos.

Figura 19

Detalle de controles del sistemas de medición



8.11 Diagnóstico Técnico Aplicado al Tanque 106 con TF

En la Tabla 4 se detalla el análisis realizado, mientras que en la Figura 20 se observa el TF previo a la intervención del TK 106.

Tabla 4

Evaluación técnica del TK 106

Ítem	Detalle
Tipo de tanque	Techo flotante interno
Material del techo flotante	Acero al carbono estructural
Capacidad nominal	10.000 m ³
Diámetro interior	35,036 m
Altura del tanque	10,430 m
Área total del techo flotante	963,37 m ²
Área deformada estimada	96,34 m ² (aproximadamente 10% del área del techo)
Peso original del techo flotante	62.320 kg
Coeficiente volumétrico interno	963 litros por mm
Precipitación media anual	441 mm por año
Precipitación media mensual promedio	36,75 mm por mes
Volumen anual de agua acumulada sobre el área deformada	42,48 m ³ por año (42.480 litros por año)

Ítems	Detalle
Volumen mensual promedio de agua acumulada	3,54 m ³ por mes (3.540 litros por mes)
Peso adicional por evento fuerte de lluvia (5 cm acumulados)	4.820 kg por evento
Peso mensual promedio de agua acumulada	3.540 kg por mes
Peso total anual de agua acumulada	42.480 kg por año
Incremento de carga por evento de lluvia	+7,7% respecto al peso original del techo
Temperaturas extremas registradas	Mínima: 0,16 °C / Máxima: 33 °C
Impacto térmico	Aceleración de la fatiga estructural debido a ciclos de dilatación y contracción del acero
Normas utilizadas para cálculos y diagnóstico	API 650 (API, 2020); API 653 (API, 2014); Resolución 785/2005 (Secretaría de Energía, 2005)
Normativa nacional aplicable	Resolución 785/2005 (Secretaría de Energía, 2005)

Figura 20

Imagen del TF del TK 106 de TVM



Nota. Información interna de TVM. Posición del techo cuando el Tk se encuentra vacío.

8.12 Justificación de la Intervención del Tanque 106

El TK 106 fue priorizado para una intervención estructural debido a deformaciones en su TF, que generaban acumulaciones superiores a 42.000 L de agua de lluvia al año, como se observa en la Figura 21.

Esto incrementaba en un 7,7 % la carga sobre zonas críticas, elevando el riesgo de pérdida de flotabilidad, colapso y evaporaciones no controladas.

El deterioro del sellado perimetral favorecía emisiones continuas de COVs, agravadas por amplitudes térmicas de entre 0,16 °C y 33 °C.

Estas condiciones son las que generaban las pérdidas más significativas de nafta in finia almacenada en el TK 106, incumpliendo los requisitos de las normas API 650, API 653 y la Resolución 785/2005 de la Secretaría de Energía (API, 2014, 2020; Secretaría de Energía, 2005), lo que justificó una intervención inmediata.

Figura 21

Imagen del techo flotante con acumulación de agua

**8.13 Análisis Comparativo de Soluciones**

Se evaluaron cuatro alternativas técnicas. La primera correspondió a la instalación de un DG junto con una MI. Esta alternativa protege la MI de la intemperie, reduce el espacio de vapor y permite maximizar la reducción de evaporación y de emisiones de COVs. Además, corrige deformaciones estructurales y disminuye el mantenimiento requerido. En 2009, como parte de un acuerdo legal (Consent Decree), la Environmental Protection Agency exigió a la compañía Rocky Mountain Pipeline System, LLC, instalar un DG sobre el TK 17.9 en su terminal de Dupont (Commerce City, Colorado), lo que permitió una reducción de más de 8,6 toneladas por año de COVs, con un costo estimado de USD 200.000 (EPA, 2009).

La segunda alternativa analizada fue la instalación de un techo fijo de acero con TF interno. Aunque esta opción resultó eficaz en la reducción de emisiones, su implementación en el TK 106 no era viable debido al elevado CAPEX, los intervalos de indisponibilidad operativa del recipiente y la necesidad de refuerzos estructurales adicionales (EPA, 2024).

En tercer lugar, se consideraron mejoras en el TF externo mediante doble sello y accesorios climáticos. Si bien esta alternativa atenúa pérdidas

perimetrales, no corrige deformaciones ni elimina la exposición del TK a las condiciones climáticas.

Finalmente, se evaluó la incorporación de una unidad de recuperación de vapores (VRU). Esta tecnología permite capturar vapores operativos, aunque no resuelve las deformaciones estructurales ni las pérdidas difusas, por lo que se considera complementaria y no una solución primaria (U.S. Department of Energy [DOE], 2021).

La opción del DG con MI fue seleccionada por su capacidad superior para reducir evaporación y emisiones, su eficacia para resolver el problema estructural, la rapidez de instalación y la posibilidad de replicación en TKs equivalentes de 10.000, 5.000 y 3.000 m³ con productos volátiles, en concordancia con fuentes internacionales (European Environment Agency [EEA], 2023).

8.14 Desarrollo de la Solución Técnica

Se definió el reemplazo del TF por una configuración compuesta por una MI de politetrafluoroetileno (PTFE), de 1.700 kg, y un DG de aluminio anodizado (ver anexo D).

La MI actúa como barrera flexible que reduce las emisiones de COVs. El DG, diseñado con triángulos interconectados, aporta resistencia estructural y elimina la acumulación de agua (Maxwell Tanks, 2024; Det-Tronics, 2020).

La obra fue encargada a una empresa especializada y se ejecuta bajo el procedimiento formal de gestión del cambio (MOC), conforme a las normas API y la legislación nacional aplicable (API, 2014, 2020; Secretaría de Energía, 2005). En las Figuras 22 y 23 se muestran imágenes del TK 106 antes de la intervención y su proyección final tras la implementación.

Figura 22

Imagen externa del TK 106 de TVM (antes)



Nota. Información interna de TVM. Se observa el TK desde el interior del recinto de contención.

Figura 23

Imagen externa proyectada del TK 106 de TVM (después)



Nota. Información interna de TVM.

9. Evaluación de Resultados de la Implementación

9.1 Benchmarking

Se realizó una actividad de benchmarking interno con otra instalación de la compañía, donde se identificó el TK 27 de la Figura 24, que almacena nafta super, de características de TF y una capacidad de 10.000 m³.

