

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA



PROYECTO DE GRADO

**“PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
RCM A LOS POZOS DEL CAMPO SAN ALBERTO”**

POSTULANTE: Univ. MARCELO ANDRÉS SERRANO ALCÓN

TUTOR: Ing. M.Sc. MARCO ANTONIO MONTESINOS MONTESINOS

LA PAZ – BOLIVIA

2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

*El presente trabajo está dedicado, a mis Abuelos,
Padres y Hermana por haber sido mi apoyo a lo
largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo
de mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a los docentes, por la enseñanza que me dieron y un agradecimiento especial a mi tutor M.Sc.Ing. Marco Montesinos Montesinos quien desde el primer momento me brindó su amistad y apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ACRÓNIMOS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
CAPITULO I - GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.2.1. Identificación del Problema.....	3
1.2.2. Identificación del Problema.....	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Justificación.....	5
1.4.1. Justificación Técnica.....	5
1.4.2. Justificación Económica	5
1.4.3. Justificación Ambiental	6
1.5. Alcance	6
1.5.1. Alcance Temático	6
1.5.2. Alcance geográfico	6
1.5.3. Alcance temporal.....	7

1.6.	Metodología	7
CAPITULO II - MARCOTEÓRICO		9
2.1.	Operaciones con equipo de Pulling.....	9
2.1.1.	Herramientas utilizadas en los equipos de Pulling.....	10
2.1.2.	Maniobras usuales con equipo de Pulling	11
2.2.	Modelo de criticidad semicuantitativo (MCR) (Matríz de criticidad por riesgo)	12
2.3.	Mantenimiento.....	13
2.3.1.	Tipos de mantenimiento	20
2.3.1.1.	Correctivo	20
2.3.1.2.	Predictivo.....	21
2.3.1.3.	Preventivo.....	21
2.4.	Definición de confiabilidad	21
2.4.1.	Definición de disponibilidad	22
2.4.2.	Mantenibilidad.....	23
2.5.	Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.....	23
2.5.1.	Fases para implementar un RCM	24
2.5.2.	Funciones	28
2.5.2.1.	Funciones primarias	28
2.5.2.2.	Funciones secundarias.....	28
2.5.3.	Fallas funcionales	28
2.5.4.	Modo de falla	28
2.5.5.	Efectos de las fallas	29
2.5.6.	Consecuencias de fallas	30
2.5.6.1.	Consecuencias de los fallos ocultos.....	30

2.5.6.2.	Consecuencias medioambientales y de seguridad.....	30
2.5.6.3.	Consecuencias operativas.....	31
2.5.6.4.	Consecuencias no operativas.....	31
2.5.7.	Mantenimiento proactivo.....	31
2.5.7.1.	Restauración programada	31
2.5.7.2.	Descarte programado.....	32
2.5.7.3.	Tareas en condición	32
2.5.8.	Acciones de Default.....	32
2.5.8.1.	Búsqueda de fallas	32
2.5.8.2.	Mantenimiento no programado.....	32
2.5.8.3.	Rediseño	33
2.5.9.	Hoja de información.....	33
2.5.10.	Hoja de decisión	34
CAPITULO III - MARCO PRÁCTICO		36
3.1.	Antecedentes del campo San Alberto	36
3.1.1.	Ubicación.....	36
3.1.2.	Historia exploratoria.....	38
3.1.3.	Descripción actual del campo	38
3.1.4.	Geología de superficie.....	41
3.1.5.	Prospección sísmica.....	42
3.2.	Aplicación del modelo de criticidad semicuantitativo MCR	43
3.2.1.	Frecuencia de fallos.....	43
3.2.2.	Consecuencias	46
3.2.2.1.	Medio ambiente y seguridad.....	46
3.2.2.2.	Producción.....	47

3.2.2.3.	Mantenibilidad	48
3.2.2.4.	Estimación del valor porcentual de los factores considerados en las consecuencias de fallos.....	49
3.2.3.	Aplicación del RCM según el modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo	50
3.2.4.	Desarrollo del RCM	52
3.3.	Elaboración de la hoja de información de los pozos con el sistema de extracción por Swap.....	52
3.3.1.	Subsistema tubing	54
3.3.2.	Subsistema standing valve	54
3.3.3.	Hoja de información de los pozos con el sistema de extracción por Swap	54
3.4.	Elaboración de la hoja de decisión de los pozos con el sistema de extracción por Swap.....	56
3.4.1.	Código RCM de los análisis de modos y causas de fallas.....	56
3.4.2.	Consecuencias	57
3.4.3.	Tipo de mantenimiento	57
3.4.4.	Tiempo programado	57
3.4.5.	Número de mantenimientos al año	58
3.4.6.	Tiempo para realizar el mantenimiento (%) – Semaforización	59
3.4.7.	Último mantenimiento	60
3.4.8.	Horómetro.....	60
3.4.9.	Próximo mantenimiento	61
3.5.	Hoja de decisión para los dos pozos seleccionados	61
3.5.1.	Hoja de decisión para el pozo SAL-13.....	62
3.5.2.	Hoja de decisión para el pozo SAL-14.....	63

3.6.	Procedimientos operacionales de Pulling	64
3.7.	Archivos relacionados al generar una orden de trabajo para mantenimiento de pozos	64
3.7.1.	Check list – Montaje de la unidad de Pulling	65
3.7.2.	Reporte de pulling.....	65
3.7.3.	Planilla de inspección de varillas	65
3.7.4.	Planilla de inspección de una vía, locación e instalaciones del pozo	65
3.7.5.	Movimiento de materiales	66
3.7.6.	Medición de tuberías y accesorios.....	66
3.8.	Propuesta de manual de operación y mantenimiento preventivo de equipos	66
3.8.1.	Seguridad	66
3.8.2.	Advertencias.....	67
3.8.3.	Propuesta de aplicación de medidas preventivas del modelo	68
3.8.4.	Resultados esperados	69
3.8.4.1.	Generalidades	69
3.8.4.2.	Funciones del personal relacionado con el mantenimiento	70
3.8.4.3.	Desarrollo	71
3.9.	Análisis Económico	73
3.9.1.	Costos de mantenimiento	73
3.9.2.	Costos de implementación del RCM.....	74
3.9.3.	Análisis costo-beneficio	77
CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		79
4.1.	Conclusiones.....	79
4.2.	Recomendaciones	80

BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83
GLOSARIO DE TERMINOS.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Unidad de Pulling.....	9
Figura 2.2.	Densidad de falla.....	22
Figura 3.1.	Ubicación campo San Alberto.....	37
Figura 3.2.	Mapa geológico	41
Figura 3.3.	Mapa base de líneas sísmicas.....	42
Figura 3.4.	Diagrama de Pareto.....	45
Figura 3.5.	Pozos de campo San Alberto	46
Figura 3.6.	Estado mecánico final del arreglo del pozo SAL-14	53
Figura 3.7.	Símbolos de seguridad	66
Figura 3.8.	Ruta de inspección para una falla.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Herramientas utilizadas en operaciones de Pulling para el campo San Alberto	10
Tabla 2.2. Matriz de criticidad propuesta por el modelo MCR.....	13
Tabla 2.3. Hoja de información	33
Tabla 2.4. Hoja de decisión.....	34
Tabla 3.1. Datos generales del bloque San Alberto	38
Tabla 3.2. Estado actual de Campo San Alberto	39
Tabla 3.3. Estratigrafía.....	40
Tabla 3.4. Pozos del campo San Alberto a evaluar	43
Tabla 3.5. Cantidad de intervenciones por las operaciones de pulling	44
Tabla 3.6. Ponderación de las frecuencias de fallas.....	45
Tabla 3.7. Ponderación de las consecuencias de fallas, factor medio ambiente y seguridad	47
Tabla 3.8. Producción diaria de los pozos por Swab y Plunger Lift	47
Tabla 3.9. Ponderación de las consecuencias de fallas (factor de producción)	48
Tabla 3.10. Profundidad de la tubería de producción de los pozos	48
Tabla 3.11. Ponderación de las consecuencias de fallas (factor de mantenibilidad)	49
Tabla 3.12. Estimación del valor porcentual	49
Tabla 3.13. Matriz de criticidad	50
Tabla 3.14. Jerarquización de pozos	51
Tabla 3.15. Selección de pozos según el modelo de criticidad semicuantitativo	51
Tabla 3.16. Pozos del campo San Alberto que se aplicará RCM.....	52

