

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

**CENTRO DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ESTUDIO TÉCNICO DEL MÉTODO RCM, APLICADO AL
TANQUE TK-302 DE GASOLINA ESPECIAL DE LA PLANTA
SAN PEDRO - ORURO**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS**

GABRIELA SAAVEDRA ARANCIBIA

**Sucre – Bolivia
2024**

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.



Gabriela Saavedra Arancibia

Sucre, mayo de 2024

DEDICATORIA

La presente monografía va dedicada con todo mi amor y cariño

A mi amado esposo Martin Muñoz Ch. que ha sido el impulso durante mi carrera y el pilar principal para la culminación de la misma, que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido amigo y compañero inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento.

A mí amado hijo Rodrigo por ser mi fuente de motivación para poder superarme cada día más que con su luz ha iluminado mi vida y hace mi camino más claro.

A mis padres que con su amor y enseñanza han sembrado las virtudes que se necesitan para vivir con anhelo y felicidad.

Gabriela Saavedra Arancibia.

AGRADECIMIENTOS

La presente monografía va dedicada con todo mi amor y cariño

A dios todo poderoso por darme la bendición cada día la vida, la salud y las fuerzas para luchar por esta meta de vida.

A mi familia por estar ahí en los momentos difíciles que tuve que pasar en este trayecto y que siempre me motivaron a seguir adelante.

Gracias...

RESUMEN

La monografía tiene como objetivo el Estudio Técnico del Método RCM Aplicado al Tanque TK-302 de Gasolina Especial de la Planta San Pedro – Oruro. Donde se analizan las funciones esenciales del tanque TK-302 y posibles fallas, con el propósito de mejorar la calidad y eficiencia del mismo de esta forma reducir consecuencias que generan fallos en los equipos y accesorios brindando seguridad, calidad a los operadores y usuarios. La metodología adoptada sigue un enfoque positivista, utilizando investigación descriptiva y observación directa, junto con métodos bibliográficos y técnicas documentales y de campo. Adquiriendo un enfoque de investigación cuantitativo ya que se realizará la recopilación de datos históricos, técnicos y análisis de la información que se obtiene de la empresa operadora, con el objetivo de interpretar la información, en base al uso de números y cifras. Donde los resultados revelan que el mantenimiento preventivo mediante RCM puede reducir hasta un 60% las fallas en equipos y accesorios, mientras que el mantenimiento a condición puede aumentar hasta un 40%, debido a la presencia de mantenimientos no planificados. Y se puede concluir con una propuesta de procedimiento específico de RCM para el tanque TK-302, destinado a mejorar su calidad y eficiencia operativa, garantizando así la seguridad y la calidad para operadores y usuarios.

Palabras claves: Mantenimiento, Seguridad, Calidad, Fallas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.2 Formulación del problema.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3.1 Justificación técnica	5
1.3.2 Justificación económica	6
1.3.3 Justificación social	6
1.4 METODOLOGÍA	6
1.4.1 Paradigma de investigación	6
1.4.2 Tipo de investigación	7
1.4.3 Diseño de investigación	7
1.4.4 Métodos de investigación.....	7
1.4.5 Técnicas e instrumentos	7
CAPITULO II: DESARROLLO	8
2.1 MARCO TEÓRICO	8
2.1.1 Marco conceptual.....	8
2.1.1.1 Planta de almacenaje de combustible líquidos.....	8
2.1.1.2 Proceso planta de almacenaje de combustible líquidos	9
2.1.1.3 Tanques de almacenamiento de hidrocarburos.....	9

2.1.1.4 Tanque según su diseño.....	10
2.1.1.5 Tanque según su forma	11
2.1.1.6 Tanque según su producto almacenado	12
2.1.1.7 Tanques de almacenamiento por tipos de materiales de construcción.....	13
2.1.1.8 Riesgos de los tanques de almacenamiento	14
2.1.1.9 Componentes y equipos de un tanque de acero	15
2.1.1.10 Almacenamientos de combustibles líquidos.....	20
2.1.1.11 Gasolina especial.....	21
2.1.1.12 Diésel	21
2.1.1.13 Queroseno	22
2.1.1.14 Método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	22
2.1.1.15 Principios del método RCM.....	23
2.1.1.16 Proceso del método RCM	24
2.1.1.17 Aplicaciones del método RCM	25
2.1.1.18 Ventajas y desventajas del método RCM.....	26
2.1.1.19 Marco normativo para construcción, inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos.....	27
2.1.1.20 Reglamentos técnicos y normas en Bolivia para para construcción, inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos	28
2.1.1.21 Marco normativo del método RCM.....	29
2.1.1.22 Norma ISO 45001	29
2.1.2 Marco contextual.....	30
2.1.2.1 Descripción de las plantas de almacenaje de combustibles líquidos en Bolivia.....	30
2.1.2.2 Información de las plantas de San Pedro – Oruro.....	31
2.1.2.3 Análisis del sistema operativo actual de la Planta San Pedro en la ciudad de Oruro.	33

2.1.2.4 Descripción de las fallas críticas en el tanque TK-302 de la planta de San Pedro.....	36
2.1.2.5 Desnivel en el terreno	37
2.1.2.6 Defectos en uniones soldadas de planchas	38
2.1.2.7 Crecimiento microbiano e incrustaciones	38
2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.....	39
2.2.1 Información general del Tanque TK - 302	39
2.2.2 Característica técnica del combustible almacenado Tanque TK - 302	41
2.2.3 Procedimientos del método RCM adaptados a las necesidades y características del tanque TK-302, estableciendo estrategias de mantenimiento.	42
2.2.3.1 Definir las funciones operacionales.....	43
2.2.3.2 Fallos funcionales	43
2.2.3.3 Modo de fallo	45
2.2.3.4 Efecto de falla	46
2.2.3.5 Consecuencias de las fallas.....	47
2.2.3.6 Análisis de criticidad.....	48
2.2.3.7 Tareas proactivas	49
2.2.3.8 Plan de mantenimiento para un tanque utilizando el método RCM	50
2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	52
CAPITULO III: CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de causa y efecto.	4
Figura 2: Almacenaje de Gasolina Especial.....	8
Figura 3: Proceso de almacenaje de hidrocarburos líquidos.	9
Figura 4: Tanque de almacenamiento de hidrocarburos.	10
Figura 5: Tanque cilíndrico YPFB.	11
Figura 6: Tanques esféricos.....	11
Figura 7: Color de la gasolina especial.	12
Figura 8: Tanques de almacenamiento de acero.	13
Figura 9: Inspección de limpieza en tanques	15
Figura 10: Fondo un tanque de almacenamiento en construcción.	15
Figura 11: Techo del Tanque.	16
Figura 12: Cuerpo del Tanque.	16
Figura 13: Fundación termina de un tanque.....	17
Figura 14: Válvulas de venteo instaladas.....	17
Figura 15: Inspección del tanque atravez del Orificio.....	18
Figura 16: Conexiones de entrada y salida instaladas en un tanque.....	18
Figura 17: Puerta de limpieza de un tanque de almacenamiento.....	19
Figura 18: Trabajos de soldadura en el sumidero del tanque.....	19
Figura 19: Escaleras del tanque.	20
Figura 20: La gasolina especial.	21

Figura 21: Diesel combustible líquido.	21
Figura 22: Queroseno combustible líquido.	22
Figura 23: Tipos de mantenimientos del método RCM.	23
Figura 24: Ventajas del método RCM.	27
Figura 25: Localización Planta San Pedro – Oruro.	31
Figura 26: Planta San Pedro departamento de Oruro.	31
Figura 27: Tanques con corrosión en la Planta San Pedro.	35
Figura 28: Corrosión uniforme en el techo de los tanques.	35
Figura 29: Diagrama de bloques de las fallas críticas en el tanque TK-302.	36
Figura 30: Desnivel del terreno en tanque TK – 302	37
Figura 31: Fondo del tanque desnivelado	37
Figura 32: Defecto en los cordones de la soldadura en el Tanque.....	38
Figura 33: Crecimiento microbiano en el TK – 302	38
Figura 34: Planta San Pedro – Oruro.....	40
Figura 35: Diagrama de bloques del estudio del RCM.	42
Figura 36: Componentes de fallos funcionales.....	44
Figura 37: Modo de fallo de los componentes.....	45
Figura 38: Propuesta de formulario de inspección tanque TK – 302.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de colores de combustibles.	12
Tabla 2: Riesgos de los tanques de almacenamiento.	14
Tabla 3: Pasos adicionales para el proceso del método RCM.	25
Tabla 4: Plantas de almacenaje de combustibles en Bolivia.	30
Tabla 5: Datos generales de la Ciudad de Oruro.	32
Tabla 6: Características de los tanques de almacenamiento de la planta de San Pedro.....	33
Tabla 7: Propiedades mecánicas del acero en tanques	34
Tabla 8: Especificaciones técnicas TK-302.....	39
Tabla 9: Características técnicas de la gasolina especial.	41
Tabla 10: Funciones operacionales del Tanque TK-302	43
Tabla 11: Fallos funcionales del tanque TK-302.....	44
Tabla 12: Modo de Fallo de los componentes.	45
Tabla 13: Efecto de Falla en los componentes.	46
Tabla 14: Niveles de cuantificación de fallas.....	48
Tabla 15: Análisis de consecuencia de fallas en el Tanque 302, Planta San Pedro.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A. Términos de referencia TDR camión cisterna.
- Anexo B. Ubicación Geográfica y distribución Planta Oruro.
- Anexo C. Vista en planta, elevación isométrica TK-302.
- Anexo D. Ficha de seguridad del combustible gasolina.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de equipos industriales es primordial donde la seguridad es prioridad, como en el almacenamiento de productos inflamables como la gasolina. La prevención de fallas en estos equipos no solo garantiza la continuidad de las operaciones, sino que también protege la vida de los trabajadores y evita posibles desastres ambientales y económicos. El presente trabajo se enfoca en el estudio técnico del Método RCM, específicamente su aplicación al tanque de gasolina especial TK-302, desempeña un papel vital en el almacenamiento y distribución segura de gasolina especial en la Planta San Pedro ciudad de Oruro. El objetivo principal de este estudio técnico es analizar en profundidad la aplicación del Método RCM al tanque TK-302, se centrará en analizar las condiciones operativas, el historial de mantenimiento, los modos de falla potenciales y las consecuencias de dichas fallas en términos de seguridad, medio ambiente y producción. A partir de este estudio, se propone planes de mantenimiento preventivo y correctivo adaptados a las necesidades específicas del tanque TK-302, con el objetivo de optimizar su rendimiento, prolongar su vida útil y reducir los riesgos operativos de este modo se busca mejorar la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia del tanque TK-302, logrando así una mejor operación en la Planta San Pedro.

1.1 ANTECEDENTES

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una herramienta metodológica que permite la gestión del mantenimiento enfocado hacia la confiabilidad para el cumplimiento de las funciones de los sistemas, equipos o procesos. Actualmente, el RCM se ha extendido a la industria militar, nuclear, automotriz, eléctrica y petrolera, entre otras. Para asegurar que la metodología se utilice de manera apropiada. (*Gonzales Alvarado, 2018*). La efectividad del RCM en el sector petrolero, como herramienta de gestión para la mejora de la confiabilidad, se nombra sobre dos casos de éxito en América Latina:

El primero, fue confirmado por el IIE (Instituto de Ingenieros Industriales de México) en el año 2004 en la Plataforma de Rebombeo y en el Complejo Procesador de Gas AKAL C7-C8 de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en los años 2005-2008, garantizando la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos. Por otro lado, también se comprobó la efectividad de la implementación RCM en un gran número de centrales hidroeléctricas de ese país. (*Hidalgo, 2022*)

El segundo, Petróleos de Venezuela (PDVSA), después de varios años de intentar aplicar el RCM a lo largo de todos sus sistemas como una solución general a todos sus problemas de mantenimiento, utilizó la criticidad para definir donde usar el RCM en combinación con herramientas de análisis causa-raíz, inspección basada en riesgo y otras herramientas para la toma de decisiones de costo-riesgo. Este Plan Integrado de Mejoramiento, ahorro millones de dólares producto de la reducción de costos y el incremento de la producción. (*Hidalgo, 2022*)

YPFB Logística es una empresa boliviana, cuya función principal es el almacenaje de hidrocarburos líquidos en el país, opera bajo altos estándares de calidad y responsabilidad socio-ambiental, Logística cuenta con 16 terminales de almacenaje y 76 tanques en operación donde efectúa las operaciones de recepción, almacenaje y despacho de productos, asimismo cuenta con 85 tanques para la unidad de transporte a nivel nacional. (*YPFB LOGISTICA, 2021*)

La presente investigación, centrará sus esfuerzos sobre el uso del RCM como herramienta de gestión del mantenimiento, para alcanzar un estudio técnico aplicado al Tanque Tk-302 de gasolina especial de La Planta San Pedro – Oruro, con el objeto de mejorar la disponibilidad del proceso de producción y mantenimiento.

1.1.1 Planteamiento del problema

En la Planta San Pedro ubicado en el departamento de Oruro, Bolivia, el tanque TK-302 destinado al almacenamiento de gasolina especial presenta la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo que este puede dar lugar a un aumento en los tiempos de inactividad no planificados, así como un deterioro prematuro de los equipos y componentes del tanque. Esto llevara a tener riesgos potenciales de fallas y accidentes debido a la falta de un enfoque sistemático que pueda identificar y mitigar los riesgos de fallas que pueda presentar el tanque TK-302 que podría resultar en incidentes de seguridad, fugas de combustible y otros accidentes que pongan en peligro la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

Actualmente la planta de almacenaje de combustibles líquidos de San Pedro – Oruro, todos los tanques en específicos cuenta con una mediana cantidad de corrosión ya que es un problema común, por los cambios ambientales de la ciudad, como ser los eventos climáticos meteorológicos como las lluvias temporales, radiación solar intensas altas, bajas y humedad.