En mayo de 2019, el TK fue intervenido mediante la instalación de una MI y un DG, en reemplazo del TF, obteniéndose los resultados operativos que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

TK 27 de con DG y MI

Variación Operativa	Año 2019	Año 2025	Diferencia en L	Mejora en %
Promedio mensual en L	173.000	10.000	163.000	94,22

Figura 24

Imagen de TK 27 con DG y MI



9.2 Reducción de Pérdidas por Evaporación

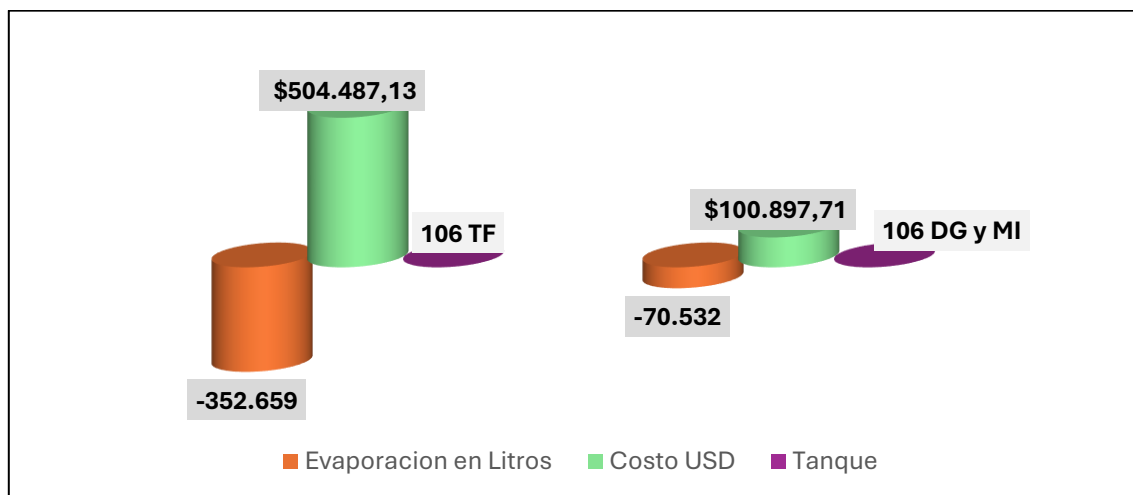
Con respecto a este punto, la merma proyectada por el reemplazo del TF por el DG y una MI fue de 282.127 litros por año (L/año), representando un ahorro de USD 403.589,42.

Esta mejora responde al cambio en el factor de emisión (k_1), que pasó de 0,05 a 0,01, según la metodología EPA (2024), gracias a la doble contención del DG y la barrera de la MI.

En la Figura 25 se muestra la comparación entre ambas configuraciones.

Figura 25

Detalle de reducción por evaporación del TK 106



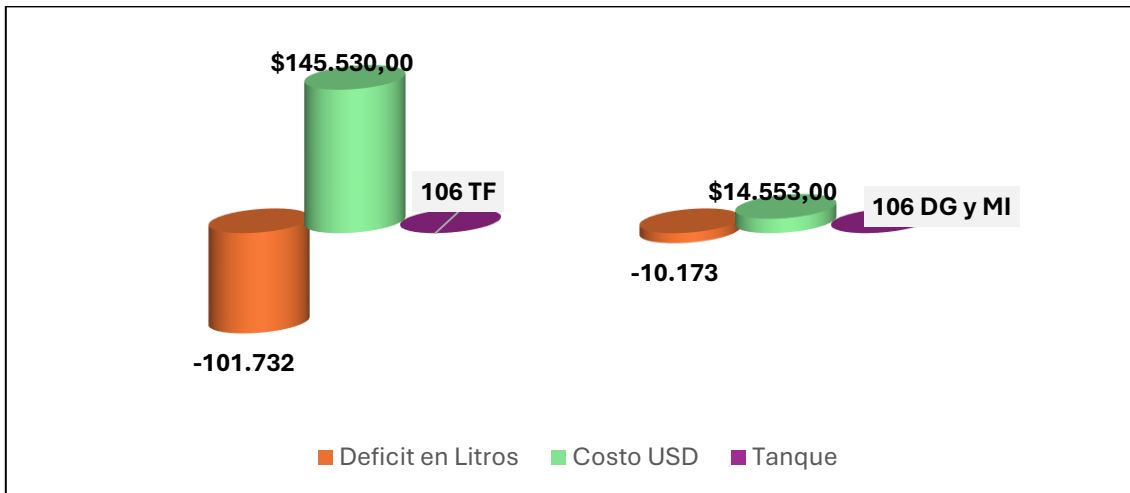
9.3 Reducción de Déficit Operativo

El déficit operativo muestra una disminución estimada de 91.559 L/año, con un ahorro en costo de USD 130.977,00.

Esta mejora se refleja en todas las operaciones del TK que no incluyen mediciones PUM, como el reposo, los trasvases internos y el despacho hacia el cargadero de camiones. En la Figura 26 se detallan los datos de ambas configuraciones.

Figura 26

Detalle de reducción del déficit operativo del TK 106



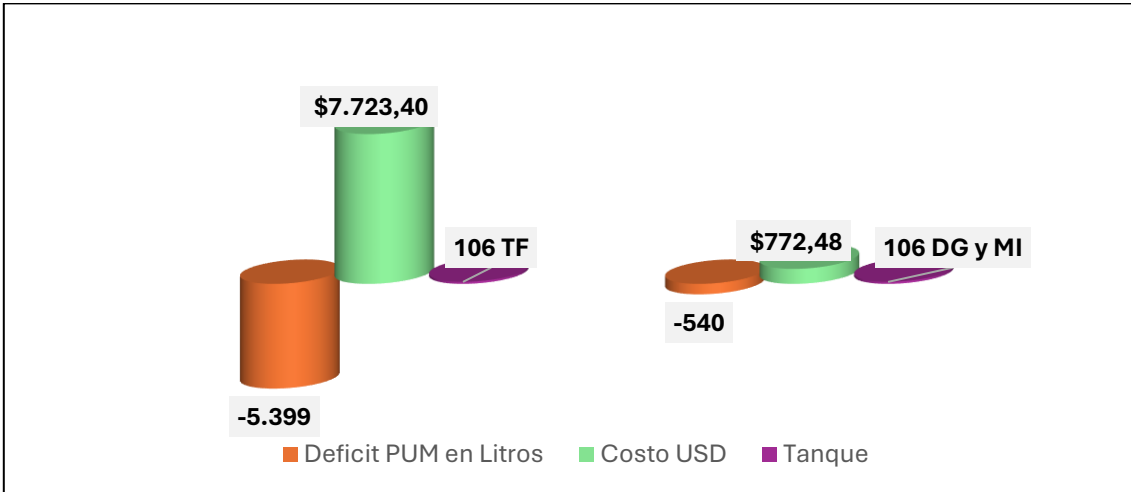
9.4 Reducción de las Diferencias PUM

Las diferencias PUM proyectan una reducción de 4.859 L/año, con un ahorro de USD 6.950,58.

Esta mejora se debe a la eliminación de las deformaciones del TF, las cuales provocaban discrepancias en los resultados al comparar las mediciones del sistema OMNI (2017) de la EBVM (PUM), con los datos obtenidos mediante los sistemas utilizados en TKs: Enraf Smart Servo 954 (Honeywell, s.f.) y TAS (Dearman Systems Inc., 2021). En la Figura 27 se muestra la comparación entre ambas configuraciones.