Tabla 3.17. Hoja de información del pozo con el sistema Swap	55
Tabla 3.18. Obtención del tiempo programado de los pozos que funcionan con el sistema de extracción por Swap	58
Tabla 3.19. Obtención del tiempo hasta 19 de julio del 2021 donde se obtuvieron datos	59
Tabla 3.20. Semaforización	59
Tabla 3.21. Hoja de decisión para el pozo SAL-13.....	62
Tabla 3.22. Hoja de decisión para el pozo SAL-14.....	63
Tabla 3.23. Precios referenciales de los modos de falla de los pozos con el sistema de extracción por SWAB.....	73
Tabla 3.24. Precios referenciales de los modos de falla de los pozos con el sistema de extracción por SWAB.....	74
Tabla 3.25. Costos para asegurar la calidad en el mantenimiento en bolivianos..	75
Tabla 3.26. Costos de administración en bolivianos	76
Tabla 3.27. Costos de producción en bolivianos.....	76
Tabla 3.28. Costo de recurso humano en bolivianos	77
Tabla 3.29. Total costos de implementación del RCM.....	77

ACRÓNIMOS

RCM: Reliability Centered Maintenance

MCR: Matriz de Criticidad por Riesgo,

SAL: San Alberto.

AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Fallos.

YPFB: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos.

ISO: International Organization for Standardization.

SG: Sistema de Gestión.

MD: Profundidad Medida

MMscfd: Million Standard Cubic Feet por Day

CDC: Completación Dual Concéntrica

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de grado tiene como objetivo desarrollar un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, por su siglas en inglés (RCM) Reliability Centered Maintenance, en las operaciones de Pulling a los Pozos del Campo “San Alberto” donde los costos de producción y mantenimiento ocupan un primer plano frente a la rentabilidad, los pozos del campo, presentan una alta frecuencia de fallos en las terminaciones de producción por swab y plunger lift.

La investigación comprende la aplicación de un Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo, que se aplicó a los 6 pozos seleccionados del campo en estudio que cuentan con los sistemas de extracción antes mencionados. Este modelo está basado en la estimación del factor de riesgo a través de los parámetros frecuencia y consecuencias de fallos. Las frecuencias de fallos de los pozos seleccionados se cuantificaron mediante un historial de las intervenciones de pulling que data desde el año 2012 hasta febrero del 2021; y en la consecuencia de fallos se consideraron los factores de Medio Ambiente y Seguridad, Producción y mantenibilidad, dando como resultado la jerarquización por criticidad de los pozos.

La metodología RCM, se aplicó a los 2 Pozos (SAL-13 y SAL-14) que calificaron en el rango de muy alta criticidad según el Modelo de Criticidad Semicuantitativo, el desarrollo de esta metodología, resume dos documentos claves de trabajo que son la hoja de información y decisión. En la hoja de información se describen los componentes de la completación de los pozos que se obtienen del análisis de modos de falla y sus efectos; en la hoja de decisión se detallan que rutina de mantenimiento se va realizar, el tiempo para realizar el mantenimiento; y otros aspectos importantes a considerar.

Palabras claves: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), Operaciones de Pulling, Swab, Plunger Lift, Completación de Pozos, Frecuencias de fallos, Consecuencias de fallos, Hoja de Información, Hoja de decisión.

CAPITULO I - GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el presente trabajo se desarrollara un plan de Mantenimiento, que es un documento, en la que se describe un conjunto de tareas que se deben realizar para poder optimizar los recursos que se emplean.

Los Pozos en producción del Campo “San Alberto”, que cuenten con sistemas de extracción por Plunger Lift y Swab, debido al alto índice de frecuencias de fallos que presentan, ocasionando en varios periodos de tiempo su inactividad que generan pérdidas de producción y costos por mantenimientos no programados.

Mediante un Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo, se identificará y jerarquizará por su importancia los pozos del campo sobre los cuales se implementará un plan de mantenimiento en las operaciones de Pulling, utilizando la metodología RCM.

El RCM permitirá desarrollar rutinas de mantenimiento y tipos de procedimientos operativos seguros, para cada modo de falla, además permitirá obtener una lista en áreas donde deban realizarse cambios en diseños o del modo operativo, para revertir las situaciones en las que no se están logrando los niveles productivos deseados con la configuración actual, también provee una visión mucho más clara de las herramientas requeridas para el mantenimiento de cada activo, y para decidir sobre los repuestos que deben conservarse en stock.

1.1.1. Antecedentes

(MOUBRAY, 2004), El mantenimiento centrado en confiabilidad se desarrolló inicialmente en la industria aeronáutica norteamericana, las compañías aéreas vieron que sus mantenimientos eran muy caros y desventajosa por estar mucho tiempo en tierra para su mantenimiento preventivo.

(Castillo, 2017), realizó la publicación de: “Propuesta de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de las Unidades de Bombeo Horizontal Multietapas del Sistema

Power Oil, de Petroamazonas EP”, en el Ecuador, se propuso un plan de Mantenimiento a la Unidad de bombeo horizontal multietapas HPS del sistema Power Oil utilizando la metodología RCM, ya que en varios periodos de tiempo el sistema estuvo inactivo debido a las fallas inesperadas de la unidad, generando una disminución considerable en la producción de petróleo. Mediante la aplicación del RCM se obtuvo una reducción en la tasa de fallo de 0.00142 a 0.0006, en un tiempo medio de fallas entre 29 a 69 días. Por lo tanto, se sugiere la ejecución del plan de mantenimiento¹.

(Coronado, 2015), realizó la publicación de: “Diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad basado en el análisis de modo y efecto de fallas a unidades de bombeo mecánico de pozos de extracción de petróleo crudo, para aumentar su disponibilidad - Provincia de Talara”, donde propone aumentar la disponibilidad de las 158 unidades de bombeo mecánico de pozos de extracción de petróleo crudo, mediante el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en análisis de modos y efectos de fallos, AMEF. Mediante un análisis de criticidad a los principales componentes en falla de las unidades de bombeo a los pozos, resultaron como componentes críticos el motor, la caja de engranajes y la prensa estopa; y a través de un análisis de modos y efectos de fallas a las 22 fallas de los 3 componentes críticos, se evaluaron 45 efectos potenciales.

(Ayo, 2015), realizó la publicación de: “Desarrollo de un Plan de Mantenimiento para un sistema de terminación Dual Concéntrica del segmento Completions en la empresa Schlumberger del Ecuador S.A.”, donde propuso mejorar y optimizar el proceso de mantenimiento de una terminación dual concéntrica (CDC) del segmento Completions de la empresa Schlumberger del Ecuador S.A. Dicho plan de mantenimiento ayudará a optimizar principalmente los tiempos de trabajo entre operaciones o actividades a realizar dentro del proceso de mantenimiento.

¹ Geancarlo Junior y Coronado Juárez, Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El sistema de CDC brinda muchos beneficios al cliente por sus características tales como: aplicación para zonas de diferente presión, evita flujo cruzado entre las formaciones, impide la mezcla de fluidos producidos y optimizar los equipos, por ende, es de mucha importancia agilizar y optimizar el tiempo de trabajo entre actividades del mantenimiento del sistema para lograr satisfacer las necesidades del cliente y obtener una ganancia económica en el menor tiempo posible.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Identificación del Problema

En el Campo San Alberto además de las operaciones de producción, se realizan operaciones de mantenimiento realizadas a las instalaciones de los pozos, estas son ejecutadas por los equipos de Pulling. Las intervenciones se realizan en los pozos que se encuentran sin producción, con merma de producción, con atascamiento de los equipos de fondo de los diferentes sistemas de extracciones que tiene la compañía operadora o para realizar mejoras y/o optimizaciones. Los motivos de intervenciones pueden ser: cambio de bomba de subsuelo, sustitución de la producción con problemas (servicio completo), operaciones de recuperación de material (pescados), operaciones de beleo (limpieza de pozos), tratamientos parafínicos, entre otros.

El problema radica en los pozos que presentan un alto índice de frecuencia de fallos en las terminaciones de producción, que generan una alta frecuencia de servicios de Pulling; en consecuencia, provocan la inactividad de los pozos que impiden cumplir con los planes de producción, generando pérdidas económicas por producción y costos por mantenimiento. RCM o mantenimiento centrado en la confiabilidad es una técnica empleada para saber que debe hacerse para que los activos continúen funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo. (Moubray, 2004, pág. 11).