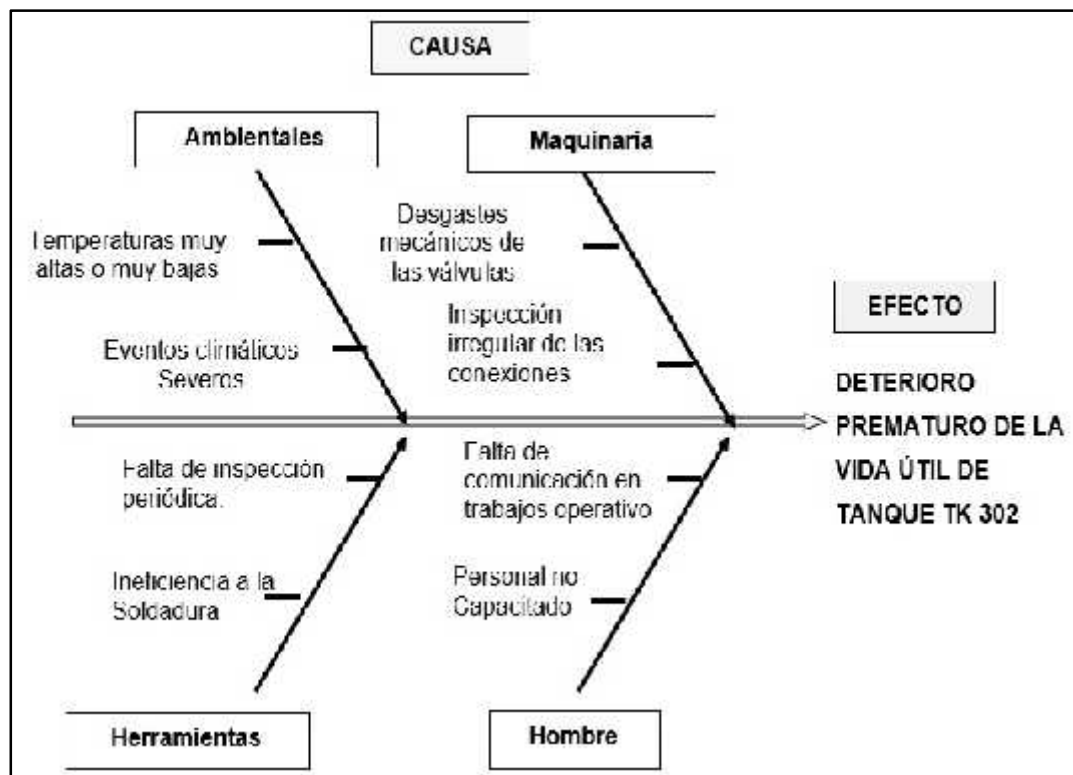
La Planta San Pedro, presenta más de 10 años de operación por lo cual un 70% de sus maquinarias no operan al 100 % ya que es un factor que determina la vida útil que tienen los equipos y accesorios, estas cuentan con desgates mecánicos de las válvulas e inspecciones irregulares de las conexiones de la red de tuberías. (YPFB LOGISTICA, 2021)

La planta presenta filtraciones de flujo, en los tanques de gasolina que estas pueden ser peligrosas y costosas, es un problema frecuente por la falta de una inspección periódica inadecuado a los equipos y herramientas e ineficiencia a la soldadura ya que es un proceso para la unión de materiales en el cual se funden las piezas para así solidificarlas.

La falta de capacitación diaria o periódica al personal que pertenece a la planta de San Pedro puede ocasionar una serie de problemas: errores de manipulación de herramientas y equipos, falta de experiencia laboral, habilidades ineficientes, falta de conocimientos técnicos, mala planificación operativa, posibles incidentes y accidentes. (YPFB LOGISTICA, 2021)

Figura 1:

Diagrama de causa y efecto.



Fuente: Elaboración propia en base a planillas de (campo de YPFB LOGISTICA).

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál sería el enfoque más adecuado para realizar un análisis técnico exhaustivo del Tanque TK-302 de gasolina especial en la Planta San Pedro - Oruro?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Realizar un estudio técnico del método mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicado al tanque TK – 302 de gasolina especial de la Planta San Pedro – Oruro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir de manera detallada el Método de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), explicando sus principios, procesos y aplicaciones.
- Realizar un análisis exhaustivo del sistema operativo actual de la Planta San Pedro en la ciudad de Oruro.
- Identificar de forma precisa y sistemática las funciones críticas y las posibles causas de fallas relacionadas con los tanques de gasolina TK-302 en la Planta San Pedro.
- Proponer procedimientos específicos de RCM adaptados a las necesidades y características del Tanque TK-302, estableciendo estrategias de mantenimiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación técnica

En la presente monografía de investigación se realizará estudio técnico del método RCM, aplicado al tanque TK-302 de gasolina especial de la Planta San Pedro – Oruro, por que presenta una cantidad significativa de corrosión en su estructura, equipos y accesorios que se encuentran con desgaste mecánicos debido al tiempo de uso de los tanques, las herramientas que se utilizan para mejorar el estado de los tanques se encuentran inadecuadas para la efectividad de trabajos de reparación, todas estas deficiencias conlleva a realizar un mal mantenimiento para la vida útil del tanque TK-302. Al describir las deficiencias que presentamos en un tanque nos permite para que seamos capaces de identificar de forma más específicas los problemas que se tiene al momento de realizar un mantenimiento para mitigar posibles fallas potenciales del Tanque TK-302 antes de que causen interrupciones en la operativas de planta. Para solucionar el problema que existe se realizará un estudio técnico del método RCM para contar con una metodología de mantenimiento que permita la identificación de defectos de los equipos y sus posibles causas, clasificar que tan crítico es el fallo y proponer medidas que lo eviten, esto se hará cumpliendo las normativas Internacionales API 650 tanques de acero soldados, API 620 tanque de almacenamiento de baja presión y las Normas ASTM y por las normas vigentes en Bolivia por la ANH y YPFB LOGÍSTICA.

1.3.2 Justificación económica

Aplicando el método de RCM se lograra una reducción de costos de mantenimiento ya que al identificar y eliminar las actividades de mantenimiento que son innecesarias, se puede reducir significativamente los costos asociados con el mantenimiento del tanque, optimizar las estrategias de mantenimiento ayuda a minimizar el tiempo de inactividad dentro de la planta con esto obtendremos una mayor disponibilidad operativa, lo que puede conducir a mayores ingresos debido a que tendremos menores interrupciones en la producción y finalmente lograremos una extensión de la vida útil del tanque TK-302, que reducirá el desgaste prematuro y así evitar costosos reemplazos de equipos.

1.3.3 Justificación social

Los tanques contienen gasolina que pueden ser peligroso si no se manejan adecuadamente. Al aplicar RCM, se identifican y gestionan los posibles modos de fallo que podrían poner en peligro la seguridad del personal y de las comunidades circundantes. Esto ayuda a prevenir accidentes catastróficos y minimizar los riesgos para la salud y el medio ambiente. Al realizar y aplicar el método de mantenimiento según el RCM se generan nuevas fuentes de trabajo directo que requiere personal que este calificado en área de planificación, seguridad y medio ambiente para la ejecución de las estrategias de mantenimiento y los trabajo indirectos en sectores relacionados como empresas locales que suministran equipos de mantenimiento, servicios de consultoría en ingeniería o materiales de construcción podrían beneficiarse económicamente y así lograr un crecimiento laboral en servicios de mantenimiento.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Paradigma de investigación

La presente monografía, es una investigación de paradigma positivista, tiene como finalidad determinar un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM aplicado a tanques de combustibles líquidos como la gasolina, por tanto, se presentan en forma breve y detallada los principios, procesos y aplicaciones de un RCM. El trabajo tiene un enfoque de investigación cuantitativo ya que realizara la recopilación de datos históricos, técnicos y análisis de la información que se obtiene de la empresa operadora, sobre el proyecto de la Planta de San Pedro. El objetivo es interpretar la información, en base al uso de números y cifras.

1.4.2 Tipo de investigación

Se hará el uso del tipo de investigación descriptivo, para representar las características, procesos, aplicaciones al método de mantenimiento centrado a la confiabilidad, descripción general sobre sistema operativo actual de la Planta de San Pedro en la ciudad de Oruro, análisis de las fallas que existen en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos y finalmente la propuesta de un procedimiento específico de RCM adaptados al tema de investigación.

1.4.3 Diseño de investigación

No se va manipular las variables técnicas de ingeniería, lo cual se hará una observación directa de situaciones o problemas que ya existen en la Planta de San Pedro de la ciudad de Oruro y de esta manera poder realizar un análisis profundo, quiere decir que es un diseño de investigación es No Experimental.

1.4.4 Métodos de investigación

Se hará el uso de métodos bibliográficos ya que permite la recopilación de información, obtenida de YPF LOGÍSTICA, Agencia Nacional De Hidrocarburos, Cámara de Hidrocarburos, etc.

1.4.5 Técnicas e instrumentos

Se hará el uso de dos técnicas generales: técnica documental y técnica de campo.

La técnica documental permite la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan el estudio, técnica de campo hace referencias a las entrevistas a personal calificado. Los instrumentos que se usara son online con el objetivo de recolección de datos que se realiza a través del internet, encuestas, fichas técnicas, fotos, planillas, publicaciones, etc.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Marco conceptual

2.1.1.1 Planta de almacenaje de combustible líquidos

Las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos enlazan las refinerías donde se producen los combustibles y carburantes, así como las instalaciones portuarias en las que se reciben los productos de importación, para suministrarlos a las distintas compañías petrolíferas que operan, quienes los distribuyen a los consumidores finales. Estas infraestructuras almacenan combustibles, especialmente gasolinas, gasóleos, querosenos y fuelóleos. Algunas de estas instalaciones también están preparadas para almacenar y distribuir gasolinas y gasóleos con distintos contenidos. Las instalaciones de almacenamiento están situadas estratégicamente para poder satisfacer la demanda de combustibles y permanecen operativas las 24 horas al día los 365 días del año. Una de las funciones de estas plantas es almacenar las reservas de seguridad y estratégicas del país. (CLH, 2016)

Figura 2:

Almacenaje de Gasolina Especial.



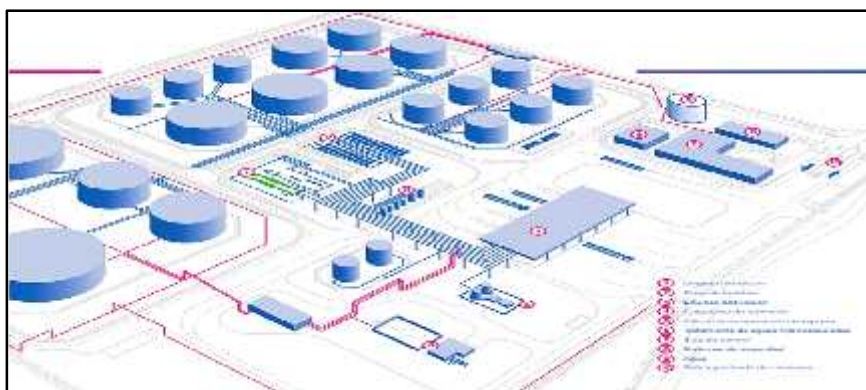
Fuente: Obtenido de (mantenimiento de tanques de YPFB,2021).

2.1.1.2 Proceso planta de almacenaje de combustible líquidos

La mayoría de las instalaciones de almacenamiento reciben el combustible por oleoductos conectados directamente con las refinerías. Todo este proceso es supervisado desde la sala de control de la planta, donde se centralizan todas las operaciones, como el llenado de los tanques, la monitorización de la estación de bombeo, el control de los brazos de carga, etc. Así, una vez recibido el combustible. La compañía tiene una red de laboratorios que realizan un exhaustivo control de calidad de todos los combustibles que entran y salen de las instalaciones, garantizando la calidad del producto final. Los clientes cursan sus pedidos de productos y envían sus camiones cisterna a los cargaderos de las plantas de almacenamiento, donde recogen el combustible y lo distribuyen a las estaciones de servicio y otros puntos de consumo. (CLH, 2016)

Figura 3:

Proceso de almacenaje de hidrocarburos líquidos.



Fuente: Obtenido de (Compañía de Hidrocarburos CLH, S.A,2016).

2.1.1.3 Tanques de almacenamiento de hidrocarburos

Los tanques de almacenamiento son estructuras construidas de diversos materiales (principalmente de acero), en la gran mayoría de casos de forma cilíndrica, diseñados para contener o procesar combustibles, generalmente a presión atmosférica o presión interna relativamente baja. Son ampliamente utilizados en la industria del petróleo (en refinerías, terminales de almacenamiento y estaciones de abastecimiento). Los tanques de almacenamiento se utilizan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Para un almacenaje óptimo, es necesario conocer los diferentes tipos de almacenamiento y su rango de aplicabilidad. Por ello, se clasifican los tanques según su diseño, forma y uso de almacenamiento. (Rios Lino, 2016)

Figura 4:

Tanque de almacenamiento de hidrocarburos.



Fuente: Obtenido de (YPFB AVIACIÓN S.A,2021).

2.1.1.4 Tanque según su diseño

Los tanques de almacenamiento se pueden clasificar según su diseño, dependiendo principalmente de la operación a realizar. Por tanto, basándose en este criterio, se pueden clasificar en los tipos siguientes: *(Rios Lino, 2016, pág. 4)*

- Presión de diseño: Tanques atmosféricos para presiones de 0 a 0,5 psig, tanques atmosféricos para bajas presiones de 0,5 a 15 psig, tanques atmosféricos para presiones altas o mayores de 15 psig en adelante.
- Tanques de almacenamiento atmosféricos: En los tanques de almacenamiento atmosféricos, los parámetros de funcionamiento y/o variables de diseño son las siguientes:
 - Composición y características del fluido que desea almacenar.
 - Temperatura de almacenamiento.
 - Presión de almacenamiento. *(Rios Lino, 2016, pág. 4)*

Estos tanques se diseñan y construyen con el fin de almacenar productos a presión atmosférica. Generalmente, los diseños de estos tanques se hacen en un rango, que comprende desde presión atmosférica hasta 0,5 psig. Estos se clasifican según el tipo de techo usado, en los tres tipos: de techo fijo, de techo flotante externo y de techo flotante interno. *(Rios Lino, 2016, pág. 4)*

2.1.1.5 Tanque según su forma

- **Cilíndricos:** Están diseñados para operar a presiones cercanas a la atmosférica o relativamente pequeñas. Estos tanques se instalan usualmente de manera horizontal para almacenar gas licuado a altas temperaturas y presiones; aunque también pueden ser instalados verticalmente. (Rivas Zapata, 2022, pág. 24)

Figura 5:

Tanque cilíndrico YPFB.