Figura 27

Detalle de reducción de diferencias PUM del TK 106

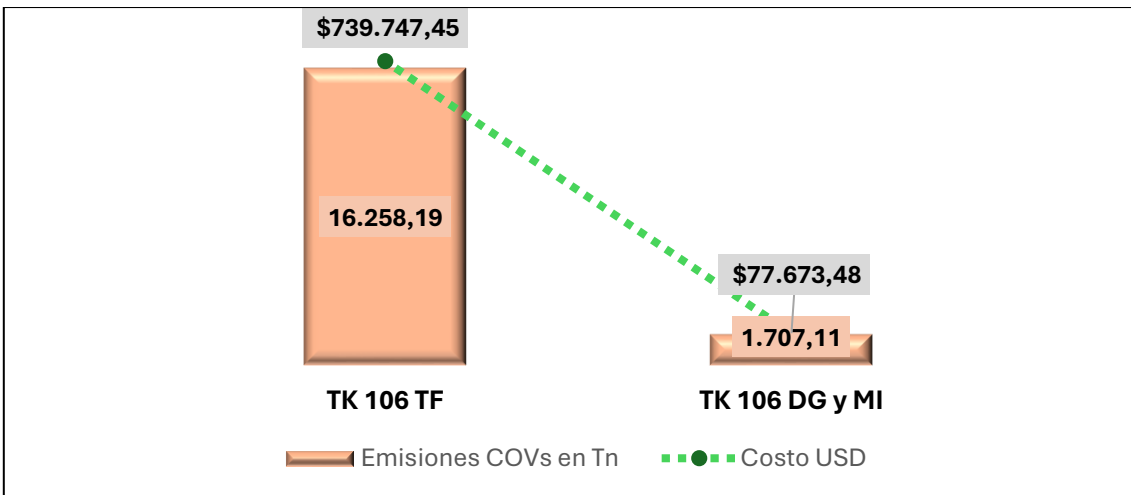


9.5 Reducción de Emisiones COVs

En relación con las emisiones de COVs, la estimación con DG y una MI representa una reducción de 14.551,08 toneladas por año (Tn/año) y un ahorro de USD 662.073,96. En la Figura 28 se presenta la información asociada entre ambas configuraciones.

Figura 28

Detalle de reducción de emisiones COVs del TK 106



9.6 Resumen de Ingresos de Caja en TVM

El análisis de los ingresos de caja por operaciones de nafta infinia en TVM se desarrolló con el propósito de calcular los KPIs financieros del PIN.

Los resultados se reflejan en la Tabla 6 a continuación:

Tabla 6

Resumen de ingresos por nafta infinia año 2022

Operación	Volumen (L)	Total en USD	% de la ganancia total
Recibido desde refinería LC	131.696.545	188.395.057,54	49,55 %
Bombeos al poliducto	62.512.151	89.425.127,17	23,52 %
Ventas a estaciones de servicio	71.582.118,00	102.399.931,90	26,93 %
Total	265.790.814	380.220.116,61	100%

9.7 Validación por Expertos

La validación del proyecto se llevó a cabo mediante el proceso de gestión del cambio (MOC), el cual garantiza la evaluación integral de toda modificación estructural con impacto técnico, operativo, ambiental y económico.

En este marco, el proyecto fue registrado como MOC N.º 21330, bajo la denominación "Inspección por Res. 785 TK 106 TDVM", correspondiente a la intervención del TK 106 de nafta infinia en la TVM, como se muestra en la Figura 29. La gestión del proyecto mediante la plataforma J5 Management of Change (Hexagon, s.f.) garantiza su verificación por parte de especialistas técnicos, operativos y ambientales.

De acuerdo con los procedimientos internos de la compañía, ninguna intervención se ejecuta sin esta validación previa.

Al momento de la redacción del PIN , la implementación presenta un avance del 70 %.

Figura 29

Imagen del sistema J5 (MOC)

The screenshot shows a web interface titled "Gestión del Cambio". It includes a "Filtros" section with buttons for "Visible", "Avanzado", and "Quitar Filtros". There are also dropdown menus for "Estado", "Nivel de Riesgo", "Duración", and "Prioridad". Below these are buttons for "Cambios vivos" and "Mis Acciones". The main content is a table with the following data:

	MoC #	Tipo de Cambio	Título	Etapas
	GEL-21-330	Ubicación Técnica	Inspección por Res 785/05 TK 106 TDVM	Implementación

Nota. Información interna de TVM.

10. Sostenibilidad

La sostenibilidad se establece como un principio rector en la formulación y ejecución del plan de intervención. En línea con las mejores prácticas actuales en la gestión de proyectos industriales, toda acción de mejora debe evaluarse considerando sus efectos económicos, sociales y ambientales. Este enfoque integral se alinea con las estrategias de sostenibilidad adoptadas en el sector petrolero, orientadas a equilibrar eficiencia operativa y responsabilidad ambiental y social (Inspenet, 2024b), así como con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos a nivel internacional (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

El PIN contempla la implementación de una solución técnica estructural orientada a mejorar el triple impacto: económico, social y ambiental.

La decisión de reemplazar el TF del TK 106 por un sistema compuesto por un DG y una MI se fundamenta en el diagnóstico técnico-operativo, donde se identificaron fallas estructurales, pérdidas por evaporación, emisiones COVs y discrepancias en la medición de volúmenes originadas por las deformaciones en el TF.

Desde la dimensión económica, la intervención proyectada buscó optimizar los costos operativos mediante la reducción de pérdidas de producto, la mejora en la precisión de inventarios y la disminución de desviaciones operativas, fortaleciendo así la sostenibilidad financiera de la instalación.

En el plano social, se prioriza la mejora de la seguridad, tanto para los trabajadores como para la infraestructura crítica, asegurando la continuidad operativa en condiciones óptimas.

En el ámbito ambiental, la intervención se orientó a una reducción significativa de las emisiones de COVs, en cumplimiento con los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA, 2024), reafirmando el compromiso con la protección del medio ambiente y la mitigación del impacto de las operaciones.

11. Conclusiones

El plan de intervención se basó en un análisis integral que contempló indicadores técnicos, operativos, de impacto y financieros vinculados a la sustitución del TF por un DG y una MI en el TK 106 de TVM. Este enfoque permitió evaluar la intervención según los principios del triple impacto: económico, social y ambiental.

En la Tabla 7 se presentan las principales mejoras observadas antes y después de la implementación, organizadas conforme a cada dimensión del triple impacto. La evaluación financiera específica se encuentra desarrollada en la Tabla 8, donde se detallan las métricas utilizadas para sustentar la viabilidad del proyecto.

11.1 Evaluación Comparativa de la Intervención del Tanque 106

A continuación, en la tabla 7 se detalla el análisis del triple impacto en el proyecto de intervención del TK 106. La representación gráfica correspondiente se muestra en el Anexo E.

Tabla 7
Métricas antes y después de la implementación

Variable	TK 106 TF (antes)	TK 106 DG y MI (después)	Mejora %	Triple Impacto	Ahorro USD
Déficit operativo (L/año)	101.732	10.173	90,00%	Económico	130.977,00
Diferencias PUM (L/año)	-5.399	-540	90,00%	Económico	6.950,58
Costos por posible fallas de mantenimiento anuales	120.000	50.000	58,33%	Económico	70.000,00
Emisiones COVs (Tn/año)	16.258,19	1.707,11	89,50%	Ambiental	662.073,96
Evaporación (L/año)	352.659	70.532	80,00%	Ambiental	403.589,42
Probabilidad de falla estructural grave	60,00%	1,00%	98,33%	Social	885.000,00
Probabilidad de colapso parcial o total	10,00%	1,00%	90,00%	Social	450.000,00

Variable	TK 106 TF (antes)	TK 106 DG y MI (después)	Mejora %	Triple Impacto	Ahorro USD
Cantidad de intervenciones de mantenimiento anuales sobre techo	3	0	100,00%	Social	90.000,00
Cantidad de trabajadores para mantenimiento expuestos a riesgos anualmente	12	0	100,00%	Social	120.000,00
Probabilidad de incendio por acumulación de COVs	35,00%	2,00%	94,29%	Social	825.000,00
Probabilidad de exposición por acumulación de gases inflamables	20,00%	1,00%	95,00%	Social	1.520.000,00
Total					5.163.590,96

11.2 Evaluación Financiera de la Inversión

En la tabla 8 se presentan los resultados del análisis financiero correspondiente al reemplazo del TF por un DG y una MI en el TK 106. El detalle de los cálculos realizados se encuentra en el Anexo A.