Por lo tanto, permite aumentar la fiabilidad de los activos, disminuyendo el tiempo de paradas imprevistas de los activos y pérdidas de producción asociadas. Además, aumentan la disponibilidad; es decir, la proporción del tiempo que el

activo está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes por mantenimiento.

1.2.2. Identificación del Problema

El propósito de este proyecto es desarrollar un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, mediante operaciones de Pulling, a los pozos del Campo “San Alberto”, que presenten un alto índice de frecuencia de fallos en las terminaciones de producción por Swab y Plunger Lift, estos tipos de mantenimientos, preventivo y predictivo se ejecutan antes que ocurra la falla, para evitar que el activo entre en estado inactivo, aumentando la disponibilidad y fiabilidad de los activos.

Por lo tanto, RCM no elimina las futuras averías o modos de fallas , sino que puede proporcionar el tiempo requerido para responder a los modos de fallas de manera controlada; proporcionando tiempo para generar una orden de trabajo, para investigar el problema, tiempo para movilizar al personal de reparación, tiempo para organizar los componentes necesarios o un activo completo, en este caso los activos serán los pozos del Campo “San Alberto” que tengan implementado el sistema de extracción por Plunger Lift y Swab.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un plan de mantenimiento de operaciones de Pulling aplicado a los pozos del campo San Alberto que presenten una alta frecuencia de fallos en las terminaciones de producción por Swab y Plunger Lift utilizando la metodología RCM.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recabar información técnica de los pozos del Campo “San Alberto” que se encuentran en producción por Swab y Plunger Lift.

- Jerarquizar los pozos o activos mediante un Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo.
- Estudiar el funcionamiento de cada elemento, herramienta y/o accesorio de la terminación de los pozos del campo.
- Aplicar la metodología RCM.
- Realizar el análisis de efectos y tipos de fallas que se han presentado en los equipos.
- Desarrollar la hoja de información y la hoja de decisión para los pozos seleccionados.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Técnica

El presente estudio permitirá disminuir las frecuencias de fallos, aplicando el método RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para disminuir pérdidas de producción, al generarse fallas funcionales inesperadas en los pozos.

Los pozos ubicados a una determinada distancia de zonas pobladas, implicaría llevar a cabo operaciones de servicio a pozo por la cuadrilla de Pulling, generando operaciones de alto riesgo cerca de la población; por lo tanto, al realizar un buen mantenimiento y llevar un seguimiento a los pozos de alto riesgo se aumentará la disponibilidad en dichos pozos, evitando operaciones de alto riesgo en un intervalo de tiempo corto.

1.4.2. Justificación Económica

Al producirse fallas funcionales en los pozos, generan inconvenientes en el proceso tales como: actividades no programadas por ende actividades a última hora, demora en toma de decisiones, entre otras actividades que provocan la inactividad del pozo, generando significativas pérdidas económicas para la empresa.

Con la ejecución de la metodología RCM se estudiarán los diferentes modos de falla, la misma que permita desarrollar un plan de mantenimiento reduciendo las

causas que provocan las pérdidas de producción y costos operativos de mantenimiento; aumentando la disponibilidad y tomando decisiones efectivas durante el servicio, considerando el precio del barril de petróleo como un factor relevante.

Este proyecto beneficiará a la empresa operadora, pues al evitar pérdidas de producción y reparaciones imprevistas atribuidas a paradas no programadas de los pozos, se cumplirán los objetivos de producción propuestos y no tendrá afectación al presupuesto establecido.

1.4.3. Justificación Ambiental

El impacto ambiental es uno de los problemas principales al realizar perforaciones y actividades hidrocarburíferas, teniendo en cuenta que este aspecto cada día se vuelve más importante, por tanto será de importancia el mantenimiento basado en confiabilidad para evitar las fallas que podrían derivar en impactos ambientales no deseados.

1.5. Alcance

1.5.1. Alcance Temático

Se realizará la jerarquización de pozos del Campo “San Alberto” que se encuentren en producción a través del sistema de extracción por Swab y Plunger Lift, mediante un Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo, este método de criticidad permite identificar y jerarquizar por su importancia los pozos del campo sobre los cuales se debe invertir recursos (humanos, económicos y tecnológicos).

1.5.2. Alcance geográfico

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM será aplicado a los pozos del Campo “San Alberto” que califiquen en el rango de “Muy Alta Criticidad”, según el modelo de criticidad semicuantitativo MCR.

1.5.3. Alcance temporal

La presente investigación, se desarrollará desde el mes de Marzo hasta Octubre de la gestión 2021, se realizará la recolección de información para su posterior análisis, evaluación y propuesta.

1.6. Metodología

Sistemático o de Campo. - Se utiliza para estudiar el activo; es decir, se estudiará los pozos en su contexto operacional actual y cada uno de los componentes que forman parte de la terminación de producción.

Analítico - sintético. - Se examinará detalladamente las fallas funcionales de cada uno de los accesorios o herramientas de la terminación de producción, sus causas, los efectos y las consecuencias operacionales, con el propósito de designar las tareas proactivas para disminuir la tasa de fallas en la terminación y consecuentemente las pérdidas de producción.

Para desarrollar el presente proyecto, que está basado en la metodología RCM, se propone las siguientes actividades:

- Recopilar información técnica de los pozos del campo San Alberto que se encuentran en producción por Swab, y Plunger Lift, para poder realizar la Jerarquización de los pozos.
- Jerarquizar los pozos del campo mediante un modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” matriz de criticidad por riesgo.
- Aplicar la metodología RCM a los pozos que calificaron en el Rango de Muy Alta Criticidad.
- Elaboración de la hoja de información de las herramientas o accesorios que componen la terminación de producción de acuerdo con su sistema de extracción en la hoja de información. Consta de las siguientes actividades:
 - Identificación de la función de cada ítem.
 - Identificación de las fallas funcionales para cada función.

- Mediante un análisis de efecto y tipos de fallas, se identifica los modos de falla, sus causas y consecuencias.
- Elaboración de la hoja de decisión, que está conformada por las siguientes actividades:
 - Asignar el tipo de mantenimiento para cada modo de fallo mediante un árbol lógico de decisiones de RCM.
 - Rutina de mantenimiento que se va a realizar, con qué frecuencia y quien la va a llevar a cabo.
 - Tipo de recursos y materiales que se van a utilizar en cada operación.



CAPITULO II - MARCOTEÓRICO

2.1. Operaciones con equipo de Pulling

El trabajo de Pulling consiste en una operación de mantenimiento, realizada en las instalaciones de los pozos. Estas son ejecutadas por las unidades de Pulling.

Las unidades de Pulling son camiones dotados de una plataforma donde van alojados dos tambores, el tambor que contiene cable de pistoneo liso es de un diámetro 9/16". El tambor principal se halla provisto de un cable de un diámetro 3/4", este es llamado de armado, además está dotado de un mástil doble telescópico, y de varios equipos de terminación para poder realizar la variedad de operaciones que se realizan para dar mantenimiento a las instalaciones de los pozos. (Uguña, 2000, págs. 37,38)

Figura 2.1. Unidad de Pulling



Fuente: Juan J. Galdamez, Equipo de Pulling & Flush-by 2016

2.1.1. Herramientas utilizadas en los equipos de Pulling

Un equipo de Pulling para realizar su tarea, necesita herramientas que garanticen que el trabajo se realizará con eficiencia. A continuación, se detallan las herramientas más utilizadas en los servicios de mantenimiento en los pozos del Campo San Alberto.