Fuente: Obtenido de (información de YPFB,2020).

- **Esféricos:** Se usan para el almacenamiento de productos líquidos y gaseoso a presión. Se caracterizan por ser altamente eficientes. Este tipo de tanques necesita de gruesas planchas de acero, y va instalada sobre al menos seis columnas. Al igual que los tanques cilíndricos se utilizan para almacenar gases licuados. (Rivas Zapata, 2022, pág. 25)

Figura 6:

Tanques esféricos.



Fuente: Obtenido de (estación Qhora Qhora Sucre- Bolivia, YPFB,2023).

2.1.1.6 Tanque según su producto almacenado

La clasificación de los tanques según su producto, que almacenan se basa fundamentalmente en el tipo de aplicación dada al tanque. De acuerdo con este criterio, los tanques se pueden clasificar en las dos categorías, a saber:

- Tanques adaptados para el almacenamiento.
- Tanques adaptados para los procesos (tanques presurizados). (*Rios Lino, 2016, pág. 20*)

Tabla 1:

Tipos de colores de combustibles.

Producto	Color Primario	Color Secundario
GLP	Blanco brillante	---
Gasolina de aviación	Naranja	---
Gasolina especial	Bermellón	Azul trianon
Querosen	Verde esmeralda	Blanco brillante
Diesel	Amarillo tostado	---
Petróleo crudo	Negro brillante	Verde manzana

Fuente: Obtenido de (Moreno Domenech , 2015)

Entre los productos que se almacena se tienen: Gasolina, diésel, kerosene, gas licuado, etc

Figura 7:

Color de la gasolina especial.



Fuente: Obtenido de inspección de (combustibles, ANH,2023).

2.1.1.7 Tanques de almacenamiento por tipos de materiales de construcción

Los hidrocarburos alojados y las condiciones de presión a mantener conllevan la utilización de unos materiales determinados en los tanques de almacenamiento, que pueden estar realizados en:

- **Acero al carbono:** Es un material muy utilizado debido a su capacidad de adaptación a los requisitos de almacenamiento de una gran variedad de gases. También, destaca por su resistencia, que asegura una adecuada conservación de las instalaciones a lo largo de una amplia vida útil. (Gonzales, 2018, pág. 18)
- **Acero inoxidable:** Igualmente, la resistencia a la corrosión del acero inoxidable lo convierte en un material ideal para los tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos que albergan gases contaminantes, al mitigar el riesgo de fuga por el deterioro de las instalaciones.
- **Aluminio:** El aluminio es un material menos común que el acero en los tanques de almacenamiento de gases, aunque también es resistente a la corrosión y ofrece la ventaja de su ligereza. Sin embargo, no maneja tan bien las altas presiones en comparación con otros materiales metálicos como el acero en sus diversas variantes. (Gonzales, 2018, pág. 18)

Figura 8:

Tanques de almacenamiento de acero.



Fuente: Obtenido de (inspección de tanques, ANH,2023).

2.1.1.8 Riesgos de los tanques de almacenamiento

Todos los tanques que almacenan productos del petróleo se encuentran expuestos a que se presenten uno o más de los siguientes riesgos durante la actividad de la preparación del tanque: *(Moreno Domenech , 2015)*

- Incendio y explosión.
- Deficiencia o enriquecimiento de oxígeno.
- Sustancias tóxicas (líquidos, vapores, y polvo).
- Riesgos físicos y de otra clase.

A continuación, se muestra una tabla con los riesgos que corresponden a cada proceso operativo:

Tabla 2:

Riesgos de los tanques de almacenamiento.

Limpieza de tanques	Inspección	Pintura
Retiro de lodos.	Techo, fondo y estructura.	Control de calidad.
Lavado de tanque Biodegradable	Líneas internas	Pintura exterior.
Armado de andamios	Cámaras de espumas	Limpieza interior.
Limpieza con Brush Off	Limpieza de 4 tiras	Garantía 5 años.

Fuente: Obtenido de *(Moreno Domenech , 2015)*

A continuación, se observa una inspección de limpieza a los tanques lo cual posteriormente se realiza el trabajo de pintura y control de calidad. *(Moreno Domenech , 2015)*

Figura 9:

Inspección de limpieza en tanques



Fuente: Obtenido de (inspección de tanques, ANH,2023).

2.1.1.9 Componentes y equipos de un tanque de acero

Los componentes y equipos que se encuentran en un tanque de acero son de mucha importancia para conformar la estructura eficaz del mismo, Los tanques de acero pueden variar su diseño y función. (Gonzales, 2018, pág. 18)

A) Fondo

Es la parte formada por planchas de acero traslapadas entre sí, sobre la cual va a ser apoyado el cuerpo del tanque. El fondo debe tener una hermeticidad total tanto en las uniones soldadas de las planchas que lo conforman, así como en la junta con el fondo-cuerpo, de esta manera se evitará fugas del producto que se va almacenar. (Gonzales, 2018, pág. 18)

Figura 10:

Fondo un tanque de almacenamiento en construcción.



Fuente: Obtenido de la (empresa SYNERTECH, 2018).

B) Techo

Es la parte que cubre al tanque, está compuesto por planchas traslapadas entre sí. Su forma y diseño se realiza en base al volumen y producto a almacenarse, también teniendo en cuenta las cargas a las que estará sometido, como lluvia, viento o personas. Su principal función es evitar el ingreso de todo tipo de sustancias y cuerpos que de una u otra manera pueden contaminar el producto y afectar su estructura interna. Los techos de los tanques se dividen en Fijos y Flotantes. (Gonzales, 2018, pág. 19)

Figura 11:

Techo del Tanque.



Fuente: Obtenido de la empresa (PLAREMESA, 2018)

C) Cuerpo

Consiste en las paredes cilíndricas del tanque, que están formadas por anillos unidos entre sí. Su función es soportar la presión que la columna de fluido almacenado, ejerce sobre sus partes. Debido a las distintas presiones existentes desde el fondo hasta la superficie del tanque, en el diseño se determinarán espesores de planchas diferentes para cada anillo, siendo los anillos inferiores los de mayor espesor. (Gonzales D. , 2018, pág. 21)

Figura 12: *Cuerpo del Tanque.*



Fuente: Obtenido de (capacitaciones. Vargas, 2019)

D) Fundación

Conocida también como cementación, es la superficie sobre la cual se montará las planchas del fondo del tanque, generalmente es construida de hormigón. Ésta ayuda a disminuir a corrosión en la parte exterior del fondo y evita hundimientos en el terreno. (API, 2013)

Figura 13:

Fundación termina de un tanque.



Fuente: Obtenido de (capacitaciones. Vargas, 2019).

E) Válvulas de venteo

Son de tipo automáticas que sirven para evitar el aumento de la presión interna, permitiendo que la mezcla de aire-vapor salga en el tiempo de carga. Mientras que en la descarga evita la formación de una presión de vacío dejando que el aire ingrese. (EMERSON, 2023)

Figura 14:

Válvulas de venteo instaladas.



Fuente: Obtenido de (instalaciones X-CARET, 2018).

F) Orificio de techo

Este accesorio sirve para que el operador pueda realizar la medición manual del nivel y temperatura del líquido que se almacena, también para la extracción de muestras cuando estas sean requeridas y facilita notablemente la inspección. (Tacna, 2013)

Figura 15:

Inspección del tanque a través del Orificio.



Fuente: Obtenido de (capacitaciones. Vargas, 2019)

G) Conexiones de entrada y salida

Son aberturas ubicadas en las paredes del pozo donde se unen mediante soldadura a unas boquillas de distinto diámetros, dependiendo su diseño y en estas a su vez a las válvulas que permiten el llenado y vaciado del tanque. (SagaFluid, 2014)

Figura 16:

Conexiones de entrada y salida instaladas en un tanque.



Fuente: Obtenido de (inspecciones y capacitaciones, Vargas, 2019).

H) Puerta de limpieza

Este se encuentra ubicado al nivel del fondo y permite labores de limpieza interna del tanque, como puede ser el retiro de lodos que se acumulan durante su operación. (Ríos, 2021)

Figura 17:

Puerta de limpieza de un tanque de almacenamiento.



Fuente: Obtenido de (empresa SagaFluid, 2014).

I) Drenaje y sumidero

El drenaje se constituye como un accesorio que se encuentran ubicado en cuerpo del tanque, conectado a su respectivo sumidero, mismo que se está entre el fondo y la cementación, y deberá tener una buena compactación para evitar fugas. Conjuntamente por ellos se desfogan los residuos de agua y otros elementos de mayor densidad producidos por el líquido almacenado. (Ríos, 2021)

Figura 18:

Trabajos de soldadura en el sumidero del tanque.



Fuente: Obtenido de (Chemical Engineering Community. 2015)

J) Escaleras

Las escaleras de acero del tanque de almacenamiento/ silo son una construcción fiable que permite un acceso seguro al techo del tanque. Las soluciones modernas y el bien pensado sistema de fijaciones garantizan la seguridad de los usuarios y un fácil montaje.

Estas permiten el libre acceso al techo del tanque para actividades de inspección mantenimiento. Las más utilizadas son en forma de espiral que son de fácil construcción e instalación, a su correcto diseño minimiza el riesgo de accidentes. (*Industry, 2016*)

Figura 19:

Escaleras del tanque.



Fuente: Obtenido de (empresa Direct Industry,2016).

2.1.1.10 Almacenamientos de combustibles líquidos

El combustible líquido proviene principalmente de la destilación y el craqueo del petróleo, un proceso químico que produce una mayor proporción de productos livianos que se pueden mezclar con el combustible. Todo a temperatura ambiente está en estado líquido. Este combustible tiene una propiedad, que es su punto de inflamación. Son muy peligrosos cuando su punto de inflamación está bajo, porque pueden arder de manera más fácil y, por lo tanto, requieren mucho cuidado. Además, como todos los líquidos, tiene un punto de fusión y un punto de evaporación, puesto que puede arder más fácilmente y por eso deben estar mantenidos con extremo cuidado. Además, como todos los líquidos, tiene una temperatura de fusión y una de evaporación. (*Rios, 2021*)

2.1.1.11 Gasolina especial

Mezcla de hidrocarburos ligeros, volátil, inflamable, de olor característico, se utiliza como combustible en motores de combustión interna y tiene aplicaciones industriales como desengrasante, disolvente y materia prima de síntesis. Se obtiene por destilación del petróleo, por hidrogenación de carbón o dióxido de carbono. (Lopez,2021)

Figura 20:

La gasolina especial.



Fuente: Obtenido de (inspección de combustibles, ANH,2021.)

2.1.1.12 Diésel

Combustible de hidrocarburos cuya composición es variable, la calidad común contiene menos de 1% de azufre. Por lo tanto, se considera menos contaminante que la gasolina. Utilizada en motores de combustión interna, su método de ignición es por compresión. Este es de uso común en camiones y buses. (Lopez Miranda, 2011, págs. 40-41)

Figura 21:

Diesel combustible líquido.



Fuente: Obtenido de (TechLink, 2023).

2.1.1.13 Queroseno

Líquido transparente, insoluble en agua, obtenido por destilación del petróleo. De densidad intermedia entre la gasolina y el diésel, se utiliza como combustible en los motores a reacción y de turbina de gas. Se utiliza también como disolvente y para calefacción doméstica. (Lopez Miranda, 2011, págs. 40-41)

Figura 22:

Queroseno combustible líquido.



Fuente: Obtenido de (TechLink, 2023).

2.1.1.14 Método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El RCM es un proceso altamente personalizado con un enfoque único para cada activo adaptado a su uso, componentes clave y amenazas únicas a su usabilidad. El objetivo final es maximizar la disponibilidad del equipo y al mismo tiempo reducir la necesidad de reemplazar activos, reduciendo así los costos. Se diferencia de otros procedimientos de mantenimiento por el hecho de que trata cada activo de manera diferente, según sus necesidades específicas, su importancia para el proceso general y cómo debe monitorearse y mantenerse. El objetivo final es maximizar la disponibilidad del equipo y al mismo tiempo reducir la necesidad de reemplazar activos, reduciendo así los costos. Se diferencia de otros procedimientos de mantenimiento por el hecho de que trata cada activo de manera diferente, según sus necesidades específicas, su importancia para el proceso general y cómo debe monitorearse y mantenerse. (IBM, 2014)

Figura 23:

Tipos de mantenimientos del método RCM.