Tabla 8

Detalle de los KPIs aplicados

Métrica	Valor	Detalle	Importancia para la Inversión en TVM	Estándar de la Industria Petrolera
OPEX	USD 2.675.112,33	Costos operativos del TK 106 con TF	Representa el 0,7% de los ingresos, lo que muestra alta eficiencia	El estándar es 3-5% de los ingresos (Deloitte, 2022)
CAPEX	USD 3,082,423,16	Inversión inicial para instalar el DG y MI en el TK 106	Un Payback Period de 2,42 años reduce el riesgo financiero	Estándar 3-5 años (McKinsey & Company, 2023b)
ROI	167,51%	Genera 1,67 por cada USD invertido	El resultado asegura alta rentabilidad	Estándar 15-20% (Ross et al., 2019)
Payback Period	0,6 años	Período de retorno de la inversión	Recupera la inversión más rápido que el promedio de la industria	Estándar 3-5 años (Sokolov, 2023)
VAN	USD 29.480.179,82	Valor adicional generado en un horizonte de 10 años	Un VAN de 29 millones de USD, asegura rentabilidad	Un VAN > \$ 1 millón es atractivo (Damodaran, 2023)

Métrica	Valor	Detalle	Importancia para la Inversión en TVM	Estándar de la Industria Petrolera
TIR	167,46 %	Tasa de retorno superior al WACC del 9,4%	Es resultado es más de 18 veces el WACC, demostrando alta rentabilidad	Estándar 12 %-15% (Damodaran, 2023)
B/C	1,67	Por cada USD invertido, se recupera 1,67	Supera el punto de equilibrio de > 1	B/C > 1 es el valor ideal (Boardman et al., 2020)
Margen de Contribución	99,30%	Proporción de ingresos que queda después de cubrir los costos operativos	El resultado es alto, maximizando la utilidad disponible	Estándar > 50% (Horngren et al., 2021)
EBITDA	USD 377.545.004,28 = 99,29%	Ganancias antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones	El resultado es superior al estándar, debido a los bajos costos operativos	Estándar > 20% de los ingresos (Higgins, 2022)

11.3 Síntesis del Impacto Técnico, Operativo y Financiero de la Intervención

Los resultados de las Tablas 7 y 8 evidencian que la intervención en el TK 106 fue técnica, operativa y financieramente efectiva.

El ahorro total alcanzado fue de USD 5.163.590,96, con una distribución del 75 % en mejoras sociales, 21 % en impacto ambiental, y 4 % en beneficios económicos directos. Esta proporción demuestra que la solución implementada no solo resolvió las fallas estructurales, sino que también redujo drásticamente los riesgos operativos, la exposición a peligros del personal y las emisiones contaminantes.

Desde el punto de vista financiero, los indicadores clave reflejan una alta rentabilidad y bajo riesgo. La Tasa Interna de Retorno (TIR) fue de 167,46 %, el Payback Period se estimó en 0,6 años, y el Valor Actual Neto (VAN) alcanzó los USD 29.480.179,82. Estas métricas superan ampliamente los estándares del sector energético, lo que respalda la viabilidad técnica y económica de replicar esta intervención en contextos similares.

Se destaca que la nafta infinia es un recurso no renovable con alto valor económico, debido a su complejidad de refinación, exigencias de almacenamiento y su precio final al público. Las pérdidas por evaporación generan una merma directa de ingresos para la empresa, por lo que la implementación del DG y la MI en sustitución del TF en el TK 106, resultó estratégica para preservar el producto y mejorar la eficiencia operativa.

11.4 Recomendaciones

Con base en el análisis técnico, operativo y financiero realizado, se presentan las recomendaciones, orientadas a capitalizar los beneficios alcanzados en el TK 106, garantizar su sostenibilidad en el tiempo y evaluar su aplicación en otras instalaciones de almacenamiento, tanto a nivel nacional como internacional.

Se propone replicar esta intervención en TKs que operen con productos de alta volatilidad, presenten pérdidas operativas significativas o evidencien

deterioro estructural. Asimismo, se sugiere utilizar indicadores financieros como la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el período de recuperación (Payback Period) como criterios objetivos para la evaluación de futuras inversiones, en línea con estándares de eficiencia y rentabilidad del sector energético.

Al completarse al 100 % la intervención en el TK 106, se establecerá un plan de seguimiento, mediante la implementación de un sistema de gestión para el monitoreo técnico y operativo, con el fin de evaluar la efectividad del DG y la MI. Los indicadores seleccionados serán gestionados mediante los sistemas actualmente operativos en la TVM: PI Vision (AVEVA, s.f.), TAS (Dearman Systems Inc., 2021) y el módulo de mantenimiento de SAP (SAP SE, s.f.).

Estos indicadores fueron definidos por su capacidad para representar directamente los efectos de la intervención, por su vínculo con variables clave del triple impacto:

- Déficit operativo: relacionado con eficiencia económica, control de pérdidas y trazabilidad.
- Evaporación: asociada a conservación del producto y acumulación de vapores inflamables.
- Emisiones de COVs: vinculadas con el impacto ambiental, la seguridad operativa y la exposición a gases tóxicos para la salud.
- Diferencias PUM: reflejan precisión de medición y control de inventarios.
- Intervenciones estructurales sobre el DG y la MI: asociadas a la integridad del TK, la seguridad del personal y la continuidad del servicio.

En la Tabla 9 se presentan los valores de referencia, umbrales de alerta, software de seguimiento y sectores responsables definidos para este monitoreo.

Tabla 9
Indicadores de seguimiento de gestión del TK 106 con DG y MI

Indicador	Valor esperado luego de la intervención	Valor fuera de tolerancia (alerta)	Software para seguimiento	Sector responsable
Déficit operativo (L/año)	≤ 10.173 L	> 15.000 L	TAS y PI Vision	Operaciones
Evaporación de nafta Infinia (L/año).	≤ 70.532 L	> 100.000 L	PI Vision	Operaciones
Emisiones de COVs (Tn/año)	$\leq 1.707,11$ Tn	> 2.500 Tn	PI Vision	Operaciones y Medioambiente
Diferencias PUM (L/año)	≤ 540 L	> 1.000 L	TAS y PI Vision	Operaciones
Intervenciones de mantenimiento estructural sobre DG y MI (anual)	0 a 1	≥ 2	SAP (módulo de avisos de mantenimiento)	Mantenimiento

11.5 Incorporación de Tecnologías Complementarias

Como valor agregado, se recomienda incorporar tecnologías que mejoren la precisión operativa y anticipen posibles fallas estructurales.

A continuación, en la Tabla 10, se presentan tres propuestas complementarias aplicables a recipientes con características similares al TK 106.