Tabla 2.1. Herramientas utilizadas en operaciones de Pulling para el campo San Alberto

HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN OPERACIONES DE PULLING
Manuales
Llaves de varillas de 3/4"
Llaves de varillas de 5/8"
Llaves hidráulicas
Cuña neumática con paladares de 2 3/8" y 2 7/8"
Llave hidráulica de tubo
Elementos de Izaje
Gancho de varillas
Elevadores de varilla de 3/4"
Elevadores de varilla de 5/8"
Elevadores de tubing de 2 3/8"
Elevadores de tubing de 2 7/8"
Elevadores para macarroni de 1"
Elevadores para macarroni de 1 1/4"
Válvula de seguridad del pozo
BOP
Control stripper
Caucho de 2 3/8" de control Stripper
Caucho de 2 7/8" de control Stripper
Evaluación
Equipo de Swap
Porta copas de 2 3/8" para evaluación
Porta copas de 2 7/8" para evaluación
Standing valve
Beleo
Bela mecánica
Bela hidrostática
Pesca
Pescante del standing valve

HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN OPERACIONES DE PULLING
Bloque impresor
Recircular el pozo
Equipos de circulación
Conexiones giratorias (chicksan) de 2" x 5000 lb/pulg ²
Mangueras
Otras herramientas
Calibrador de tubos de 2 3/8"
Calibrador de tubos de 2 7/8"
Estrobos (Cable para levantar carga)
Contador de parafina de 2 3/8" (parafincutter)
Contador de parafina de 2 7/8" (parafincutter)
Medidor de profundidad (Cavins) deptometro
Cinta métrica
Pernos 5/8" x 4", 6 pernos
Herramientas básicas
Comba de bronce de 4 Kilos
Llave francesa de 12"
llave de tubo de 18"
llave de tubo de 24"
llave de tubo de 36"

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Petrobras².

2.1.2. Maniobras usuales con equipo de Pulling

Las operaciones de servicios a pozos con equipo de Pulling en el campo San Alberto, consisten en realizar intervenciones en los pozos que se encuentran: sin producción, con merma de producción, con parte del material del sistema de extracción como pescado, optimizaciones, entre otros.

Por lo tanto, las maniobras más usuales que realiza un equipo de Pulling para el mantenimiento de los modos de falla son:

- Cambio de bomba de subsuelo del sistema de extracción de bombeo mecánico.

² Petrobras, Programa de trabajo y presupuesto de gestión, 2020

- Servicio completo – mantenimiento de los pozos productores con sistemas de extracción de, Swab, Plunger Lift y herramienta local.
- Pesca o recuperación de material.
- Cambio de sistema de levantamiento artificial en los pozos productores.
- Beleo – Limpieza de pozos.

2.2. Modelo de criticidad semicuantitativo (MCR) (Matriz de criticidad por riesgo)

Según Parra y Crespo (2012), las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos humanos, económicos y tecnológicos. (p.1)

Según Betancourt y Trebilcock (2018), el Modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” consiste en métodos basados en opiniones de especialistas, cuantificando valores numéricos relativos, que permiten medir el impacto global basados en criterios técnicos y financieros para jerarquizar activos. (p.67)

Este modelo está caracterizado por:

- Contener un nivel bajo de subjetividad.
- Ser efectivos para jerarquizar procesos.
- Requerir validación y aceptación de los resultados, estimando la desviación estándar.

El modelo propuesto está basado en la estimación del factor de Riesgo a través de las siguientes expresiones:

$$\mathbf{Riesgo = FF \times C \ [Frecuencia * Consecuencias]}$$

Ecuación 2.1.

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos (número de fallas en un tiempo determinado)

C = Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.

Donde las **consecuencias** se calculan con la siguiente ecuación, considerando que la suma del porcentaje debe llegar a 100% o a 1 en su efecto.

$$\begin{aligned} \text{Concecuencia} = & (\text{Impacto en medio ambiente y seguridad } x \%) \\ & + (\text{Impacto producción } x \%) + (\text{Impacto mantenibilidad } x \%) + \text{etc ...} \end{aligned}$$

Ecuación 2.2.

Los resultados de la evaluación de los factores anteriores, se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5, donde el eje vertical está formado por cinco niveles de frecuencia de fallos, mientras que el eje horizontal está formado por cinco niveles de consecuencias de fallos. La matriz está dividida en cuatro zonas que representan cuatro niveles de criticidad:

Zonas de criticidad:

B = Baja criticidad

A = Alta criticidad

M = Media criticidad

MA = Muy Alta criticidad

Tabla 2.2. Matriz de criticidad propuesta por el modelo MCR

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Fuente: Parra & Crespo, métodos de análisis de criticidad, Ingeman 2012

2.3. Mantenimiento

Son todas las actividades necesarias para mantener el equipo e instalaciones en condiciones adecuadas para la función que fueron creadas, además de mejorar la

producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones. (GARRIDO, 2003, pág. 154)

El mantenimiento ha sufrido transformaciones con el desarrollo tecnológico; a los inicios era visto como actividades correctivas para solucionar fallas. Las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las maquinas; con el desarrollo de las máquinas se organiza los departamentos de mantenimiento no solo con el fin de solucionar fallas sino de prevenirlas, actuar antes que se produzca la falla en esta etapa se tiene ya personal dedicado a estudiar en qué período se produce las fallas con el fin de prevenirlas y garantizar eficiencia para evitar los costes por averías. Actualmente el mantenimiento busca aumentar la confiabilidad de la producción; aparece el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistido por computador y el mantenimiento basado en la confiabilidad.

El mantenimiento está basado en los principios como: respeto para todos los empleados y funcionarios, buen liderazgo, trabajo en equipo compartiendo responsabilidades, compromiso con la seguridad y medio ambiente, propiciar ambiente de responsabilidad donde se desarrolle conocimientos y habilidades³.

- **Finalidad del mantenimiento.** La finalidad del mantenimiento es mantener operable el equipo e instalación y restablecer el equipo a las condiciones de funcionamiento predeterminado, con eficiencia y eficacia para obtener la máxima productividad. En consecuencia la finalidad del mantenimiento es brindar la máxima capacidad de producción de la planta, aplicando técnicas que brindan un control eficiente del equipo e instalaciones. (GARRIDO, 2003, pág. 154)
- **Objetivos del mantenimiento.** El mantenimiento tiene como objetivo:
 - ✓ Garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.

³ Resumen conferencia modelo gerencial de mantenimiento - Fundamento filosófico, Monterrey, Junio 5 al 9 2006.

- ✓ Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- ✓ Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- ✓ Maximizar la productividad y eficiencia. (GARRIDO, 2003, pág. 154)

En general todo modelo de mantenimiento debe poseer las características siguientes:

- ✓ Metas claras y precisas.
 - ✓ Incluir la organización con su respectivo personal como gestores del proceso de mantenimiento.
 - ✓ Enfoque a los ejes funcionales de la empresa.
 - ✓ Considerar al proceso de mantenimiento dentro de todas las fases de la empresa y no solo al de operación.
 - ✓ Orientado a evolución y a la mejora continúa.
 - ✓ Incluir aplicaciones sistemáticas y de prioridad para optimizar planes de mantenimiento y asegurar confiabilidad.
- **Basado en confiabilidad.** Es aquel que analiza el ciclo de vida de los activos fijos, generando mejoramiento continuo, desarrollando modelos y metodologías orientados a mejorar la genética de las instalaciones y los equipos de manera segura y brindando al sistema de producción una reducción de costos globales bajo una perspectiva a largo plazo.
El Mantenimiento basado en confiabilidad pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante la integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
Mantiene su atención en las tareas del mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza de donde más beneficio va a reportar.

El objetivo principal es reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarios. (ARATA, 2003, pág. 300)

- **Planeación del mantenimiento.** La planeación del mantenimiento nos permite programar los proyectos a mediano y largo plazo de las acciones de mantenimiento que dan la dirección a la industria. Muchos son los beneficios alcanzados al llevar un programa establecido de modelos de mantenimiento, programación y control del área de mantenimiento, cito algunos:
 - ✓ Menor consumo de horas hombre
 - ✓ Disminución de inventarios
 - ✓ Menor tiempo de parada de equipos
 - ✓ Mejora el clima laboral en el personal de mantenimiento
 - ✓ Mejora la productividad (Eficiencia, eficacia)
 - ✓ Ahorro en costos. (GARCIA, 2019)
- **Principios.** La planeación del mantenimiento está centrada en la producción. El trabajo es para limitar, evitar y corregir fallas.
La planeación centrada en los procesos, todo mantenimiento debe seguir un proceso preestablecido y planificado según el manual de mantenimiento de la empresa.
El mejoramiento continuo y la planificación ayudan a evaluar y mejorar la ejecución del mantenimiento y la producción en la industria.
- **Cronograma.** Es una programación específica de las actividades de mantenimiento en el tiempo. Se puede trazar cronogramas a mediano y largo plazo, proyectando una visión para el desarrollo de la industria en forma efectiva. (REY, 2001)
- **Procesos principales del mantenimiento.** El programa de mantenimiento constituye una sistematización de todas las actividades y estrategias destinadas a prevenir los daños. Su objetivo básico es garantizar la disponibilidad de la instalación para atender el programa de producción con calidad y productividad y asegurar costos adecuados.