Fuente: Obtenido de (Centro de formación técnica para la industria, 2014)

2.1.1.15 Principios del método RCM

Antes de que la especialización y la expansión de la cadena de suministro global separaran a los fabricantes de equipos de sus destinatarios finales, los mismos individuos o entidades que construían los activos físicos solían ser quienes los utilizaban. Esto significaba que tenían un conocimiento intuitivo y profundo de cada componente y funcionamiento de sus propias creaciones. Con el tiempo, a medida que la especialización creció y los fabricantes ya no estaban directamente conectados con sus productos finales, surgió la necesidad de una metodología más completa y estratégica para comprender y abordar las complejidades de los activos físicos. Esto llevó al desarrollo de enfoques más elaborados para la gestión de activos, donde se requería una comprensión detallada de cada componente y su impacto en el rendimiento general de la maquinaria. (IBM, 2014)

Esto ha sido especialmente cierto y crítico para la industria de la aviación, que se considera comúnmente el lugar de nacimiento del RCM. A medida que se aceleraba la tasa de accidentes aéreos en la década de 1960, la industria tuvo que cambiar su forma de gestionar el mantenimiento, que no se realizaba con la frecuencia suficiente para evitar esos accidentes catastróficos. La industria necesitaba ayuda para identificar posibles fallos y tuvo que cambiar su enfoque. El mantenimiento basado en el tiempo, según el cual las intervenciones ocurrían en un lapso específico, ya no funcionaba. Algunos estudios demostraron que dedicar menos

tiempo y costos al mantenimiento, pero manejarlo de manera más estratégica producía mejores resultados, lo que sugería que un enfoque más eficiente era posible. De hecho, el nombre de mantenimiento centrado en la confiabilidad proviene de un informe de Nolan y Heap de 1978 para United Airlines, que buscó codificar el nuevo proceso para garantizar una mejor seguridad aérea a través de un nuevo enfoque para el mantenimiento de equipos. El impacto de este informe ha sido tan duradero que prácticamente cada enfoque de RCM evoca la norma JA1011 de la Sociedad de Ingenieros Automotrices, creada a partir del informe de Nolan y Heap. Ahora, el RCM se ha extendido a casi todas las industrias como una forma inteligente y rentable de ejecutar el mantenimiento durante el proceso de fabricación. *(IBM, 2014)*

2.1.1.16 Proceso del método RCM

Realizar RCM es un proceso de varios pasos, a continuación, se explicará y detallará cada paso que ayudarán a implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad en sus instalaciones. *(Keep, 2015)*

- **Se identifica la maquinaria/equipo valioso:** Primero, identifique qué piezas de equipo son más importantes para mantener. Esto puede implicar realizar un análisis de criticidad en cada activo para comparar la gravedad de la falla del equipo con la frecuencia de esa falla. A partir de ahí, los activos se pueden priorizar según el riesgo y el impacto general en sus procesos.
- **Se identifican las razones de la falla del sistema:** Una vez que haya priorizado los activos, describa las formas en que cada activo puede fallar junto con las causas de cada falla. Mirar datos anteriores o realizar un análisis de causa raíz (RCA) puede ayudarlo a identificar los modos de falla típicos para cada pieza del equipo. *(Keep, 2015)*
- **Registrar los componentes defectuosos:** Una vez que haya identificado cada tipo de falla y sus causas raíz, regístrelas con fines de planificación. Tenerlos escritos o registrados en una base de datos, tal vez como notas adjuntas al activo en su sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS), lo ayudará cuando realice el siguiente paso.
- **Los ingenieros/equipos de mantenimiento trabajan para encontrar una solución óptima:** Una vez que sepa cómo puede fallar cada pieza del equipo, es hora de comenzar a trabajar en la mejor solución para cada causa de falla. Esto implica seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado para cada activo. Se determina el tipo de mantenimiento y la forma en que debe realizarse, y se crea un plan para cada activo. *(Keep, 2015)*

- **Se implementa la solución óptima:** una vez que se selecciona la mejor solución para cada activo, es hora de ponerla en acción. Los planificadores de mantenimiento describen los plazos, el equipo necesario (como sensores), los artículos de inventario de MRO y otros detalles para el plan de mantenimiento de cada activo. Una vez completado, el plan se pone en marcha. (Keep, 2015)
- **Los resultados se monitorean a lo largo del tiempo para mejorar:** Con el tiempo, debe registrar y realizar un seguimiento de los resultados de sus tareas de RCM. A medida que recopila datos sobre el rendimiento de cada activo y el impacto de sus planes de mantenimiento, podrá realizar ajustes para mejorar sus resultados y optimizar los costos futuros. (Keep, 2015)

Tabla 3:

Pasos adicionales para el proceso del método RCM.

Antes de aplicar RCM	Durante el análisis de RCM	Después del análisis RCM
Recopilar información.		Implementar el plan de mantenimiento.
Elaborar taxonomía del equipo y el sistema.	Normalizar el análisis de modos y causas de falla.	Gestión de las recomendaciones o acciones predeterminadas.
Documentos contexto operativo.	Categorizar efectos de Falla.	Medir desempeño.

Fuente: Obtenido de (normas SAE JA1011,2018).

2.1.1.17 Aplicaciones del método RCM

El Método RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) puede aplicarse en una variedad de industrias y sectores donde se requiere gestionar activos físicos de manera eficiente para garantizar su confiabilidad y disponibilidad. Algunos de los lugares donde se puede aplicar el Método RCM incluyen: (Enova Levante, 2018)

- **Industria manufacturera:** En fábricas y plantas de producción, donde se utilizan equipos y maquinaria para fabricar productos, el RCM puede ayudar a optimizar el mantenimiento de estos activos para minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la eficiencia de producción.

- **Industria aeroespacial:** En compañías aeroespaciales y aerolíneas, el RCM se utiliza para mantener la seguridad y confiabilidad de las aeronaves, así como de los sistemas de apoyo en tierra y las instalaciones de mantenimiento. *(Enova Levante, 2018)*
- **Industria marítima:** En el sector marítimo, el RCM se aplica en buques, plataformas petroleras, terminales portuarias y otras instalaciones marítimas para garantizar la confiabilidad y seguridad de los equipos y sistemas críticos. *(Enova Levante, 2018)*
- **Industria de transporte:** En empresas de transporte terrestre, como ferrocarriles y flotas de vehículos, así como en el transporte público, el RCM se utiliza para mantener la confiabilidad de los activos y minimizar los tiempos de inactividad no planificados. *(Enova Levante, 2018)*
- **Industria de servicios públicos:** En servicios públicos como agua, gas y electricidad, el RCM se utiliza para gestionar la confiabilidad de las infraestructuras críticas y garantizar un suministro continuo de servicios a los consumidores. *(Enova Levante, 2018)*

2.1.1.18 Ventajas y desventajas del método RCM

El RCM se basa en gran medida en las tecnologías del mantenimiento predictivo, las ventajas y desventajas de su programa son un reflejo del mismo. Sin embargo, permite a las fábricas y empresas adecuar mejor los recursos a las necesidades de los equipos, al tiempo que mejora la confiabilidad y reduce los costos, más que cualquier otra estrategia, a continuación, se mencionara las ventajas y desventajas del método RCM:

- Si el RCM se aplica de forma eficaz en el programa, seguro que va a proporcionar a tu empresa las siguientes ventajas: Aumento de la eficiencia, reducción de costos, mejora de productividad y sustitución de activos *(Enova Levante, 2018)*
- Por otro lado, existe una serie de desventajas que debes analizar en función de tus objetivos y presupuesto antes de decidirte por esta estrategia de mantenimiento: Mantenimiento continuo, requiere formación y costes de puesta en marcha, requiere tiempo y recursos, no tiene en cuenta el costo de mantenimiento y complejidad. *(Enova Levante, 2018)*

Figura 24:

Ventajas del método RCM.



Fuente: Obtenido de (guía técnica Fracttal, 2021).

2.1.1.19 Marco normativo para construcción, inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos

A) El API estándar 650

Se describe sobre el diseño y cálculo de los diferentes elementos del tanque. El código se basa en los conocimientos y experiencias de los compradores, fabricantes y usuarios de tanques de almacenamiento de fabricación soldada de diferentes tamaños y capacidades. El estándar API 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, hormigón, asfalto, etc.; diseñados para soportar una presión de operación atmosférica. (API Standard 650, April 20, 2020)

B) Norma NFPA 30

El código NFPA 30 publicado desde el año 1925, conforma una serie de lineamientos y recomendaciones para establecer los requisitos mínimos para prevenir incendios y explosiones en instalaciones donde se almacenan, manipulan, utilizan y procesan líquidos inflamables y combustibles. El código NFPA 30 es desarrollado por el Comité Técnico de Líquidos Inflamables y Combustibles de NFPA. (Norma NFPA 30, 2024)

C) ASME B31

El código ASME B31.1 regula todos los aspectos relacionados con tuberías a presión: desde su correcta instalación y diseño hasta los métodos de inspección y mantenimiento adecuados. Se trata de un estándar internacional elaborado por la American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos), que desde 1922 ha puesto el foco en la seguridad de las tuberías y en la elaboración de códigos estrictos para su construcción. (*ASME B31.1, 2020*)

2.1.1.20 Reglamentos técnicos y normas en Bolivia para para construcción, inspección de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos

A) Decreto Supremo N° 25048, 22 de mayo de 1998

“Reglamento para construcción y operación de plantas de almacenaje de combustibles líquidos”, se aprobó el Reglamento sobre el Régimen de Precios, aprobando para Construcción y Operación de Plantas de Almacenaje de Combustibles Líquidos, la comercialización de hidrocarburos y sus derivados en el mercado interno es libre y puede ser realizada por cualquier persona individual o colectiva, nacional o extranjera, mediante su registro en la Superintendencia de Hidrocarburos. Que el Poder Ejecutivo tiene la atribución de expedir, derogar y abrogar decretos supremos. (*Gaceta Oficial de Bolivia., 2021*)

B) Decreto Supremo N° 3269, 02 de agosto de 2017

Aprueba el Reglamento para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Abandono de Plantas de Almacenaje de Hidrocarburos Líquidos, en sus catorce (14) Capítulos y ochenta y nueve (89) Artículos, que forma parte integrante e indivisible del presente Decreto Supremo.

C) Ley N° 3058, 17 de mayo de 2005

Las disposiciones de la presente Ley norman las actividades hidrocarburíferas de acuerdo a la Constitución Política del Estado y establecen los principios, las normas y los procedimientos fundamentales que rigen en todo el territorio nacional para el sector hidrocarburífero. Todas las personas individuales, colectivas, nacionales, etc. Sociedades de economía mixta y privadas que realizan y/o realicen actividades en el sector hidrocarburífero, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), los servidores públicos, consumidores y usuarios de los servicios públicos, quedan sometidos a la presente Ley. (*Gaceta Oficial de Bolivia., 2021*)

2.1.1.21 Marco normativo del método RCM

A) Norma ISO 9001

Es un conjunto de normas de control de calidad y gestión de calidad, establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Se pueden aplicar en cualquier tipo de organización o actividad orientada a la producción de bienes o servicios. Permite a las organizaciones documentar y evaluar sistemáticamente sus procesos para mejorar sus sistemas de calidad. Estas medidas garantizan que las empresas ofrezcan productos y servicios de calidad a sus clientes. *(ISO 9001, 2015)*

B) Norma ISO 31000

La norma ISO 31000 es un conjunto de directrices y principios internacionales que proporcionan un enfoque sistemático y estructurado para la identificación, evaluación, tratamiento y monitoreo de riesgos en cualquier organización. La norma fue publicada por primera vez en 2009 y su última actualización se llevó a cabo en 2018. Su objetivo principal es ayudar a las organizaciones a proteger sus activos, cumplir con sus objetivos y mejorar la toma de decisiones. *(ISO 31000, 2018)*

C) Norma ISO 14000

Los estándares ISO 14000 se desarrollaron para ayudar a las organizaciones a identificar y gestionar sus impactos ambientales, reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, y mejorar la sostenibilidad en general. *(ISO 14000, 2015)*

2.1.1.22 Norma ISO 45001

norma internacional para sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, destinada a proteger a los trabajadores y visitantes de accidentes y enfermedades laborales. La certificación ISO 45001 fue desarrollada para mitigar cualquier factor que pueda causar daños irreparables a los empleados o al negocio. EL objetivo de la implementación de la norma es mejorar el sistema de gestión para proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable. *(ISO 45001, 2015)*

2.1.2 Marco contextual

2.1.2.1 Descripción de las plantas de almacenaje de combustibles líquidos en Bolivia

YPFB Logística S.A. empresa subsidiaria de YPFB Corporación, con responsabilidad y compromiso asume la administración y operación del Sistema de Almacenaje de combustibles líquidos que se distribuyen en todo el territorio Nacional, siendo el pulmón de la cadena de hidrocarburos que brinda flexibilidad operativa en el suministro de carburantes como ser: Diésel Oíl, Gasolina Especial, Kerosene, Jet Fuel, entre otros que son custodiados en nuestras instalaciones y posteriormente entregados a los sistemas de poliductos y mediante camiones cisternas, distribuyendo la energía que mueve al País. A continuación, se observa las cantidades de plantas que existen en Bolivia: (YPFB LOGISTICA, 2021)

Tabla 4:

Plantas de almacenaje de combustibles en Bolivia.

N°	PLANTA	EMPRESA	LOCALIDAD/CIUDAD	DEPARTAMENTO
1	SENKATA	YPFB LOGISTICA S.A.	EL ALTO	LA PAZ
2	PALMASOLA	YPFB LOGISTICA S.A.	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
3	VALLE HERMOSO	YPFB LOGISTICA S.A.	COCHABAMBA	COCHABAMBA
4	SAN PEDRO	YPFB LOGISTICA S.A.	ORURO	ORURO
5	POTOSÍ	YPFB LOGISTICA S.A.	POTOSÍ	POTOSI
6	QHORA QHORA	YPFB LOGISTICA S.A.	SUCRE	CHUQUISACA
7	TARIJA	YPFB LOGISTICA S.A.	TARIJA	TARIJA
8	TRINIDAD	YPFB LOGISTICA S.A.	TRINIDAD	BENI
9	MONTEAGUDO	YPFB LOGISTICA S.A.	MONTEAGUDO	CHUQUISACA
10	TUPIZA	YPFB LOGISTICA S.A.	TUPIZA	POTOSI
11	UYUNI	YPFB LOGISTICA S.A.	POTOSÍ	POTOSI
12	PUERTO VILLARROEL	YPFB LOGISTICA S.A.	PUERTO VILLARROEL	COCHABAMBA
13	SAN JOSE DE CHIQUITOS	YPFB LOGISTICA S.A.	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
14	CAMIRI	YPFB LOGISTICA S.A.	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
15	VILLAMONTES	YPFB LOGISTICA S.A.	VILLAMONTES	TARIJA
16	RIBERALTA	YPFB LOGISTICA S.A.	RIBERALTA	BENI
17	ALCASA SANTA CRUZ	PRIVADA	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
18	DISCAR S.R.L.	PRIVADA	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ
19	FREE PORT TERMINAL COMPANY	PRIVADA	PUERTO QUIJARRO	SANTA CRUZ
20	GRAVETAL BOLIVIA S.A.	PRIVADA	PUERTO QUIJARRO	SANTA CRUZ
21	ALCASA YACUIBA	PRIVADA	YACUIBA	TARIJA
22	COBIJA	YPFB GERENCIA COMERCIAL	COBIJA	PANDO
23	GUAYARAMERIN	YPFB GERENCIA COMERCIAL	GUAYARAMERÍN	BENI
24	PUERTO SUAREZ	YPFB GERENCIA COMERCIAL	PUERTO SUÁREZ	SANTA CRUZ
25	POCITOS	YPFB GERENCIA COMERCIAL	YACUIBA	TARIJA
26	BERMEJO	YPFB GERENCIA COMERCIAL	BERMEJO	TARIJA
27	VILLAZÓN	YPFB GERENCIA COMERCIAL	VILLAZÓN	POTOSI

Fuente: Obtenido de (YPFB LOGISTICA, 2021)

2.1.2.2 Información de las plantas de San Pedro – Oruro

La planta de almacenamiento San Pedro se encuentra ubicada en la ciudad de Oruro en la Avenida Tomas Barrón, a lado de la engarrafadora con el mismo nombre, la misma que es propiedad de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos YPFB.