Tabla 10

Detalle de propuestas

Propuesta	Costo USD	Mejoras técnicas	Impacto operativo	Fuente técnica
Reemplazo del sistema de telemedición de TKs Enraf Servo 954, por Honeywell SmartRadar FlexLine 990	8.000 a 10.000	Pasa de medición con platillo sobre el líquido (error en ± 1 mm) a radar sin contacto (error en $\pm 0,3$ mm)	Mejora la gestión de inventarios, reduce pérdidas de producto, facilita mantenimiento predictivo	Honeywell International Inc. (2023)
Incorporación de drones térmicos para inspección de techos de TKs	5.000 a 7.000	Inspección aérea de zonas de riesgo, detección de anomalías térmicas y deformaciones, registro visual en alta resolución	Aumenta la eficiencia de las inspecciones, mejora la seguridad laboral, detecta fallas tempranas	DJI Technology Co., Ltd. (2024)
Implementación de Gemelo Digital (Digital Twin) para TKs.	20.000 a 50.000	Monitoreo estructural en tiempo real, simulaciones predictivas de fallas, soporte avanzado para mantenimiento y operaciones	Optimiza la planificación de mantenimiento, anticipa fallas, incrementa la vida útil del TK	Toobler Technologies (2023); AVEVA Group plc (2023)

12. Referencias

- Abawari, A. M. (2024). The effects of organizational culture on change: unfreeze, change and refreeze as stages of organizational change management. *Cogent Business & Management*. <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2375623>
- Accenture. (2023). *Innovación en el transporte de combustibles - YPF*. <https://www.accenture.com/ar-es/case-studies/energy/fueling-transportation-innovation>
- Academia.edu. (2021). *Tanques de almacenamiento de hidrocarburos*. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de https://www.academia.edu/28160894/Tanques_de_Almacenamiento_de_HidrocarburosAcademia+2Academia+2Academia+2
- AVEVA Group plc. (2023). *Digital Twin Software and Solutions*. <https://www.aveva.com/en/solutions/digital-transformation/digital-twin/>
- AVEVA. (s.f.). *PI Vision overview*. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://docs.aveva.com/category/pi-vision>
- American Petroleum Institute. (2005). *Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 5.3: Measurement of liquid hydrocarbons by turbine meters* (5th ed.). <https://standards.globalspec.com/std/10069019/api-mpms-5-3>

American Petroleum Institute. (2014). *Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction* (API Standard 653, 5th.ed.).<https://tajhizkala.ir/doc/API/API%20S%20653%20-%202014.pdf>

American Petroleum Institute. (2019). *Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 11.1: Temperature and pressure volume correction factors for generalized crude oils, refined products, and lubricating oils* (2nd ed).<https://www.bsbedge.com/standard/addendum-2-to-temperature-and-pressure-volume-correction-factors-for-generalized-crude-oils-refined-products-and-lubricating-oils/ADDENDUM2APIMPMSChapter11.1>

American Petroleum Institute. (2020). *API Standard 650: Welded Tanks for Oil Storage* (13th ed.).<https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard650inspectioneering.com+2API> | American Petroleum Institute+2API | American Petroleum Institute+2

American Petroleum Institute. (2021). *Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 3.1B: Level measurement of liquid hydrocarbons in stationary tanks by automatic tank gauging* (4th ed.).<https://www.normsplash.com/Samples/API/134334794/API-MPMS-3.1B-2021-en.pdf>

Banco Central de la República Argentina.(2024a).*Tipos de cambio*.https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Tipos_de_cambios.asp

- Banco Central de la República Argentina.(2024b). *Informe de Objetivos y Planes 2024*. <https://www.bcra.gob.ar/Noticias/objetivos-y-planes-2024.asp>
- Banco Central de la República Argentina. (2024c). *Cotización oficial del dólar estadounidense*. https://www.bcra.gob.arhttps://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Tipos_de_cambios.asp
- Banco Mundial. (2022). *State and Trends of Carbon Pricing 2022*.<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a1abea4d2-de91-5992-bb7a-73d8aaaf767f>
- Becht. (2024). *Preventing Catastrophe: Best Practices for Maintaining External Floating Roofs (EFRs) on Storage Tanks*.<https://becht.com/becht-blog/entry/preventing-catastrophe-best-practices-for-maintaining-external-floating-roofs-efrs-on-storage-tanks/>
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2020). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice* (5th ed.). Cambridge University Press.
- British Business Bank. (2023). *What is EBITDA? A brief guide for small businesses*.<https://www.british-business-bank.co.uk/business-guidance/guidance-articles/finance/what-is-ebitda>
- Center Enamel. (2025). *Aluminum Geodesic Dome Roof for Storage Tanks*. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://www.cectank.com/aluminum-geodesic-domes-roof-for-storage-tanks>

- Chin, Y. (2022). *Design and Maintenance of Floating Roof Tanks*. Journal of Petroleum Engineering, 45(3), 123–135.
- Congreso de la Nación Argentina. (2002). *Ley General del Ambiente n.º 25.675*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25675-79980/texto>
- Corporate Finance Institute. (2023a). *Net present value (NPV)*. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/net-present-value-npv/>
- Corporate Finance Institute. (2023b). *Benefit-cost ratio (BCR)*. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/accounting/benefit-cost-ratio-bcr/>
- Cummings, T. G., y Worley, C. G. (2020). *Organization development and change* (11.ª ed.). Cengage Learning. Recuperado el 5 de mayo de 2025, de <https://www.researchgate.net/publication/343582832>
- Damodaran, A. (2023). *Applied corporate finance* (5th ed.).
- Dearman Systems Inc. (2021). *Terminal Automation System (TAS)*. <https://www.dearmansystems.com>
- Det-Tronics. (2020). *Storage Tanks Applications*. <https://www.det-tronics.com/applications/storage-tanks>
- Deloitte. (2022). *2022 Oil and Gas Industry Outlook*. Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/oil-and-gas-industry-outlook.html>

DJI Technology Co., Ltd. (2024). *DJI Matrice 30T – Enterprise drone series*. <https://www.dji.com/matrice-30>

Emerson. (2021). *Guía del ingeniero para la medición de tanques*. <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EF%BF%BDa-la-gu%EF%BF%BDa-de-inicio-r%EF%BF%BDpido-del-ingeniero-para-la-medici%EF%BF%BDn-de-tanques-rosemount-es-es-4261176.pdf>

European Environment Agency. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: 1.B.2.a.v Fugitive emissions from liquid storage tanks*. <https://www.eea.europa.eu/en/publications/emep-eea-guidebook-2023>

Environmental Protection Agency. (2009). *Consent Decree: Rocky Mountain Pipeline System, LLC—installation of geodesic dome on Tank 17.9 at Dupont terminal, Commerce City, Colorado*. <https://www.epa.gov/enforcement/rocky-mountain-pipeline-clean-air-act-settlement>

Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Final revisions to AP-42 Chapter 7, Section 1 – Organic liquid storage tanks*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/final-revisions-ap-42-chapter-7-section-1-organic-liquid>

EPCM Holdings. (2020). *Geodesic Domes: Where Architecture and Industrial Bulk Storage Meet*. <https://epcmholdings.com/geodesic-domes-where-architecture-and-industrial-bulk-storage-meet/epcmholdings.com>

Formación Industrial - Centro Formativo. (2024). *¿Cómo funciona un techo flotante?* [Video]. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://www.linkedin.com/in/formacion-industrial/>

Fortinet. (s.f.). *What is SCADA and SCADA system?* Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/scada-and-scada-systems>

Geodestinos San Luis. (s.f.). *YPF – Terminal Villa Mercedes, San Luis.* Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://sanluis.geodestinos.ar/cat/fabricas-e-industrias/item/1293-ypf-terminal-villa-mercedes>

Herrity, J. (2025). *How to write SMART goals in 5 steps (with examples).* <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/how-to-write-smart-goals>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hexagon. (s.f.). *j5 Management of Change.* Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://hexagon.com/products/j5-management-of-change>

Higgins, R. C. (2022). *Analysis for financial management* (12th ed.). McGraw-Hill Education.