Para elaborar el programa de mantenimiento, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Programación.** En la programación se establecen las metas y los objetivos, partiendo de la estructura organizacional, de sus políticas, del tamaño de la empresa y recursos financieros, para después de ello definir actividades y la periodicidad con que se van a realizar. De igual manera se da el orden en que se deben realizar los mantenimientos según su urgencia, disponibilidad del equipo de mantenimiento y del material necesario. La programación del mantenimiento está dada según el equipo y la inspección que se realicen en la industria: esta programación es diaria, semanal, quincenal, mensual, etc. (REY, 2001, pág. 256)
- **Establecimiento de requerimientos.** Se realiza un diagnóstico general de la empresa de tal manera que se pueda apreciar con qué recursos y datos se cuentan para desarrollar el modelo de mantenimiento. Para esto se debe definir lo siguiente:

Equipos y maquinarias disponibles: Para una gestión efectiva se considera un buen control de inventarios y una actualización continua; determinar el estado de la maquinaria y su historial, además del almacenamiento de los mismos que debe ser en un lugar de fácil acceso, con una buena distribución y centralizado con el fin de movilizar en el menor tiempo posible en caso de mantenimientos emergentes; conviene tener en cuenta el beneficio y el valor potencial del repuesto para no asumir riesgos ni un inútil almacenamiento. La información de cada uno de los equipos de la planta deben estar estrictamente detallada; cada uno de los elementos debe tomar en cuenta los aspectos siguientes:

- a) **Documento informativo básico y fundamental**, que contiene las características de fabricación de cada equipo o elemento de la industria, este debe contener la siguiente información:
 - ✓ Instalación de la que forma parte.
 - ✓ Ubicación dentro de la instalación.

- ✓ Tipo de máquina.
- ✓ Datos específicos (datos de placa).
- ✓ Proveedor y fecha de la compra.
- ✓ Planos de conjunto y piezas.
- ✓ Lista y codificaciones de las piezas de repuestos y su respectiva ubicación. (REY, 2001, pág. 256)

b) **Ficha historial de cada máquina o equipo**, que contenga la información de la intervención de mantenimiento de la máquina y sus elementos ordenados cronológicamente. Orden de trabajo que contenga la descripción del trabajo a realizar, recursos, aprobaciones y tiempo programado para la ejecución como mínimo.

Estructura organizacional: De acuerdo al tamaño de la empresa, establecer cuáles serían las áreas a involucrar en el plan de mantenimiento, estipular como van a influir en el programa y definir sus roles y funciones.

Presupuesto: También se debe tomar en cuenta los presupuestos y las asignaciones requeridas para la obtención del plan de mantenimiento, sin ir a incrementar los costos de la empresa. De igual manera se debe considerar el hecho de tener un almacén de repuestos y materiales considerando que beneficio tendría tener a la mano materiales que tengan una alta rotación en la vida útil de la maquinaria. (GARCIA, 2019)

- **Preparación.** Preparar en mantenimiento es asegurar la calidad de trabajo en el área que se aplica el mantenimiento y por ende incide en la confiabilidad de la industria. La preparación del mantenimiento es un plan en donde se detalla el trabajo a realizar, se verifica órdenes de trabajo, herramientas, búsqueda de información y preparación del recurso humano que intervendrá en el mantenimiento.

El supervisor de mantenimiento juega un papel importante ya que él verificará con anticipación todos los recursos para el desempeño efectivo de la

aplicación del mantenimiento; el mismo buscará al personal idóneo y calificado para el mantenimiento e incluirá en la preparación.

La preparación que se realiza será satisfactoria en la ejecución del mantenimiento; el trabajo en equipo organizado que se llevará a cabo son factores motivantes que inciden en la producción. (GARRIDO, 2003, pág. 350)

- **Reporte.** Son documentos que informan el desempeño de los equipos o máquinas dentro de la industria y el modelo de mantenimiento que se le aplica, es decir un informe que se presenta periódicamente y según la cronología en que se aplique el Mantenimiento a dicho elemento; permite evaluar y analizar las posibles averías, predecir y controlar periódicamente el comportamiento de equipo y maquinaria. (GUSTAVO, 1982, pág. 561)

Implementación del plan de mantenimiento. Una vez que la información esté completa, se revisan las prioridades para dar inicio al plan teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Capacitación y entrenamiento del personal que llevará a cabo el mantenimiento.
 - ✓ Descripción de actividades de mantenimiento.
 - ✓ Implementación del plan estratégico a seguir ya sea diaria, semanal, mensual, trimestral y así sucesivamente.
 - ✓ Elaboración de fichas de trabajo y formatos de donde se consignará la información del plan de mantenimiento.
 - ✓ Verificación de información en manuales de cada máquina.
 - ✓ Elaboración de reportes de actividades.
- **Análisis de resultados.** En esta parte del proceso se emplean datos históricos para predecir el futuro, teniendo en cuenta que sin una evaluación, cualquier sistema de mantenimiento tiende a fracasar. Para la evaluación, se analizan los datos o la información contenida en las fichas de trabajo. Esta evaluación hace posible lo siguiente:

- ✓ Ajustar el programa y mantener actualizados los manuales de mantenimiento.
- ✓ Analizar los trabajos realizados y los materiales empleados a fin de determinar los costos de mantenimiento, para efectos de programación y control del presupuesto.
- ✓ Determinar los costos que demanda la gestión administrativa del almacenamiento, adquisición y uso de los repuestos,
- ✓ Informar a los demás sobre lo que se ha realizado y lo que se pretende realizar.

De igual manera es importante medir los datos obtenidos mediante parámetros como:

- ✓ ¿Cuántas órdenes de trabajo urgentes emitieron durante el mes?
- ✓ ¿Cuál es el gasto mensual en mano de obra y materiales por reparaciones en mantenimiento?
- ✓ ¿Cuántos equipos tienen con problemas graves y altamente costosos?
- ✓ ¿Cuál sería la viabilidad de tener un almacén de repuestos y materiales de alta rotación?⁴.

2.3.1. Tipos de mantenimiento

2.3.1.1. Correctivo

Comprende el mantenimiento que se lleva a cabo con el fin de corregir los defectos que se han presentado en el equipo. Se clasifica en:

No planificado: Es el mantenimiento de emergencia. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

Planificado: Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal,

⁴ Ing. MSc. Oliverio García, Tendencias Actuales en Mantenimiento Industrial, 2014

repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarlo correctamente. (ARATA, 2003, pág. 497)

2.3.1.2. Predictivo

Este mantenimiento está basado en la inspección para determinar el estado y operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a descubrir el estado de operatividad; esto se realiza en intervalos regulares para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas. Para este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas (temperatura, presión, vibración, etc.) cuyas variaciones están apareciendo y pueden causar daño al equipo. Es el mantenimiento más técnico y avanzado que requiere de conocimientos analíticos y técnicos y necesita de equipos sofisticados.

2.3.1.3. Preventivo

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas, y mantener en un nivel determinado a los equipos, se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico, por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo; se basa en la confiabilidad de los equipos. (SACRISTAN, 2001, pág. 256)

2.4. Definición de confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un componente o sistema pueda cumplir su función sin fallar en las condiciones operativas especificadas durante un intervalo de tiempo dado.

Esta probabilidad, relaciona el tiempo de fallar de los equipos considerando aspectos como condiciones de operación, fabricantes, condiciones ambientales, entre otras. El tiempo de falla se obtiene a partir de datos históricos o de pruebas periódicas a los equipos, con esta información se obtiene una función de distribución de falla $F(t)$

La confiabilidad es el inverso probabilístico de la función $F(t)$:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Ecuación 2.3.

En lo anteriormente mostrado se define la densidad de falla $f(t)$ como:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

Ecuación 2.4.