Figura 25:

Localización Planta San Pedro – Oruro.



Fuente: Obtenido de (Google Earth,2024).

A continuación, se observa una figura de vista frontal, sobre La planta de almacenamiento San Pedro.

Figura 26:

Planta San Pedro departamento de Oruro.



Fuente: Obtenido de (inspección de plantas ANH, 2022).

El departamento de Oruro es uno de los nueve departamentos en que se divide Bolivia. Su capital y ciudad más poblada es la homónima Oruro. Está ubicado al oeste del país, limitando al norte con el departamento de La Paz, al noreste con el departamento de Cochabamba, al sur y al este con el departamento de Potosí y al oeste con Chile.

Con una superficie territorial de 53 588 km², Oruro es el tercer departamento menos extenso del país, por delante de Chuquisaca y Tarija, a continuación, se detallan más datos generales:

Tabla 5:

Datos generales de la Ciudad de Oruro.

Variable	Descripción
Ciudad capital	Oruro.
Provincias:	16 provincias
Superficie	53.558 km ² .
Población	425.600 hab
Densidad	7.18 hab. por km ² .
Clima	Frío en la altiplanicie y frío en la puna
altitud	3.735 msnm
Coordenadas	18°40 00 S 67°40 00 O

Fuente: Obtenido de (concejo municipal de Oruro,2015).

2.1.2.3 Análisis del sistema operativo actual de la Planta San Pedro en la ciudad de Oruro

A) Descripción de las instalaciones de la planta San Pedro - Oruro

La planta San Pedro cuenta con siete tanques de almacenaje de los cuales dos tanques almacenan Gasolina Especial, tres tanques almacenan Diesel Oil, un tanque que almacena Kerosene y un tanque que almacena Diesel Interfase, la planta tiene una capacidad de almacenaje de 8.509.349 litros. En la Tabla 6 se observa las características de los tanques de almacenaje. (YPFB LOGISTICA S.A., 2021)

Tabla 6:

Características de los tanques de almacenamiento de la planta de San Pedro.

Nº TK	Producto	DIMENSIONES		ALTURA Y VOLUMEN				
		Diam (m)	Alt (m)	Capacidad Bruta (Lts)	(mm)	(Lts)	Capacidad Neta (Lts)	Tipo Techo/Fondo
302	GE	12.96	12.18	1.537.465	11.140	1.470.870	1.455.56	Cónico / Cónico
308	GE	8.29	7.18	346,880	6.300	339.984	333.682	Cónico / Cónico
301	DO	18.29	12,19	3.218.353	11.190	2.954.429	2.863.527	Cónico / Plano
310	DO	8.38	7.19	361,470	6.300	345,630	333.505	Cónico / Plano
313	DO	12.92	17.98	3.309.804	13.000	3.106.632	2805.489	Hemisf/Hemisf
306	KN	7.91	6.76	313.377	5.900	289.139	276.064	Cónico / Cónico
300	ACI	8.28	7.03	378.205	6.230	344.464	329.750	Cónico / Plano

Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

A continuación, se citan los materiales más usados en la Planta de San Pedro para su construcción de tanques: Acero estructural, es un acero al carbono de muy buenas características estructurales, para tanques de almacenamiento se usan planchas de hasta 40 mm (1.5 pulg.) de espesor. (YPFB LOGISTICA, 2021)

Tabla 7:

Propiedades mecánicas del acero en tanques.

Propiedad	Valor
Resistencia a la tracción (MPa)	400 – 552
Punto de fluencia mínimo (Mpa)	250
Elongación (%)	18
Densidad (gr/cm3)	7.85
Dureza (Hb)	119 – 159

Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

Existen algunas causas que influyen notablemente en la aparición de daños habituales en los tanques durante su tiempo de operación. Entra estas podemos mencionar: (YPFB LOGISTICA, 2021)

- Distintos fenómenos naturales como lluvias, humedad, calor, vientos, etc.
- Diseño ineficiente.
- El estado del terreno donde se ha construido el tanque, observando que no está perfectamente nivelado.
- Corrosión de sus diferentes partes constitutivas, entre otras.
- Falta de inspección periódica por personal capacitados. (YPFB LOGISTICA, 2021)

Los fenómenos naturales como las lluvias son causante para que existan corrosión en los tanques, lo cual generan daños que afectan a todas las partes del tanque de almacenamiento durante su tiempo de operación.

Figura 27:

Tanques con corrosión en la Planta San Pedro.



Fuente: Obtenido de (planillas YPFB LOGÍSTICA,2022).

Se analiza que la Planta cuenta con una corrosión uniforme, ocurre de forma general sobre toda la superficie del metal en contacto con el ambiente corrosivo, se caracteriza por una reacción electroquímica y representa el más alto grado de destrucción del material.

Figura 28:

Corrosión uniforme en el techo de los tanques.



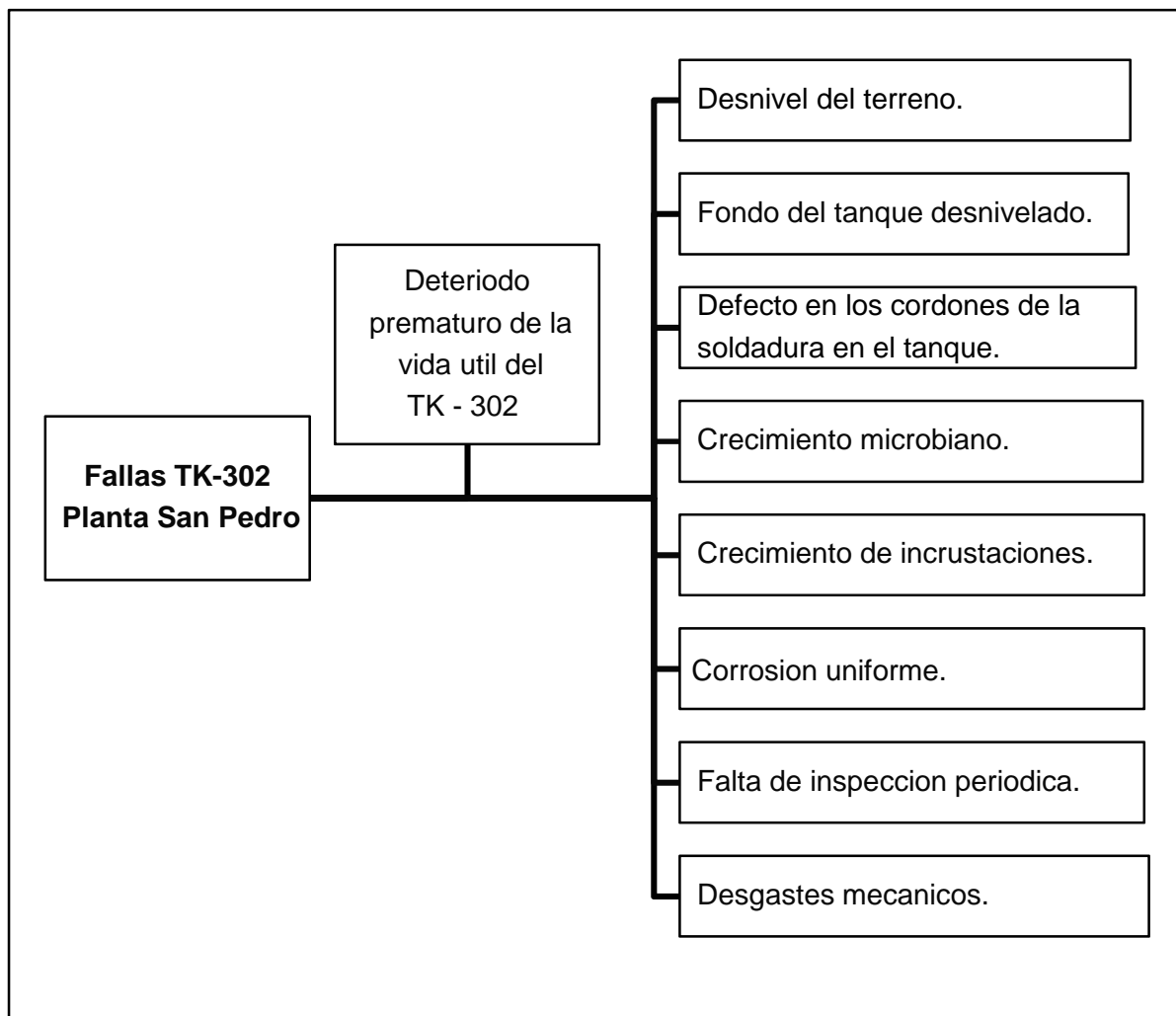
Fuente: Obtenido de (planillas YPFB LOGÍSTICA,2022).

2.1.2.4 Descripción de las fallas críticas en el tanque TK-302 de la planta de San Pedro

A continuación se identifica mediante un diagrama de bloques, de forma precisa y sistemática las causas de las fallas relacionadas con los tanques de gasolina TK-302 en la Planta San Pedro.

Figura 29:

Diagrama de bloques de las fallas críticas en el tanque TK-302.



Fuente: Elaboración propia en base de (planillas YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

2.1.2.5 Desnivel en el terreno

Este fenómeno ocasiono asentamientos del fondo que pueden producirse durante la prueba hidrostática, afectando a las planchas del fondo generándoles deformaciones.

Figura 30:

Desnivel del terreno en tanque TK – 302



Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

Cuando un fondo que no se asienta completamente con su fundación de concreto, debido a que ésta ha sufrido un desvío por la irregularidad del terreno, estarán afectadas las planchas del fondo, al primer anillo y a la junta fondo-cuerpo.

Figura 31:

Fondo del tanque desnivelado



Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

2.1.2.6 Defectos en uniones soldadas de planchas

Este fenómeno se origina o se crean por la corrosión que afecta a los cordones de soldadura, produciendo desgaste y con el tiempo ocasionando fugas del producto almacenado.

Figura 32:

Defecto en los cordones de la soldadura en el Tanque



Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

2.1.2.7 Crecimiento microbiano e incrustaciones

Es uno de los problemas más frecuentes: agua a temperaturas próximas a 35°C, altas concentraciones de O₂, luz UV, constituyen un microclima adecuado para crecimiento de microorganismos (algas, bacterias, hongos). El agua de origen natural, que se verá sometida a calentamiento, aun cuando sea mucho menor al que se da en un generador de vapor. Por lo tanto, encontraremos formación de incrustaciones, principalmente CaCO₃.

Figura 33:

Crecimiento microbiano en el TK – 302



Fuente: Obtenido de planillas de (YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

Realizando un análisis profundo se llega a la conclusión que las temperaturas ambientales altas o bajas y falta de inspección periódica a los tanques ocasiona el fenómeno de la corrosión, que es una reacción química entre el metal y su entorno, que generalmente involucra la oxidación del metal. También observando la figura 31 existe ineficiencia en la soldadura de accesorios ya que este fenómeno puede ocasionar la fuga del fluido almacenado, llegando a la conclusión que no existe una comunicación del personal en trabajos operativos y los mismos no se encuentran perfectamente capacitadas, son los motivos principales por lo cual se propone el estudio al Método de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) con el objetivo disminuir costes de mantenimiento, reducción de la vida útil de equipos y accesorios, reducción de riesgos (incidentes y accidentes) y finalmente es una técnica de planificación de mantenimiento para que los procesos funcionen con eficiencia y eficacia.

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Información general del Tanque TK - 302

La tabla 8, nos muestra información relevante sobre el Tanque TK-302 de gasolina especial de la planta San Pedro – Oruro, presentando datos técnicos sobre el tanque, como el material utilizado, el espesor y las capacidades de almacenamiento para la gasolina especial. Se incluyen medidas de volumen y longitud para el tanque de estudio.

Tabla 8:

Especificaciones técnicas TK-302.

Variable	Descripción
Nombre técnico del tanque	TK – 302
Combustible almacenado	Gasolina
Material del tanque	Acero
Tipo de tanque	Techo cónico
Superficie	Asfaltado

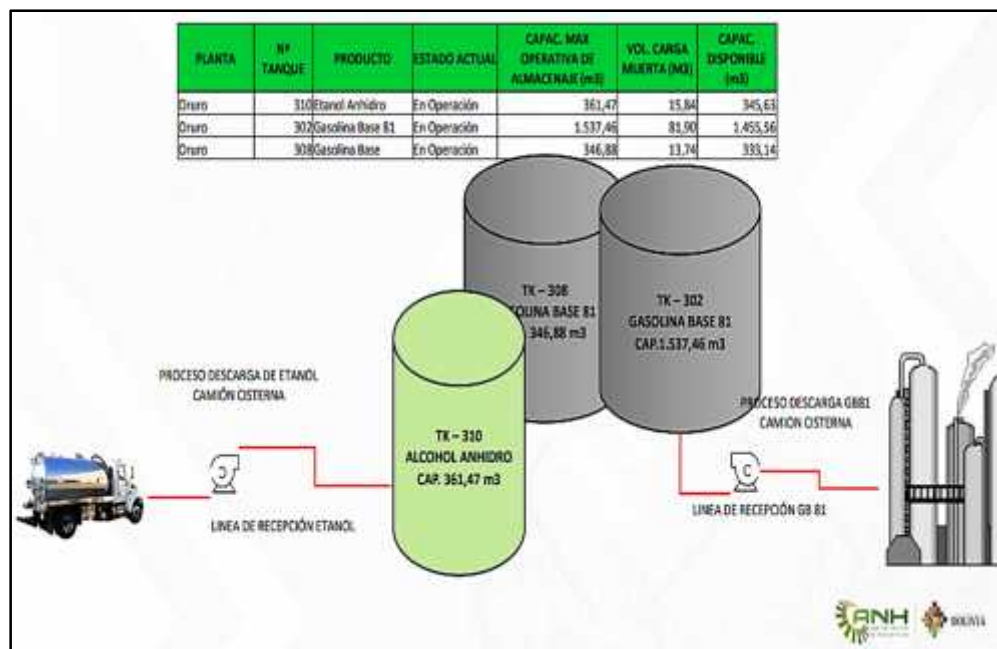
Variable	Descripción
Espesor de tanque	4,8 mm
Longitud del tanque	12 mtrs
Diámetro del tanque	13 mtrs
Capacidad máxima de almacenaje	1537.46 m3
Capacidad disponible	1455.56 m3

Fuente: Obtenido de (planillas YPFB LOGÍSTICA S.A.,2022)

A continuación, se observa Tanque TK-302 de gasolina especial de la planta San Pedro – Oruro.