Honeywell. (s.f.). *Enraf tank gauging.* Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://process.honeywell.com/us/en/products/terminals/enraf-tank-gauging>

- Honeywell International Inc. (2023). *Enraf Flexline Radar 990*. <https://process.honeywell.com/us/en/products/terminals/enraf-tank-gauging/enraf-flexline-radar-990>
- Hornngren, C. T., Sundem, G. L., & Stratton, W. O. (2021). *Introduction to management accounting* (17th ed.). Pearson.
- Inspenet. (2024a). *Control de emisiones en tanques de almacenamiento*. <https://inspenet.com/articulo/emisiones-en-tanques-de-almacenamiento/Inspenet+1Inspenet+1>
- Inspenet. (2024b). *Estrategias de sostenibilidad en la industria petrolera*. <https://inspenet.com/articulo/sostenibilidad-en-las-empresas-petroleras/>
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. (2022). *Práctica recomendada IAPG-SC-31-2022-00: Medidas patrón de volumen: Diseño y calibración*. <https://www.iapg.org.ar/practicasrecomendadas/PR%20IAPG-SC-31-2022-00.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2025a). *Índice de precios al consumidor (IPC): Abril 2025*. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel3-Tema-3-5>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025b). *Índice de precios al consumidor (IPC). Variaciones acumuladas interanuales*. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-5-31>
- International Energy Agency. (2024). *Oil Market Report – December 2024*. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-december-2024>

Investopedia. (2024a). *Operating expense (OpEx) definition and examples*.
https://www.investopedia.com/terms/o/operating_expense.asp

Investopedia. (2024b). *Capital expenditure (CapEx) definition, formula, and examples*.<https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>

Investopedia. (2024c). *Return on investment (ROI): Meaning and calculation formulas*.<https://www.investopedia.com/articles/basics/10/guide-to-calculating-roi.asp>

Investopedia. (2024d). *Payback period: Definition, formula, and calculation*.<https://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>

Investopedia. (2024e). *Internal rate of return (IRR)*.
<https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>

Investopedia. (2024f). *Contribution margin: Definition, overview, and how to calculate*.<https://www.investopedia.com/terms/c/contributionmargin.asp>

Mangushev, R., & Sotnikov, S. (2020). Comparison of deformations of the large floating-roof tanks with the results of long-term monitoring. *E3S Web of Conferences*, 164, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401022>

Maxwell Tanks. (2024). *Alu Geodesic Dome Roofs*. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://maxwelltanks.com/domed-floating-roof-tank/alu-geodesic-dome-roofs/tfwarren.com+10maxwelltanks.com+10cectank.com+10>

McKinsey & Company. (2023a). *Global Energy Perspective 2023*.<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/global-energy-perspective>

McKinsey & Company. (2023b). *The AI-enabled utility: Rewiring to win in the energy transition*. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-ai-enabled-utility-rewiring-to-win-in-the-energy-transition>

Microsoft. (2021). *Key performance indicator (KPI) visuals in Power BI*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/visuals/power-bi-visualization-kpi>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.(2018). *Decreto N° 779/95 Emisión de gases contaminantes*. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/186016/20180621>

Nogueira, E., Gomes, S., & Lopes, J. M. (2025). Unveiling triple bottom line's influence on business performance.

Occupational Safety and Health Administration. (2022). *Major Work Activities for Tank Cleaning Operations*. <https://www.osha.gov/storage-tanks/work-activities>

OMNI Flow Computers, Inc. (2017). *OMNI 6000 User Manual*. <https://www.omniflow.com/omni-6000-flow-computer/>

Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Pew Research Center. (2021). *Contending with the 80/20 rule when studying online behavior*.

<https://www.pewresearch.org/decoded/2021/02/contending-with-the-80-20-rule-when-studying-online-behavior/>

Predictiva21.(2022). *Proceso de evaporación de petróleo y sus derivados en tanques de almacenamiento*.<https://predictiva21.com/proceso-de-evaporacion-de-petroleo-y-sus-derivados-en-tanques-de-almacenamiento/predictiva21.com>

Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (7ª ed.)*. Project Management Institute.

Ramírez Salazar, M. P. (2020). *MIIGO: Modelo de innovación e intervención para la gestión de organizaciones: innovación, tecnología y conocimiento*. Universidad EAN. [https://www.researchgate.net/publication/340130063_MIIGO?Modelo de innovacion e intervencion para la gestion de organizaciones Innovacion tecnologia y conocimiento](https://www.researchgate.net/publication/340130063_MIIGO?Modelo+de+innovacion+e+intervencion+para+la+gestion+de+organizaciones+Innovacion+tecnologia+y+conocimiento)

Ramirez, E. (2024). *Tanque de techo flotante* [Video]. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de <https://www.linkedin.com/in/ramirez/>

REM - Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis. (2022). *Datos meteorológicos anuales para Villa Mercedes*. <https://clima.sanluis.gov.ar>

República Argentina.(1972). *Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo*.<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-19587-17612>

- República Argentina.(1991). *Ley 24.051 de Residuos Peligrosos*.<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24051-450>
- República Argentina.(2002). *Ley 25.675 de Política Ambiental Nacional (Ley General del Ambiente)*.<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25675-79980>
- República Argentina.(2009). Ley 26.562. Presupuestos mínimos de protección ambiental para el control de actividades de quema. República Argentina. 2009. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26562-161547>
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2019). *Corporate finance* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- SAP SE. (s.f.). *Maintenance Notifications (PM-WOC-MN)*. Recuperado el 5 de mayo de 2025 de https://help.sap.com/doc/saphelp_nw70/7.0.12/ja-JP/3c/abc466413911d1893d0000e8323c4f/content.htm
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2003). *Resolución 295/03: Regulación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/32030/dto351-1979-anexo3/htmArgentina.gob.ar+1Argentina.gob.ar+1>
- Secretaría de Energía. (2005). *Resolución 785/2005: Programa Nacional de Control de Pérdidas de Tanques Aéreos de Almacenamiento de Hidrocarburos y sus Derivados*. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/resolucion-se-7852005>

Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. (1993). *Resolución 831/93: Emisiones gaseosas a la atmósfera*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-831-1993-12830/actualizacion>

Sokolov, M. V. (2023). *NPV, IRR, PI, PP, and DPP: A unified view*. *arXiv preprint arXiv:2302.02875*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2302.02875>

Spain, E., LeBeouf, M., y Cook, J. (2022). Using a case study to teach leaders how to enact positive organizational change. *Journal of Leadership Education*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.12806/V21/I1/A2>

Toobler Technologies. (s.f.). *Digital Twin in Oil and Gas: Use Cases and Benefits*. Recuperado de <https://www.toobler.com/blog/digital-twin-oil-and-gas>