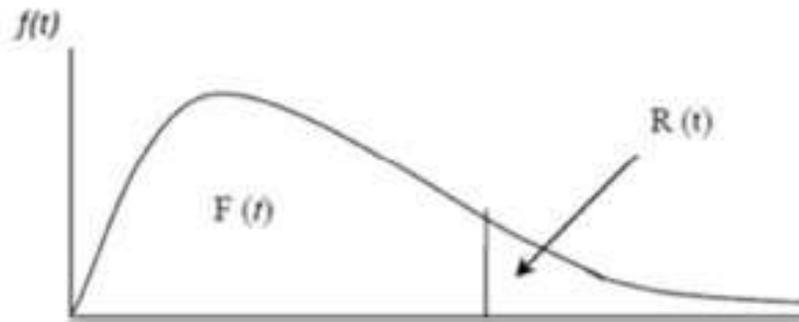
Reemplazando la ecuación 2.4. en 2.3.

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

Ecuación 2.5.

La distribución típica se muestra en la figura 2.3., a continuación:

Figura 2.2. Densidad de falla



Fuente: Ricardo Davies, principios de economía, Ayuso 1817

2.4.1. Definición de disponibilidad

Es la probabilidad de que un componente o sistema pueda cumplir su función en las condiciones operativas especificadas en un instante de tiempo dado.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Ecuación 2.5.

2.4.2. Mantenibilidad

Es la duración y el esfuerzo que hace el equipo de mantenimiento, para restablecer la función principal de un equipo cuando está en falla.

2.5. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés (Reliability Centered Maintenance), es un método usado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo. (Moubray, 2004, pág. 11)

Según Hiren y Khamis (2000), RCM ha estado en uso durante décadas, comenzando con la industria aeronáutica y ahora se usa ampliamente en las industrias química y petroquímica, las compañías de Exploración y Producción (E&P) acaban de comenzar a darse cuenta de los beneficios de esta metodología. (p.1)

Moubray (2004), indica que la metodología RCM enuncia siete preguntas acerca del activo y que son claves para poder iniciar un análisis y desarrollar un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. (p.11)

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño del activo en su contexto operativo presente (funciones)?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla (efectos de las fallas)?
5. ¿De qué modo afecta cada falla (consecuencias de la las fallas)?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla (intervalos de tareas y tareas proactivas)?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado (acciones por defecto)?

2.5.1. Faces para implementar un RCM

➤ **FASE 0: Listado de equipos**

El primer paso es listar los equipos de planta para conocer el inventario.

➤ **FASE 1: Listado de funciones y Especializaciones**

Completar esta fase significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función. Para que el sistema cumpla su función cada uno de los subsistemas del mismo, deben funcionar correctamente. Para ello, será necesario listar también las funciones de cada uno de los subsistemas.

Por último, cada uno de los subsistemas está compuesto por una serie de equipos. Dado que algunos subsistemas tienen gran cantidad de equipos, se deberá detallar las funciones de los equipos significativos de este.

Se obtendrán entonces tres listados de funciones:

- Las funciones del sistema en su conjunto
- Las funciones de cada uno de los subsistemas que lo componen
- Las funciones de cada uno de los equipos significativos de cada subsistema

➤ **FASE 2: Determinación de fallos funcionales y técnicos**

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello se dice en el apartado anterior que si se realiza correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar los fallos: tendrá un posible fallo por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla.

Se definirá como fallo funcional aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal.

Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función principal, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste. Estos fallos, aunque de

una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema.

➤ **FASE 3: Determinación de los modos de fallo**

Una vez determinados todos los fallos que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Se podría definir 'modo de fallo' como la causa primaria de un fallo, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar múltiples modos de fallo. Cada modo de fallo puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina 'causas raíces'.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos necesarios son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances. Por tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de fallo, de forma que el estudio sea abordable y técnicamente factible.

➤ **FASE 4: Análisis de la gravedad de los fallos (Criticidad)**

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre? a partir de esta explicación, se establece las consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento. Se considerarán tres posibles casos: Fallo crítico, importante y tolerable.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental del fallo, se considera que el fallo es crítico si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir y ocasionar un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. El fallo es importante si, aunque las consecuencias para la

seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se tomará el fallo como tolerable si tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, se puede decir que un fallo es crítico si el fallo supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como importante. Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la producción, por lo que esto se puede considerar de una manera despreciable.

➤ **FASE 5: Determinación de medidas preventivas**

Determinados ya los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo o bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar donde varios tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallos: no sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios.

En las tareas de mantenimiento se harán inspecciones visuales, lubricación, verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo y verificaciones del correcto funcionamiento realizado con instrumentos externos del equipo. En las tareas condicionales se incluirán limpiezas condicionales, ajustes convencionales y cambios de piezas. En las tareas sistemáticas se harán limpiezas ajustes y sustitución de piezas.

➤ **FASE 6: Agrupación de las medidas preventivas**

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitará su implementación.

- Plan de Mantenimiento. Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos.
- Lista de mejoras técnicas a implementar. Tras el estudio, se tendrá una lista de mejoras y modificaciones que es conveniente realizar en la instalación.
- Actividades de formación. Estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación.
- Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar. Se generará una lista de procedimientos a elaborar o a modificar, que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Como ya se ha comentado, habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de fallo.

➤ **FASE 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas planteadas**

- Implementación de mejoras técnicas: La lista de mejoras obtenida debe ser presentada y abalada a la Dirección de la planta para su realización. Habrá que calcular el coste que supone y solicitar algunos presupuestos. También habrá que exponer y calcular los beneficios que se obtienen que la implementación de cada una de ellas.
- Puesta en marcha de las acciones formativas: El RCM tiene como objetivo la solución a problemas tangibles, y por tanto, se traducen rápidamente en una mejora de los resultados.
- Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operación y mantenimiento: Para la implementación de estos cambios en procedimientos de operación y mantenimiento es necesario asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios. Para ellos es necesario organizar

sesiones formativas en los que se explique a todo el personal que tiene que llevarlos a cabo cada uno de los puntos detallados en los nuevos procedimientos, verificando que se han entendido perfectamente. Este aspecto formativo es el más importante para asegurar la implementación efectiva de los cambios en procedimientos.

2.5.2. Funciones

Función es lo que el usuario quiere que haga un activo y su enunciación debe consistir de un verbo, un objeto, y el nivel de desempeño deseado. Las funciones se clasifican en primarias y secundarias (Moubray, 2004, pág. 24)

2.5.2.1. Funciones primarias

Moubray (2004), indica que las funciones primarias son fáciles de reconocer y son la razón principal por lo cual el bien fue adquirido. (p.36)

2.5.2.2. Funciones secundarias

Moubray (2004), indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función principal y sean útiles para una o más funciones adicionales. (p.38)

2.5.3. Fallas funcionales

Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario. (Moubray, 2004, pág.46)

2.5.4. Modo de falla

Moubray (2004), indica que un modo de falla es cualquier evento que provoque una falla funcional de un bien (sistema o proceso), (p.53). Los modos de falla se dividen en:

Capacidad en descenso: Trata cuando la capacidad está por encima del desempeño deseado, pero luego disminuye por debajo de este una vez que el bien es puesto en servicio, las causas principales de una capacidad reducida son: deterioro, fallas de lubricación, suciedad, desmontaje y errores humanos.

Cuando el desempeño deseado supera la capacidad inicial: Cuando el funcionamiento del activo supera su capacidad inicial, provoca que el mismo no pueda cumplir su función, acelerando su deterioro y se convierta poco confiable. Esto puede suscitarse por una sobrecarga deliberada e inintencionada, una sobrecarga repentina inintencionada y material de proceso incorrecto.

Cuando el bien no es capaz de cumplir la función esperada desde un comienzo: Cuando desde el comienzo el activo no es capaz de realizar lo que el usuario quiere que haga, afectando las funciones de los componentes y la operación total.

2.5.5. Efectos de las fallas

Moubray (2004), Los efectos de las fallas describen que sucede cuando se presenta un modo de falla (p.71), la descripción de este incluye la información suficiente para defender la evaluación de las consecuencias de las fallas. Específicamente cuando se describen los efectos de una falla, se debe registrar lo siguiente:

- Que evidencias hay (de ser así) de que la falla sucedió.
- En qué medida (si así fuera) representa una amenaza para la seguridad o el medioambiente.
- De qué manera (si así fuera) afecta la producción u operaciones.
- Que daño físico (si lo hubiera) es causado por la falla.
- Qué debe hacerse para repararla⁵.