Figura 34:

Planta San Pedro – Oruro



Fuente: Obtenido de (Agencia Nacional De Hidrocarburos ANH,2019).

2.2.2 Característica técnica del combustible almacenado Tanque TK - 302

En la Tabla 9 se muestra las características técnicas de la gasolina especial, detallando la calidad del producto final almacenado en los tanques de combustibles líquidos.

Tabla 9:

Características técnicas de la gasolina especial.

Variable	Especificación				Unidad
	Verano		Invierno		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Contenido de Plomo (**)		0,013		0,013	g Pb/L
Corrosión lámina de Cobre (3h/50 °C)		1		1	
Azufre Total		0,05		0,05	% peso
Octanaje RON	85		85		
Octanaje MON	Informar		Informar		
Indice Antidetonante (RON+MON) /2	Informar		Informar		
Color	Incolora / amarillo		Incolora / amarillo		
Apariencia	Cristalina		Cristalina		
Residuo		2		2	% vol
Contenido de Aromáticos		42		42	% vol
Contenido de Olefinas		18		18	% vol
Contenido de Benceno		3		3	% vol
Contenido de Manganeseo		18		18	m Mn/L
Contenido de Oxígeno		2,7		2.7	% eso

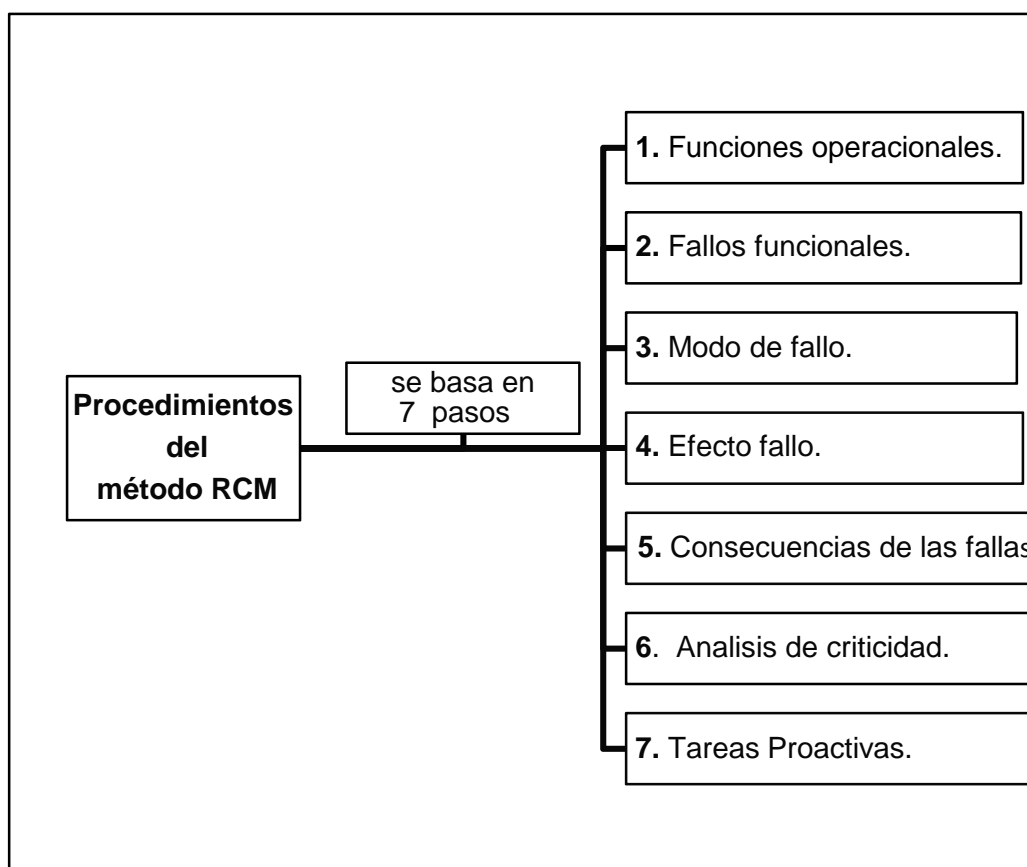
Fuente: Obtenido de ficha técnica de la empresa (YPFB REFINACION S.A., 2013)

2.2.3 Procedimientos del método RCM adaptados a las necesidades y características del tanque TK-302, estableciendo estrategias de mantenimiento.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta y proceso que a través de una serie de pasos e intervenciones asegura y garantiza que cualquier activo físico cumpla con las funciones que sus usuarios desean que haga dentro de su estándar de funcionamiento previamente definido. El estudio de RCM se basa en 7 pasos o preguntas que deben aplicar para poder obtener los objetivos correspondientes al momento de aplicar este método eficiente. (García tobar , 2021)

Figura 35:

Diagrama de bloques del estudio del RCM.



Fuente: Elaboración propia (propuesta de RCM, Universidad Saliciana,2021)

2.2.3.1 Definir las funciones operacionales

El primer paso es definir cuáles son las funciones que el activo físico debe cumplir, así como también los estándares de desempeño asociados al activo en su contexto operacional presente. Para definir cada una de las funciones que cumple los componentes que conforman el tanque TK-302 se mostrara en la tabla 10.

Tabla 10:

Funciones operacionales del Tanque TK-302.

Componentes	Funciones
Techo	Evitar la entrada de contaminantes externos.
Cuerpo y Fondo	Soportar la presión que la columna de fluido almacenado.
Válvula de Venteo	Controlar la presión interna del tanque.
Conexiones entrada y salida	Permitir la carga y descarga del producto líquido.
Escalera	Permiten el libre acceso al techo del tanque.

Fuente: Elaboración propia en base a (propuesta de RCM, Universidad Saliciana,2021).

2.2.3.2 Fallos funcionales

Una vez se han determinado las diferentes funciones operacionales que cumplen todos los componentes de un tanque TK-302 se procede con el segundo paso de RCM la cual es, ¿de qué manera puede fallar un activo físico al momento de cumplir sus funciones? Para describir los fallos funcionales se mostrará en tabla 11. (García tobar , 2021)

Tabla 11:

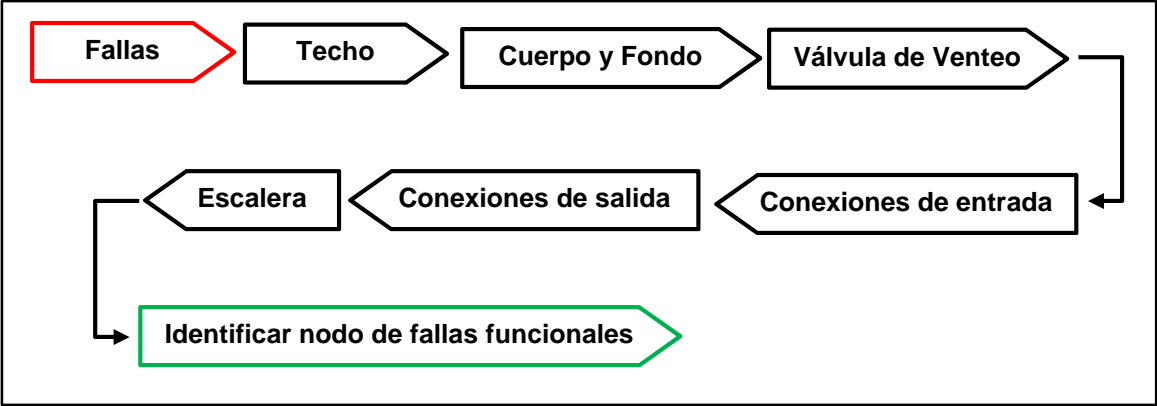
Fallos funcionales del tanque TK-302.

Componentes	Fallos Funcionales
Techo	Permite la entrada de sustancias al interior del tanque.
Cuerpo y Fondo	Resistencia ineficiente a presiones elevadas.
Válvula de Venteo	Mal control de las presiones internas del tanque.
Conexiones entrada y salida	No permite la carga y descarga del producto líquido.
Escalera	Sin acceso al techo del tanque.

Fuente: Elaboración propia en base a (propuesta de RCM, Universidad Saliciana,2021).

Figura 36:

Componentes de fallos funcionales.



Fuente: Elaboración Propia en base a (gestión de mantenimiento, mendizabal,2019)

2.2.3.3 Modo de fallo

Un modo de fallo se determina como la causa de la falla funcional. En este paso se identifica los eventos que ocasionan que ocurra una falla funcional en cualquier elemento de un tanque TK-302, como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12:

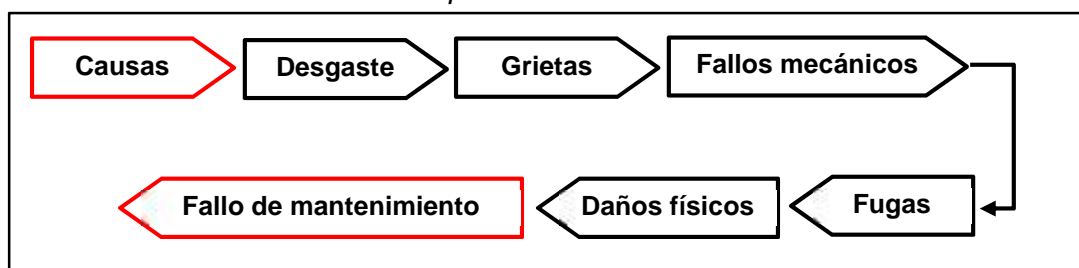
Modo de Fallo de los componentes.

Componentes	Modo de Fallo
Techo	Desgaste por fatiga y corrosión.
Cuerpo y Fondo	Deformaciones o grietas en la estructura del tanque.
Válvula de Venteo	Obstrucción por acumulación de suciedad y fallos mecánicos.
Conexiones entrada y salida	Fugas, obstrucciones y desconexiones involuntarias.
Escalera	Corrosión y daño físicos.

Fuente: Elaboración propia en base a (RCM, Universidad Saliciana,2021).

Figura 37:

Modo de fallo de los componentes.



Fuente: Elaboración propia en base a (gestión de mantenimiento, mendizabal,2019)

2.2.3.4 Efecto de falla

Un efecto de fallo se define como el resultado de un modo de fallo en la función del sistema percibida por el usuario. Este análisis determina cual es el impacto generado, una vez que ha ocurrido una falla en los componentes del tanque TK-302, a continuación, se detallara en la tabla 13, analizando que uno de los efectos principales es fuga del combustible almacenado y formación de grietas generando que la estructura se debilite de la pared del tanque.

Tabla 13:

Efecto de falla en los componentes.

Componentes	Efecto de falla
Techo	Ingreso de contaminantes y fuga de gasolina.
Cuerpo y Fondo	Cambios drásticos en la presión y escape de la gasolina.
Válvula de Venteo	Presión excesiva en el tanque, fugas de vapores e interrupción de las operaciones.
Conexiones entrada y salida	Derrame de gasolina y sobrepresión en la estructura.
Escalera	Formación de grietas, la estructura se debilita y se desprende de la pared del tanque.

Fuente: Elaboración propia en base a (RCM, Universidad Saliciana,2021).

2.2.3.5 Consecuencias de las fallas

En este paso se determina cuáles son las consecuencias que afectan de alguna manera al tanque TK-302, se toma en cuenta que cuando se genera una determinada falla los efectos que los causaron son diferentes dependiendo cada situación. Estas consecuencias pueden afectar la parte operativa, no operativa y seguridad-medio ambiente. Para poder obtener resultados de cómo y cuánto afectan las consecuencias de una falla en el tanque TK-302 se determinan ciertos criterios o características de calificación para poder obtener resultados cuantitativos los cuales serán parte fundamental para determinar la criticidad en los componentes del tanque. *(Garcia tobar , 2021)*

- **Consecuencias operativas (G):** Una consecuencia operativa se genera cuando es afectada la producción, así como la calidad del servicio y costos de reparación en algunos casos.
- **Consecuencias de fallas ocultas (D):** Las consecuencias de fallas ocultas pueden exponer a la planta de Oruro a fallas múltiples, en este caso la que genera una insatisfacción para lograr el almacenamiento de gasolina en el tanque TK-302, a continuación, se detalla la descripción y niveles de fallas ocultas en la tabla 14.
- **Consecuencias de seguridad y medio ambiente (S):** Una consecuencia de falla puede determinarse como medio ambiental o de seguridad cuando al momento de entrar en un estado de fallo de los componentes ha repercutido en una contaminación ambiental la misma puede romper las leyes establecidas en nuestro país, así como de seguridad durante el estado de falla el cual permita que se generen lesiones o daños mortales al personal de la planta.
- **Consecuencias no operativas (I):** Estas consecuencias se relacionan directamente con el tema económico, es decir cuáles han sido los costos por mantenimiento correctivos no programados por el tanque TK-302 cuando un componente ha entrado en un estado de falla. Estas consecuencias poseen una gran influencia para el desarrollo en la prevención de una falla potencial, es decir si una falla funcional trae consecuencias graves para la planta de San Pedro se tiene que hacer todo lo posible para tratar de evitar que se encuentren fallas en los componentes, pero si sabemos que una falla tiene muy bajas consecuencias hacia su entorno quizás solo se deba poner atención en su mantenimiento de rutina. *(Garcia tobar , 2021)*

Una vez identificadas todas las consecuencias que afectan en alguna escala a la planta de San Pedro, se procede a calificar cuantitativamente a cada consecuencia según su nivel de cuantificación para posteriormente encontrar un número IPR (índice de prioridad de riesgo) el cual nos ayuda a futuro a determinar cuáles son los elementos críticos presentes en los componentes del tanque TK-302. (García tobar , 2021).