Tseng, M.-L., Chang, C.-H., Lin, C.-W. R., Wu, K.-J., Chen, Q., Xia, L., & Xue, B. (2020). Future trends and guidance for the triple bottom line and sustainability: A data-driven bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 33543–33567. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09284-0>

U.S. Department of Energy. (2021). *Vapor recovery systems in petroleum storage and distribution*. <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/vapor-recovery-systems-petroleum-storage-and-distribution>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2020). *Medición estática de tanques de almacenamiento* [Tesis de licenciatura]. Recuperado de <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000735926/3/0735926.pdf>

Yang, Y., Zhang, J., Liu, H., Wang, X., & Chen, W. (2025). Real-time monitoring-based stability analysis of an extra-large tank: Buckling deformation study. *Sensors*, 25(8), 2498. <https://doi.org/10.3390/s25082498>

YPF S.A. (2019). *Ficha de datos de seguridad: Nafta Infinia*. Recuperado de <https://www.ypf.com/LaCompania/Paginas/Fichas-de-seguridad.asp>

YPF S.A. (2023). *Transporte - Productos y servicios*. Recuperado de <https://productos-y-servicios.ypf.com/Transporte.html>

YPF. (2024). *Precios en surtidores*. Recuperado de <https://www.ypf.com/Paginas/Home.aspx>

13. Apartados de Anexos

Anexo A

Detalles de la Evaluación Financiera de la Inversión

1) Valor del OPEX:

- USD 2.675.112,33

2) Valor del CAPEX:

- USD 3.082.423,16

3) Desarrollo del ROI

Datos utilizados en USD:

- CAPEX : \$3.082.423,16.
- Ahorros anuales: \$5.163.590,96.

$$\text{ROI} = \frac{5.163.590,86}{3.082.423,16} \times 100 = 167,51 \%$$

4) Desarrollo del Período de Retorno (Payback Period)

Datos utilizados en USD:

- CAPEX : \$3.082.423,16.
- Ahorros anuales: \$5.163.590,96.

$$\text{Payback Period} = \frac{3.082.423,16}{5.163.590,96} = 0,6 \text{ Años.}$$

5) Desarrollo del Valor Actual Neto (VAN)

Datos utilizados en USD:

- Ahorros anuales: \$5.163.590,96
- CAPEX : \$3.082.423,16.
- Tasa de descuento (WACC-Costo promedio ponderado de capital):

9,4 % es el promedio aproximado del sector petrolero Internacional (Damodaran, 2023).

- Horizonte temporal : 10 años.
- Desglose de flujos de caja:

- ✓ Año 1: 4.719.918,61.
- ✓ Año 2: 4.314.368,02.
- ✓ Año 3: 3.943.663,64.
- ✓ Año 4: 3.604.811,37.
- ✓ Año 5: 3.295.074,38.
- ✓ Año 6: 3.011.950,98.
- ✓ Año 7: 2.753.154,46.
- ✓ Año 8: 2.516.594,57.
- ✓ Año 9: 2.300.360,67.
- ✓ Año 10: 2.102.706,28.

Suma total de flujos de caja : \$32.562.602,98.

$$\text{VAN} = 32.562.602,98 - 3.082.423,16 = \$29.480.179,82.$$

6) Desarrollo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Datos utilizados en USD:

- Ahorros anuales: \$5.163.590,96
- CAPEX : \$3.082.423,16.
- Período de análisis : 10 años.
- Tasa de descuento (WACC): 9,4 % es el promedio aproximado del sector petrolero Internacional (Damodaran, 2023).

$$\text{TIR} = 167,46 \%$$

7) Desarrollo del Índice Beneficio-Costo (B/C)

Datos utilizados en USD:

- Ahorros anuales: \$5.163.590,96.
- CAPEX : \$3.082.423,16.

$$\text{B/C} = \frac{1.273.591,91}{3.082.423,16} = 1,67.$$

8) Desarrollo de Margen de Contribución

Datos utilizados en USD:

- Ganancias totales: \$380.220.116,61.
- OPEX: \$2.675.112,33.

$$\text{Margen de Contribución} = \frac{(380.220.116,61 - 2.675.112,33)}{380.220.116,61} \times 100 = 99,30 \%$$

9) Desarrollo del EBITDA

Datos utilizados en USD:

- Ganancias totales: \$380.220.116,61.
- OPEX: \$2.675.112,33.

$$\text{EBITDA} = 380.220.116,61 - 2.675.112,33 = \$ 377.545.004,28.$$

Anexo B**Estadísticas Climáticas de Villa Mercedes (San Luis, Argentina)**

Fuente : Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis del Año 2022
(REM, 2022).

Mes	Precipitaciones en mm	Temperatura máxima en °C.	Temperatura mínima en °C.
Enero	141,9	40,9	10,5
Febrero	49,3	35	6,3
Marzo	26,8	35,5	-1
Abril	24,7	32,6	-1,9
Mayo	0,8	27,6	-6,1
Junio	0,9	24,7	-5,5
Julio	3,5	24,8	-4
Agosto	23,9	27,9	-5,3
Septiembre	21,1	32,4	-2,4
Octubre	25	35,2	0,1
Noviembre	83,6	39,3	2,3
Diciembre	39,6	40	8,9
Total	441,1	32,99	0,16
	(Suma)	(Promedio)	(Promedio)

Anexo C

Cálculos Comparativos del Triple Impacto

Variable	Fórmula usada	Resultado (USD)
Déficit Operativo (L)	$((101732 - 10173) \times 1,43 \text{ USD/L})$	130.977,00
Diferencias PUM (L)	$((-5399 - (-540)) \times 1,43 \text{ USD/L})$	6.950,58
Costos de mantenimiento anual (USD)	$(120000 - 50000)$	70.000,00
Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (Toneladas)	$((16258,19 - 1707,11) \times 45,5 \text{ USD/Tn})$	662.073,96
Evaporación de nafta infinia (L)	$((352659 - 70532) \times 1,43 \text{ USD/L})$	403.589,42
Probabilidad de falla estructural grave	$(5.000.000 \times (60\% - 1\%))$	885.000,00
Probabilidad de colapso parcial o total	$(5.000.000 \times (10\% - 1\%))$	450.000,00

Variable	Fórmula usada	Resultado (USD)
Cantidad de intervenciones de mantenimiento anuales	$(120000 \times (3 - 0)/3)$	90.000,00
Cantidad de trabajadores expuestos a riesgos anualmente	$(120000 \times (12 - 0)/12)$	120.000,00
Probabilidad de incendio por acumulación de compuestos inflamables	$(5.000.000 \times (35\% - 2\%))$	825.000,00
Probabilidad de explosión por acumulación de gases inflamables	$(5.000.000 \times (20\% - 1\%))$	1.520.000,00
Total ahorro		5.163.590,96

Anexo D

Funcionamiento de un TK con DG y MI



Nota. Formación Industrial - Centro Formativo (2024).

¿Cómo funciona un techo flotante? [video]. LinkedIn.