⁵ Carlos Perez, Camino hacia el RCM, Soporte & Cia LTDA, 1997

2.5.6. Consecuencias de fallas

Existen fallas que pueden traer consecuencias serias, se harán esfuerzos para tratar de evitarla sobre todo si la falla puede afectar la producción, las operaciones, o afectar la seguridad de los trabajadores, por lo tanto, se decidirá si merece la pena realizar algún tipo de tarea proactiva, caso contrario no se hará ningún mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación. (Moubray, 2004, pág. 87)

El proceso RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes grupos:

- Consecuencias de los fallos ocultos
- Consecuencias medioambientales y de seguridad
- Consecuencias operativas
- Consecuencias no operativas

2.5.6.1. Consecuencias de los fallos ocultos

Las fallas que no son evidentes a los operarios en situaciones normales traen consecuencias de fallos ocultos.

2.5.6.2. Consecuencias medioambientales y de seguridad

Un modo de falla que conlleva consecuencias de seguridad genera la pérdida de una función o daño que puede ocasionar una herida o la muerte de una persona. Un modo de falla que conlleva consecuencias medioambientales genera la pérdida de una función u otro daño que podría llevar a la violación de cualquier norma medioambiental conocida.

Cabe recalcar que para todos los modos de fallas que tienen consecuencias de seguridad o medioambientales, solo es válido llevar a cabo un tipo de mantenimiento si la misma disminuye el efecto de la falla a un nivel tolerable.

2.5.6.3. Consecuencias operativas

Una falla tiene consecuencias operativas, si afecta la producción o las operaciones del rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente, o costos operativos, además del costo directo de reparación.

Cabe recalcar que es conveniente llevar una tarea proactiva bajo esta condición, si después de un determinado periodo de tiempo, es menos costosa que los costos por mantenimiento y las consecuencias operativas generados por la falla que se procura evitar.

2.5.6.4. Consecuencias no operativas

Una falla que no tienen efectos directos adversos sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operativa se denominan consecuencias no operativas, las únicas consecuencias son económicas.

Para los modos de falla con consecuencias no operativas, es conveniente realizar una tarea proactiva si, en un periodo de tiempo el costo de esta es menor, que el de reparar las que pretende prevenir.

2.5.7. Mantenimiento proactivo

Las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla, y este tipo de tareas se lo conoce tradicionalmente como mantenimiento preventivo y predictivo.

RCM divide las tareas proactivas en: tareas de restauración programada, tarea de descarte programado y tareas en condición. (Moubray, 2004, pág. 121)

2.5.7.1. Restauración programada

Moubray (2004), explica que las tareas de restauración abarcan la prefabricación de un componente, o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada, sin tener en cuenta su condición aparente en ese momento. (p.126)

2.5.7.2. Descarte programado

Moubray (2004), explica que el descarte programado implica descartar un ítem o componente al, o antes del tiempo programado, sin importar su condición en ese momento. (p.126)

2.5.7.3. Tareas en condición

Moubray (2004), explica que existen técnicas que ayudan a prevenir ciertos tipos de fallos, estas fallas dan un tipo de advertencia de que la misma está por suceder y se la conocen como fallas potenciales.

Por lo tanto, las tareas en condición implican el control de fallas potenciales, para que pueda tomarse precauciones para prevenir la falla funcional o para evitar las consecuencias de estas. (p.135)

2.5.8. Acciones de Default

Estas tratan el estado de la falla y se utilizan cuando no es viable encontrar una tarea proactiva. RCM divide las acciones de default en: búsquedas de fallas, rediseño y acudir a la falla o mantenimiento no programado. (Moubray, 2004, pág. 121)

2.5.8.1. Búsqueda de fallas

Según Moubray (2004), La búsqueda de fallas programadas implica controlar una función oculta en intervalos regulares para determinar si ha fallado. (p.161)

2.5.8.2. Mantenimiento no programado

Según Moubray (2004), esta acción de default también conocida como acudir a la falla, implica no realizar ningún esfuerzo en anticipar o prevenir los modos de fallas, de modo que se permita que las fallas sucedan y luego se reparan. (p.17).

2.5.8.3. Rediseño

Según Moubray (2004), implica realizar cambios en la capacidad interna del sistema, realizando modificaciones en el hardware y cubre los cambios de procedimientos. (p.17)

2.5.9. Hoja de información

En la hoja o planilla de información, se describe información de los activos y subsistemas, tales como las funciones, falla funcional para cada función, modos de falla relacionados con las fallas funcionales, se determina los efectos de las fallas, las mismas que se obtienen del análisis de modos de falla y sus efectos "AMFE". (Moubray, 2004, pág. 84)

Tabla 2.3. Hoja de información

PLANILLA INFORMATIVA RCM II

SISTEMA Turbina de Gas 5 MW		Sistema N° 216-05	Facilitador: N. Smith	Fecha: 7-07-1996	Hoja N° 1
SUBSISTEMA Sistema de Escape		Subsistema N° 216-05-011	Auditor: P Jones	Fecha: 07-08-1996	De 3
<u>FUNCION</u>	<u>FALLA FUNCIONAL</u> (Pérdida de Funcion)	<u>MODOS DE FALLA</u> (Causa de la Falla)		<u>EFECTO DE LA FALLA</u> (Que sucede cuando falla)	
1	Catalizar todo el as de la turbina de calefacción sin restricción a un punto fijo de 10 m por encima del techo del hall de la turbina.	1	Monturas silenciadoras coaroidas	Montaje del silenciador colapsa y cae al fondo de la torre. La presión trasera causa que la turbina surja violentamente y se apague a altas temperaturas de gas de escape. El tiempo de inactividad para reemplazar el silenciador.	
		1	Parte del silenciador falla por fatiga.	Dependiendo de la naturaleza del bloqueo, la temperatura de escape puede aumentar hasta apagar la turbina. El despojos podria afectar partes de la turbina. El tiempo de inactividad para reparar el silenciador es de 4 semanas.	

Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, 2004

2.5.10. Hoja de decisión

En la hoja de decisión permite asentar las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión, y en función de las respuestas se obtendrán:

- Qué rutina de mantenimiento se va a realizar, con qué frecuencia y quién la va llevar a cabo.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para garantizar el rediseño.
- Casos donde se lleve a cabo una decisión para permitir que ocurran las fallas.

Tabla 2.4. Hoja de decisión

Planilla de decisión RCM II		Sistema										Nº de sist.	Facilitador:	Fecha	Nº de hoja
		Sub- Sistema										Nº de sub. sist.	Auditor:	Fecha	De
Referencia De informacion			Consecuencia de la evaluacion				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Accion de Default			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O1 N2	O3 N3	H4	H5	S4			

Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, 2004

Como se puede observar en la Figura 2.5., Según Moubray (2004) la hoja de decisión consta de 16 columnas, las columnas encabezadas con las letras F, FF y FM detallan las funciones, fallas funcionales y modos de fallos que se muestran en la hoja de información y se describen como código RCM en la hoja de decisión. (p.185)

Los encabezados en las siguientes 10 columnas hacen referencia a las preguntas del Diagrama de Decisión de RCM, del siguiente modo:

- Las columnas encabezadas con las letras H, S, E, O y N se usan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las columnas con los encabezados H1, H2, H3, etc., registra si una tarea proactiva ha sido seleccionada, y de ser así, el tipo de tarea.
- Las columnas con los encabezados H4, H5, S4, se utilizan para poder registrar las respuestas a las preguntas referidas a las acciones de default.

Las últimas tres columnas registran la Tarea Propuesta que ha sido seleccionada, la frecuencia con que se realizara determinada tarea y quien ha sido seleccionado para hacerlo.



CAPITULO III - MARCO PRÁCTICO

3.1. Antecedentes del campo San Alberto

Las operaciones en el Bloque San Alberto se iniciaron a partir del 22 de abril de 1996, mediante un Contrato de Asociación Petrolífera para ejecutar actividades de exploración y explotación petrolera firmado por Y.P.F.B. y Petrobras Bolivia S.A. bajo una tipología contractual prevista en la Ley 1194 de 1990, compartiendo el negocio en partes iguales, correspondiendo a 50% para cada una.

En fecha 30 de abril de 1997 Petrobras cede el 30% de su participación a la empresa Total E&P Bolívie Sucural, quedando la sociedad con la siguiente composición accionaria: YPFB 50%, Petrobras 35% y Total 15%.