La cuantificación de las consecuencias de las fallas se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 14:

Niveles de cuantificación de fallas.

Niveles	Cuantificación
Bajo	2 – 3
Medio	4 – 5
Alto	6 – 7
Muy alto	8 – 9
Excesivo	10

Fuente: Elaboración propia en base a (Universidad Saliciana,2021).

2.2.3.6 Análisis de criticidad

Para realizar la evaluación de criticidad en un componente se tiene en cuenta diferentes consecuencias, las cuales se mencionan en el punto anterior, las mismas cuentan con niveles cuantitativos para poder así calificar mediante una decisión técnica y obtener el Índice de prioridad de riesgo (IPR) mediante la fórmula que se muestra.

$$(G + D + I + S) * O = IPR \quad \text{Ec.1}$$

G = Gravedad de fallos.

O = Probabilidad de ocurrencia.

D = Probabilidad de no detección.

S = Consecuencias de seguridad y medio ambiente.

I = Costo de reparación por mantenimiento.

Finalmente, para determinar si un componente del tanque es crítico, se calcula y evalúa el IPR de cada elemento obteniendo un número para cada correspondiente. El IPR debe ser mayor a 100 para que determine que un componente es crítico para la Planta De San Pedro. Este

número se determina en base a un análisis de servicio, frecuencia de fallo, probabilidad de no detección, consecuencias de seguridad y medio ambiente que se genera en la Planta al momento que un componente entra en estado de fallo. A continuación, se realiza el respectivo análisis al trabajo de investigación propuesto. (García tobar , 2021).

Tabla 15:

Análisis de consecuencia de fallas en el Tanque 302, Planta San Pedro – Oruro.

Ítem	Componente	G	O	D	I	S	IPR
1	Techo	4	4	5	3	7	76
2	Cuerpo y fondo	3	3	4	6	5	54
3	Válvula de venteo	3	3	5	6	6	60
4	Conexiones entrada y salida	3	4	6	6	7	88
5	Escalera	3	4	5	5	7	80

Fuente: Elaboración propia en base a (Universidad Saliciana,2021).

2.2.3.7 Tareas proactivas

Para la determinación de las tareas proactivas se tiene que preguntar ¿qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?, esta pregunta compara alternativas de acción que podrán potencialmente manejar diferentes fallas. (Reability, 2010)

Se determino el índice de prioridad de riesgo (IPR) con el objetivo de analizar qué elementos son críticos de fallas para proceder un mantenimiento técnico y de esta manera tener equipos y herramientas en buena calidad y eficaz. A continuación, se propone un Plan de mantenimiento en un intervalo de tiempo de 3 a 6 meses realizando observaciones al equipo y accesorios de parte de un inspector de calidad QA/QC. (Quality assurance/Quality Control).

2.2.3.8 Plan de mantenimiento para un tanque utilizando el método RCM

Seleccionar las estrategias de mantenimiento más apropiadas para mitigar los modos de falla identificados. Estas estrategias pueden incluir mantenimiento preventivo, predictivo, basado en condiciones o reemplazo planificado. A continuación, se describe planes de mantenimiento específicos:

A) Identificación de funciones críticas del tanque: Enumerar las funciones críticas del tanque, como almacenamiento seguro del contenido, prevención de fugas, mantenimiento de la integridad estructural, etc.

B) Identificación de modos de falla potenciales: Analizar los modos de falla que podrían afectar las funciones críticas del tanque. Esto puede incluir corrosión, deterioro del revestimiento, sobrepresión, fallas en las válvulas, etc.

C) Implementación de monitoreo y seguimiento al tanque: Implementar sistemas de monitoreo y seguimiento para asegurar que los planes de mantenimiento se estén ejecutando según lo previsto. Esto puede incluir registros de inspección, análisis de monitoreo, etc.

D) Revisión y actualización continua: Revisar periódicamente el desempeño del plan de mantenimiento y actualizarlo según sea necesario en respuesta a cambios en las condiciones operativas, nuevos modos de falla identificados o mejoras en las estrategias de mantenimiento.

E) Capacitación del personal de la planta operativa: Proporcionar capacitación adecuada al personal encargado de ejecutar los planes de mantenimiento para garantizar su efectividad y seguridad en el trabajo.

F) Gestión de repuestos y materiales: Mantener un inventario adecuado de repuestos y materiales necesarios para llevar a cabo el mantenimiento del tanque de manera oportuna y eficiente.

G) Sistema de gestión integral SGI: Mantener registros detallados de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fechas, resultados, observaciones y cualquier acción correctiva tomada. Esto proporcionará una base para análisis y mejora continua. (Sisa Amaguaya, 2015)

Figura 38:

Propuesta de formulario de inspección tanque TK – 302.

Código Tanque	Capacidad ()	Producto Almacenado	Material	Dimensiones Globales (mm)	Diámetro	Altura Cuerpo	Esesor Pared	Esesor Fondo	Esesor techo
Nombre	Actividades			Estado Actual	Responsable	Observaciones			
Pared del tanque	Determinar el espesor de la pared del tanque								
Juntas soldadas	Realizar las tomas radiográficas de las juntas soldadas								
Accesorios	Inspeccionar grietas o fugas que puedan haber en las juntas soldadas de las toberas, los accesos, y placas de refuerzo								
	Inspeccionar el estado de las válvulas, manifold, y orejas del tanque								
	Inspeccionar el estado de los componentes del sistema contra fuego								
	Inspeccionar el estado de las bombas de circulación								
	Revisar el estado de los reguladores del sistema de purgas de gas								
	Revisar el estado de los reguladores de temperatura								
Anillo de concreto	Observar nivel de calcinación								
	Observar la existencia de aguas subterráneas								
	Verificar el estado de los pernos de anclaje								
	Observar si tiene grietas o está quebrado								
Silo de drenaje	Comprobar que el drenaje está lejos del tanque y de las tuberías								
	Comprobar el funcionamiento del drenaje del dique								
Suelo (erosión)	Observar si hay erosión bajo el tanque								
	Observar si hay asentamientos del suelo								
Housekeeping	Examinar el área por la acumulación de basura, vegetación etc.								
	Condición de muros de contención								
SIMBOLOGIA S=Satisfactorio R=Regular M=Mal	OPERADORA			INSPECTOR			FECHA DE INSPECCIÓN		
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>_____ NOMBRE</div> <div>_____ FIRMA</div> </div>			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>_____ NOMBRE</div> <div>_____ FIRMA</div> </div>			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>_____ FECHA</div> <div>_____ HORA</div> </div>		

Fuente: Elaboración propia en base a (RCM, Universidad Saliciana,2021).

2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El proceso de la propuesta de investigación se centra fundamentalmente en el estudio técnico del Método RCM, aplicado al tanque TK-302 de gasolina especial de la planta San Pedro ciudad de Oruro, identificando que no posee de un plan de mantenimiento preventivo. Por tal motivo se propone un estudio de investigación detallada sobre un método de mantenimiento centrado en la confiabilidad conocido como RCM, que tiene la capacidad de aumento de la eficiencia, reducción de costos, mejora de productividad.

Posteriormente se realizó un diagnóstico general mediante un análisis descriptivo a siete tanques de almacenaje de los cuales dos tanques almacenan gasolina especial, tres tanques almacenan diésel oil, un tanque que almacena kerosene y un tanque que almacena diesel interfase, la planta tiene una capacidad de almacenaje de 8.509.349 litros. El análisis y diagnóstico se realiza al tanque TK-302 de gasolina especial, considerando que presenta múltiples daños de infraestructura que ocasionan fallas en su operación, como ser: corrosión en sus diferentes partes constitutivas del tanque, desnivel del terreno, soldadura ineficiente, fugas, limpieza inadecuada generando crecimiento de incrustaciones microbianas, desgastes mecánicos, llegando a la conclusión que la causa principal es que no existe una inspección periódica en los siete tanques y la planta en general de San Pedro.

Las variables ya mencionadas es el motivo transcendental que nos impulsa a investigar, proponer, analizar métodos innovadores, diagnosticar su eficiencia, entre otros, por tal razón se propone el estudio técnico del Método RCM, describiendo como una estrategia de mantenimiento tecnológico con la capacidad de reducir consecuencias que generan fallos en los equipos y accesorios proponiendo tareas proactivas, propone evaluación, planificación y propuesta de mantenimiento.

CAPITULO III: CONCLUSIONES

- Se realizó la descripción del método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), realizando un estudio de manera detallada los principios, procesos, aplicaciones y ventajas y desventajas del método RCM, recalcar para realizar el primer objetivo se realizó un análisis descriptivo las características de una planta de almacenaje de combustibles líquidos, según su diseño y descripción de equipos y herramientas.
- Se realizó un diagnóstico al sistema operativo actual de la planta de San Pedro ubicado en la ciudad de Oruro, en la avenida Tomas Barrón, los productos que se almacenan son: Gasolina especial, diésel oil, kerosene y diésel de interfase, cuenta con una capacidad de almacenaje de 8.509.349 litros, los tanques tienen un espesor del material de acero de 4,8 mm aproximadamente, el problema principal es que los tanques manifiestan una mediana cantidad de corrosión, el principal motivo es que presenta más de 10 años de operación por lo cual un 70% de sus maquinarias no operan al 100 %.
- Se identificó de forma precisa y sistemáticas las posibles causas de fallas que existen en el tanque de estudio TK-302, observando mediante registros fotográficos las fallas críticas como ser: desnivel del terreno, defectos en la soldadura, detección de crecimiento de microorganismos, etc.
- Se realizó una propuesta de procedimiento específico de RCM al tanque TK-302 con el objetivo de mejorar la calidad y eficiencia del mismo, es una de las soluciones más precisas para que el tanque opere de manera más segura y eficiente brindando seguridad, calidad a los operadores y usuarios.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de la metodología RCM que busca reducir las consecuencias que generan los diferentes fallos en los equipos y accesorios. Al realizar un análisis de criticidad a través del IPR ayuda a centrar la solución en un solo grupo o conjunto específico varios elementos que se encuentren en malas condiciones o fallas, realizando una calificación cuantitativa para determinar si el elemento es crítico o no, con el objetivo de buscar una solución al problema para poder optimizarlos a través de un plan de mantenimiento estratégico. Este proceso ayuda a un mejoramiento continuo al momento de realizar una inspección o mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Alvinox. (Marzo de 2023). Principales características de los tanques de almacenamiento. *Alvinox*.
- 2) Angeles, F. (s.f.). *Servicio Geologico Mexicano* .
- 3) ANH, A. N. (2017). *Resolucion Administrativa RAR-ANH-ULGR N0272/2017*. La Paz.
- 4) API Standard 650, 1. E. (April 20, 2020). EEUU: API publications.
- 5) ASME B31.1. (2020). *American Society of mechanical engineers* . EEUU.
- 6) Celada Bustamante, N. (2020). *Diseño De Un Sistema De Protección Catódica Por Corriente Impresa Para Incrementar La Vida Útil De Los Tanques Estacionarios De Los Tanques Estacionarios De Almacenamiento De lento De 5000 Y 3000 Galones En El Grifo "San Juan"-Lambayeque*. Chiclayo .
- 7) CLH, S. (2016). *Instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos*. España: Compañía Logística de Hidrocarburos CLH, S.A.
- 8) Dorado Vicente, R. (Septiembre 2019). *Plan De Mantenimiento De Una Estacion De Servicio*. Universidad de Jaen Escuela politecnica superior de jaen .
- 9) EMERSON. (2023). *Guia de Valvulas de Venteo*.
- 10) Enova Levante. (2018). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. España.
- 11) Esparza, F. (s.f.). *Combustibles solidos, liquidos y gaseosos*. Bomberos De Navarra Nafarroako Suhiltzaileak.
- 12) Estrucplan. (2003). *Tanques Para Almacenamiento Subterráneo*. *Estrucplan*.
- 13) Gaceta Oficial de Bolivia. (2021). *Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. Publicación de todas las normas y leyes bolivianas*. La Paz .
- 14) Garcia tobar , M. (2021). *Elaboracion de un plan de mantenimiento basado RCM, empresa publica EMMAIPC*. Cuenca - Ecuador .

- 15) Gonzales Alvarado, M. (2018). *Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Aplicado Al Sistema Hidráulico De La Planta Generadora Huaji De Cobee*. Journal Boliviano De Ciencias.
- 16) Gonzales , D. (2018). *Diseño y calculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura*. Madrid.
- 17) Gonzales, F. (2023). *Diseño y construccion y puesta en marcha de tanques* . Peru.
- 18) Gubinelli, G. (23 de junio de 2015). Tanues de combustibles subterrneos. *Surtidores*.
- 19) Hidalgo, A. (2022). *Propuesta de mejora en la confiabilidad operacional en una planta de crudo pesado*. Peru : Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas .
- 20) IBM. (2014). *Gestion de Aprovechamiento con el metodo RCM*. Mexico.
- 21) IBMETRO. (2022). *Instituto boliviano de metrologia IBMETRO*. LA PAZ, BOLIVIA .
- 22) Industry, D. (2016). *Estructuras metalicas para tanques* .
- 23)ISO 14000. (2015). *protección, prevención, contaminación y necesidades socio-económicas*. EEUU.
- 24) ISO 31000. (2018). *norma internacional para la gestión del riesgo*. EEUU.
- 25) ISO 45001. (2015). *sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo*. EEUU.
- 26) ISO 9001. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos*.
- 27) Keep, U. (2015). *Expertos en Mantenimientos y operaciones Industriales*.
- 28) Lopez Miranda, C. A. (2011). *Propuesta para una mejora en el sistema de destrubucion de combustibles, en las gasolineras don arturo*. Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingenieria Escuela De Ingenieria Mecanica Industrial , Guatemala.
- 29) Madic, J. (2020). *Mantenimiento de estaciones de servicio*. España.
- 30)Maya. (2018). *Métodos y técnicas de investigación: Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. Universidad Veracruzana .