[Formación Industrial - Centro Formativo en LinkedIn: #tanques #api650 #techos #flotantes #planos #pid #pfd #drawing #asme #pipe...](#)

Anexo E

Gráfico de Ahorros en Litros por la Implementación

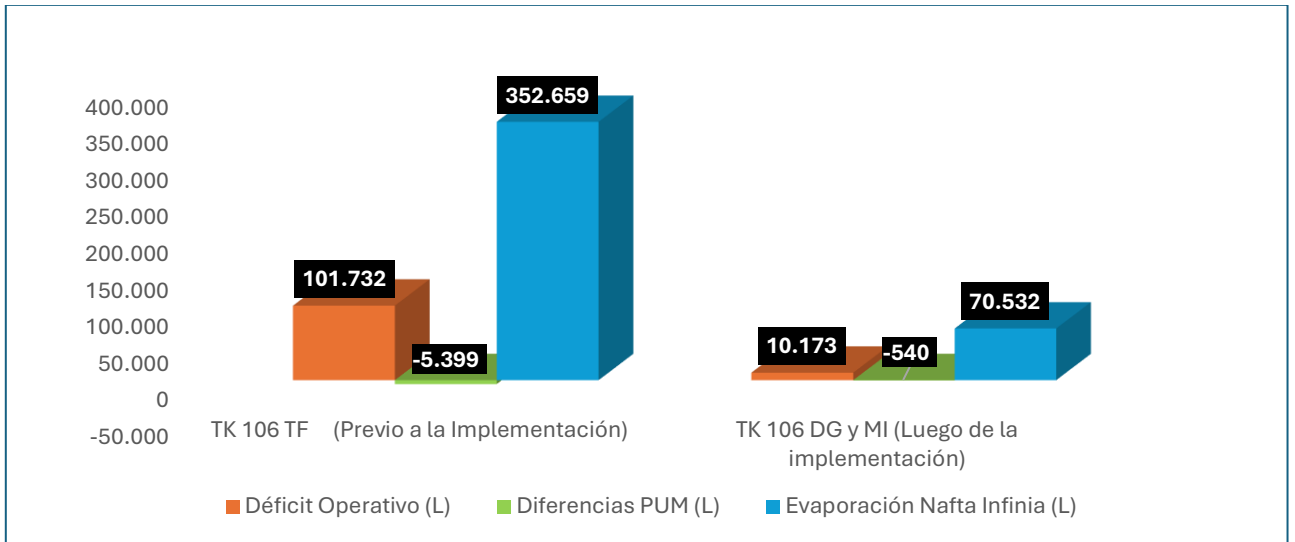


Gráfico de Reducción de emisiones COVs por la Implementación

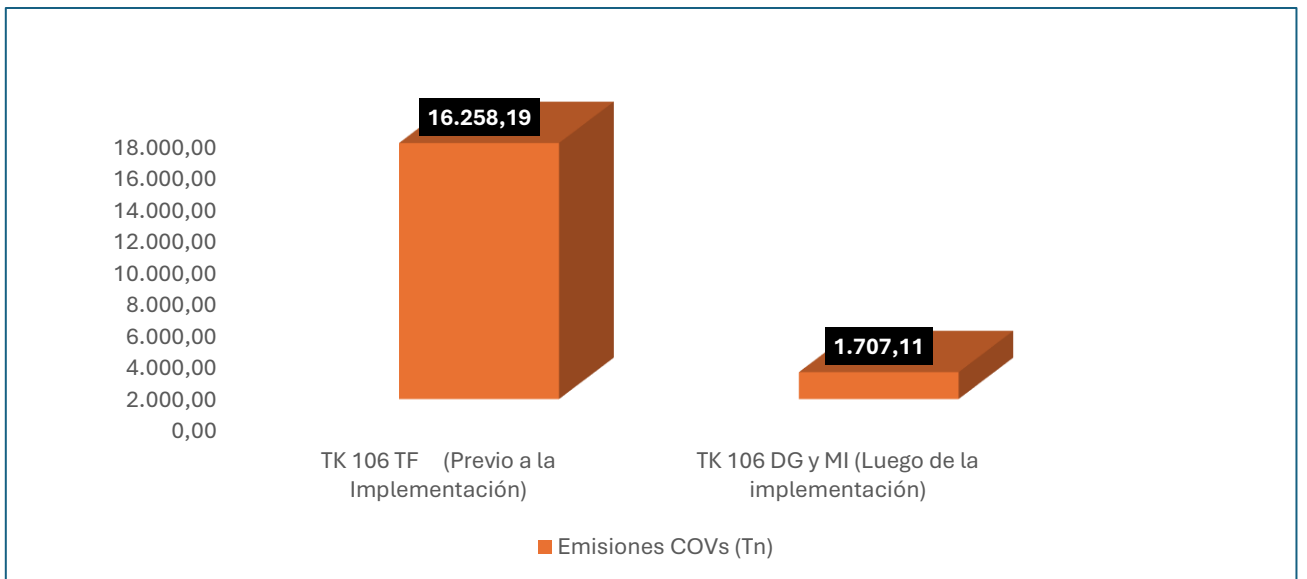


Gráfico de Mejoras en el Impacto Social

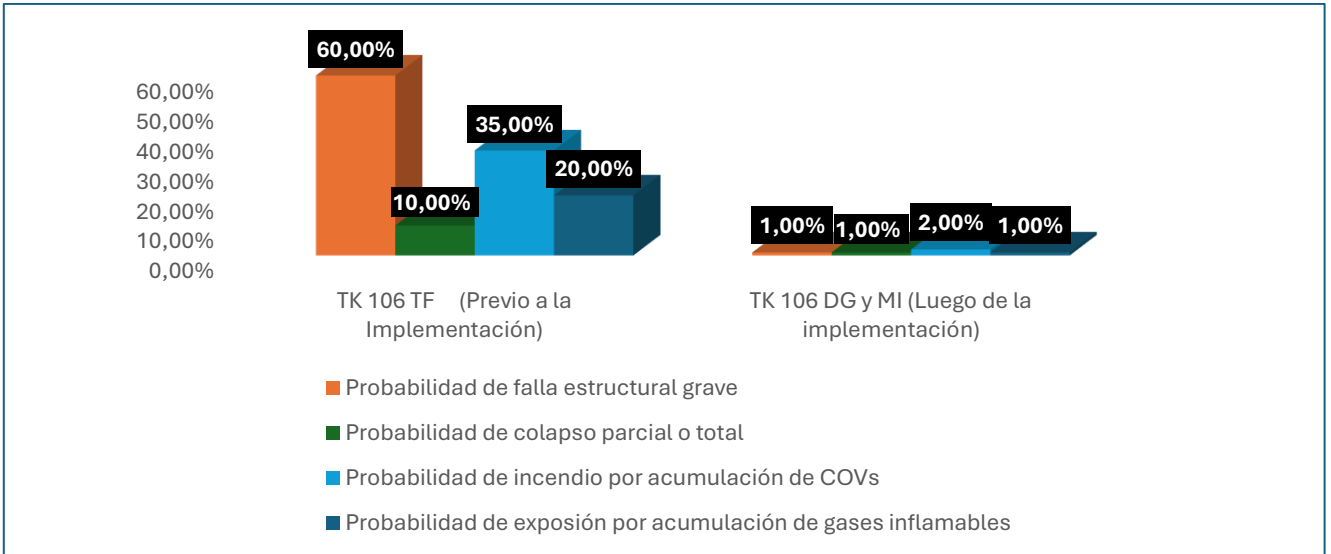


Gráfico de Resumen de Mejoras en Valor %