- 31) Medina, C. (2018). *Evaluación Del Sistema De Protección Catódica A Los Tanques*. Escuela superior politecnica de chimborazo- Ingenieria quimica , Ecuador, Riobamba.
- 32) Moreno Domenech , N. (s.f.). *Diseño De Tanque De Almacenamiento Para Gasolina Mediana*. Comando General Del Ejército Escuela Militar De Ingenieria , Santa Cruz.
- 33) Norma NFPA 30. (2024). *Norma NFPA 30. Código para líquidos inflamables y combustibles – Alcances y aplicaciones*. EEUU.
- 34) Quiroz Hernandez, R. (2023). *Consideraciones para la sustitución de tanques en las Estaciones de Servicio*. Surtidores Latam Mexico, Mexico.
- 35) Ramon , T. (2021). *Importancia del mantenimiento de las estaciones de servicio*. España - Valencia.
- 36) Rios Lino, M. (2016). *Tipos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos*.
- 37) Rios, Z. (2021). *Combustibles líquidos, sólidos y gaseosos* .
- 38) Rivera Garcia , P. (s.f.). *Marco teórico, elemento fundamental en el proceso de investigación científica*. España.
- 39) SagaFluid. (2014). *Tanques de almacenamiento para líquidos*.
- 40) Wastech. (2015). *Limpieza Profesional de Tanques de Combustible*. Wastech.
- 41) YPFB LOGISTICA. (2021). *YPFB Logística*. La Paz.
- 42) YPFB LOGISTICA S.A. (2021). *Planta de San Pedro - Oruro*.
- 43) YPFB REFINACION. (s.f.).
- 44) YPFB REFINACION S.A. (2013). *FICHA TECNICA DE COMBUSTIBLES* . LA PAZ .

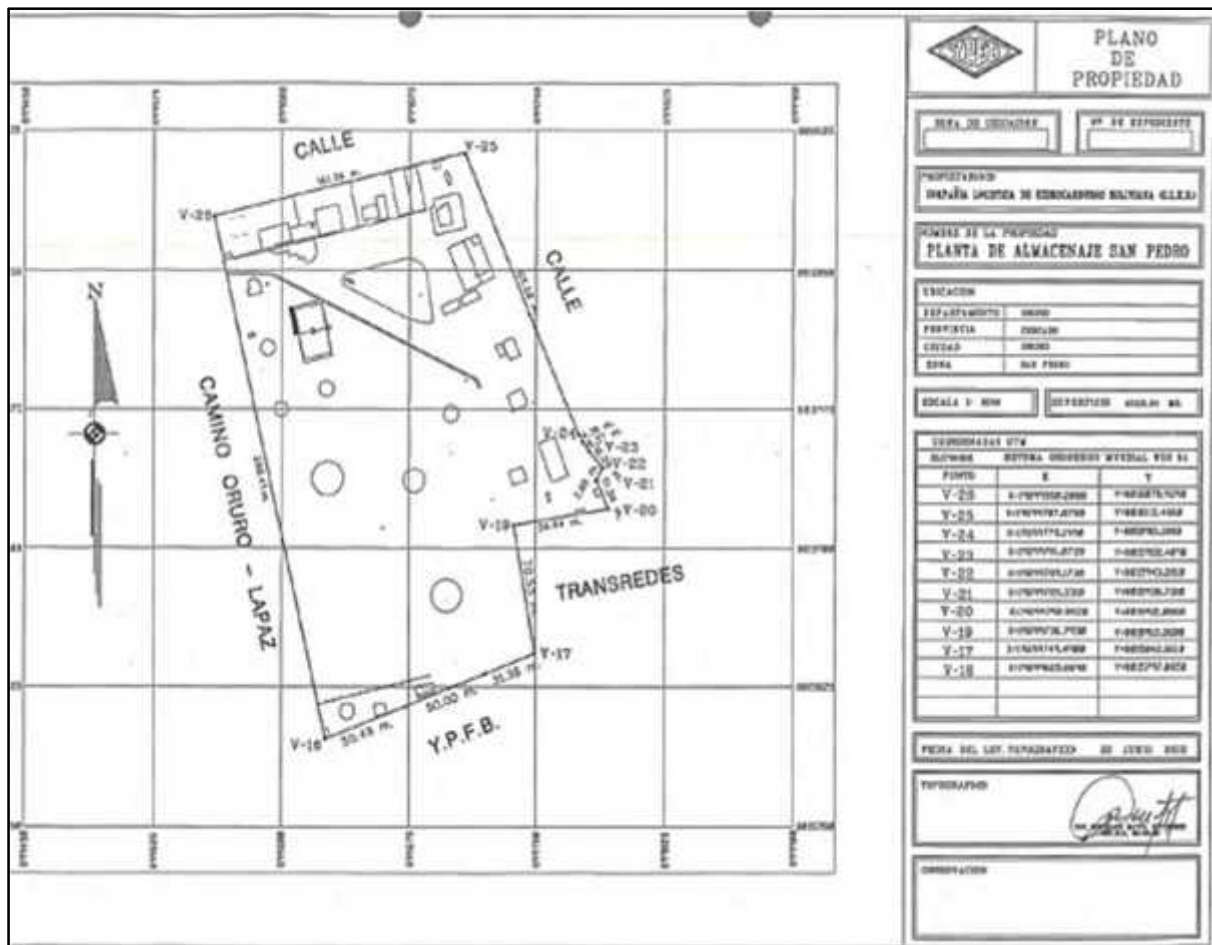
ANEXOS

Anexo A. Términos de referencia TDR camión cisterna.

DESCRIPCIÓN TECNICA VEHICULAR	
DATOS DEL VEHICULO MARCA : FORLAND ACTIVIDAD: CAMION CISTERNA PROPIETARIO : INVERSIONES Y COMBUSTIBLES MANU S.C.R.L. CODIGO DEL CAMION CISTERNA: PI-9608	
Placa de Rodaje: C3U-875 Servicio : Transporte de Combustibles Tipo de carrocería: Cisterna Combustible : Diesel N° de Motor : YC6J19020J1DF8B00017 N° de Serie : LVBV5PDCXBN090271	Modelo : INCAPOWER F130 Color : PLATA ROJO AZUL Cilindraje : 6 Clase de Vehículo: N3
ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL REGISTRO DE HIDROCARBUROS: REGISTRO : 93164-060-180711 ACTIVIDAD : CAMION TANQUE/CAMION CISTERNA – TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS Y OPDH PRODUCTOS : DIESEL BX/GASOHOLES/GASOLINAS PARA USO AUTOMOTOR CAPACIDAD LIQUIDOS : 3000 GLNS CON DISPENSADOR DISPENSADOR/CONTOMETRO: SI INCLUYE COMPARTIMENTOS : Compartimento 1 : 1000 glns; Compartimento 2 : 500 glns; Compartimento 3 : 500 glns; Compartimento 4 : 500 glns; Compartimento 5 : 500 glns	
TIPOS DE DOCUMENTOS <ul style="list-style-type: none">Ficha de Registro OSINERGMIN N° : 93164-060-180711Tarjeta de Propiedad N° : 52155003PLAN DE CONTINGENCIA PARA DERRAMES Y EMERGENCIAS	
	

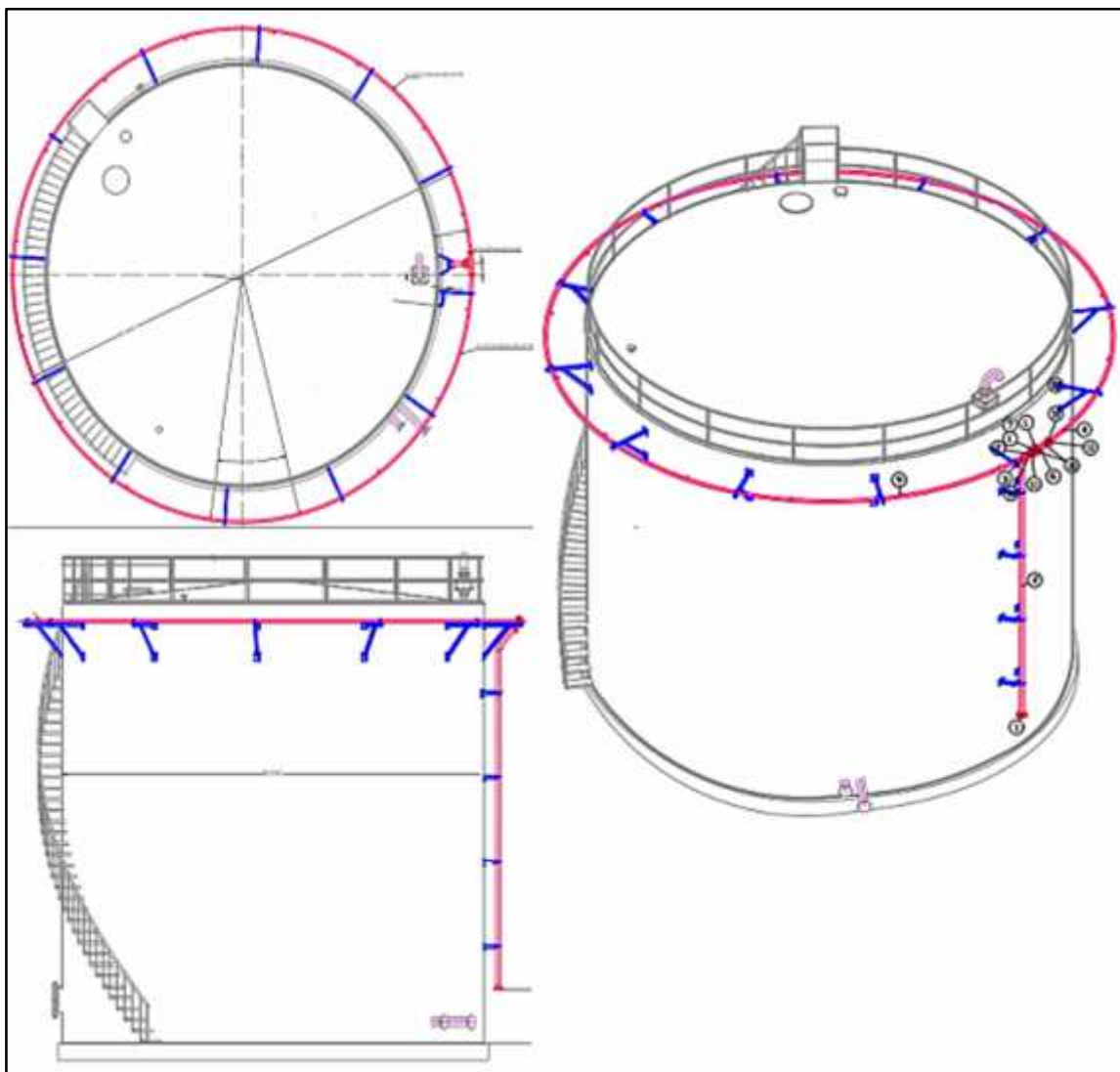
Fuente: Obtenido de inspección de combustibles, ANH,2023.

Anexo B. Ubicación Geográfica y distribución Planta Oruro.



Fuente: Obtenido del término de referencias, Planta San Pedro, YPFB, 2015.

Anexo C. Vista en planta, elevación isométrica TK-302.



Fuente: Obtenido de supervisión de planta, (YPFB LOGISTICA S.A., 2021)

Anexo D. Ficha de seguridad del combustible gasolina.

Producto: GASOLINA ESPECIAL		Versión: 3
Aspecto: Líquido claro ligeramente amarillo, de olor característico.		
1.- FICHA DE EMERGENCIA		
	Riesgo a la salud: 1 Ligeramente peligroso Riesgo al incendio: 3 Puede inflamarse en condiciones casi normales Reactividad: 5 Estable Riesgo específico:	 Descripción de clase y subclase de riesgo: Líquido inflamable Número de riesgo: 33 Número ONU: 1203
2.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL		
EPP:	Específico: Guantes impermeables (PVC, polietileno o neopreno), uso de respirador con filtro químico para vapores orgánicos, anteojos protectores de seguridad especialmente diseñados para protección contra salpicaduras de líquidos.	
3.- RIESGO		
Fuego:	Líquido y vapor inflamable, los contenedores pueden explotar si son sometidos al calor. Se puede encender por calor, chispa, llama o descarga electrostática. El contacto con agentes oxidantes puede producir explosión. Temperatura de auto inflamación = 250°C.	
Salud:	El contacto repetido o prolongado con la piel puede causar irritación y dermatitis. La inhalación crónica puede causar daños al hígado y a los riñones. La ingestión causa irritación gastro intestinal, pérdida de consciencia y puede causar neumonía. El contacto con los ojos causa irritación e inflamación.	
Medio Ambiente:	Altamente volátil, sus vapores son perjudiciales al medio ambiente, el producto es altamente tóxico para la vida acuática, debido a la presencia de hidrocarburos aromáticos. Puede afectar el suelo y por percolación, degradar la calidad del agua subterránea.	
4.- EN CASO DE ACCIDENTES		
Derrame:	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuar o aislar el área de peligro. • Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. • Detener el derrame si puede hacerlo sin riesgo. • Absorber el remanente o los derrames pequeños con arena o tierra. • Colocar en una instalación apropiada los desechos. 	
Fuego:	<ul style="list-style-type: none"> • Medios de extinción adecuados son: espuma para hidrocarburos, polvo químico seco y dióxido de carbono (CO2). • Evacuar o aislar el área de peligro. • Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. • Usar equipo de protección personal incluyendo un equipo de respiración autocorrenido. • Retirar el material combustible de los alrededores. • Refrir los contenedores si pueda hacerlo sin riesgo, en caso contrario, enfriarlos con agua en forma de rocío. • No introducir agua en los contenedores. 	
Contaminación:	<ul style="list-style-type: none"> • Recoger lo vertido con tierra u otros materiales absorbentes inertes. • No lanzar por la cloaca o los cursos de agua. • Introducir el material en un contenedor apropiado para desecho. • Remover hacia un área segura y abierta para que se realice la evaporación natural. 	

Fuente: Obtenido de ficha técnica de la empresa (YPFB REFINACION S.A., 2013)