El D.S. N° 24806 de 4 de agosto de 1997, aprobó el Modelo de Contrato de Riesgo Compartido (Joint Venture), suscribiéndose el mismo entre YPFB y Petrobras Bolivia S.A. el 31 de diciembre de 1997. Por efecto de la capitalización interviene Andina S.A. participando con el 50% de YPFB, quedando la composición accionaria de la siguiente manera: Petrobras 35%, Total 15%, Andina 25%, YPFB (AFPs) 24.46% y Ex-empleados de YPFB 0.54%.

En el año 2010 la Empresa Total sesiona 4% de sus acciones a favor de la empresa YPFB Chaco S.A.

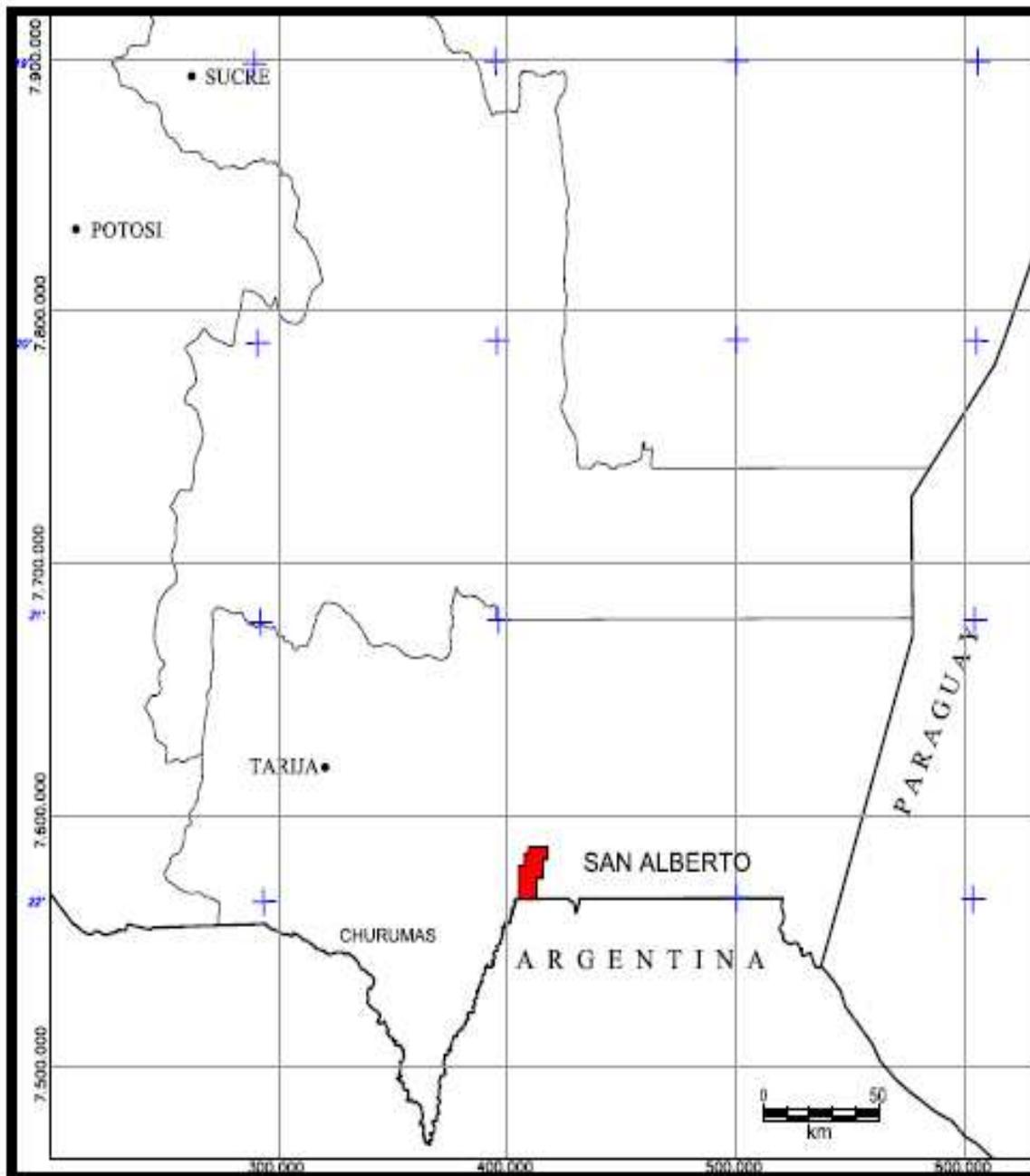
3.1.1. Ubicación

El Bloque San Alberto se encuentra ubicado en la Provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, al Sureste del territorio Boliviano y muy cerca de la frontera con la República Argentina.

En términos petroleros el Bloque se encuentra en la Zona Tradicionalmente Petrolera de Bolivia y es considerada como una zona madura en cuanto al conocimiento geológico petrolero. También por sus importantes reservas de hidrocarburos es uno de los Campos Grandes descubiertos.

Morfoestructuralmente se encuentra situado en la Provincia Geológica del Subandino Sur, en la Serranía San Alberto.

Figura 3.1. Ubicación campo San Alberto



Fuente: Ministerio de hidrocarburos, Informe anual, 2019

Tabla 3.1. Datos generales del bloque San Alberto

Bloque	San Alberto
Participación	PETROBRAS BOLIVIA S.A. (Operador) 35%. Empresa petrolera Andina S.A. 50% TOTAL EXPLORATION PRODUCTION BOLIVIE 15%
Cuenca	Subandino
Estructura	Anticlinal de San Alberto.
Ubicación Fisiográfica	Subandino Sur
N° de Parcelas	7 parcelas
Periodo de concesión	30 años
Ubicación Geográfica	Dpto. Tarija – Provincia Gran Chaco.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del Ministerio de hidrocarburos, 2019

3.1.2. Historia exploratoria

Las primeras investigaciones sobre este campo se iniciaron con geólogos de la Standard Oil Co. Posteriormente YPFB culminó con trabajos de geología de superficie definiendo varias culminaciones someras, modeladas en Formaciones Carboníferas, entre ellas la estructura de San Alberto.

La empresa petrolera Petrobras Bolivia S.A., luego de cubrir varias fases de prospección geológica, en 1997 inicia la etapa de perforación exploratoria profunda en el bloque San Alberto, con el pozo SAL-X10, alcanzando una profundidad final de 5220 mbbp, descubriendo nuevos reservorios más profundos en las Formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa.

3.1.3. Descripción actual del campo

El campo san Alberto produce gas y condensado de las formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa desde el año 2001. El volumen acumulado de gas producido alcanzo 2.1 TCF a julio del 2021.

En el Campo San Alberto se perforaron inicialmente cuatro pozos exploratorios: SAL-X9, SAL-X10, SAL-X11 y SAL-X12, con los que descubrieron importantes

reservas de gas y condensado en los reservorios naturalmente fracturados de las formaciones Humampampa, Icla y Santa Rosa⁶.

Posteriormente con el fin de producir las reservas existentes en estas tres formaciones se perforo el pozo de desarrollo SAL-13, confirmando los descubrimientos de hidrocarburos anteriores, estos resultados confirmaron la presencia de un extensa zona con importantes reservas de gas.

Luego también con la idea de producir las reservas de hidrocarburos gaseosos en niveles naturalmente fracturados de la Fm. Humampampa, con un pozo de alto ángulo que aporta una producción mínima de 2.5 MMmcd, se programó la perforación del pozo SAL-14, con la clasificación inicial de desarrollo.

Con el objetivo de completar el desarrollo del campo, fueron perforados hasta el presente 4 pozos más, SAL-15, SAL-16, SAL-17, SAL-18, todos de alto ángulo:

Tabla 3.2. Estado actual de Campo San Alberto

POZOS DE CAMPO	ESTADO ACTUAL
SAL – X9	Abandonado Temporal
SAL – X10	En producción
SAL – X11	Abandonado
SAL – X11R	En producción
SAL – X12	En producción
SAL – 13	En producción
SAL – 14	En producción
SAL – 15	En producción
SAL – 16	En producción
SAL – 17	En producción
SAL – 18	En producción

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de Petrobras, Informe CPR-04, 2021

⁶ Petrobras, Programa de trabajo y presupuesto campo San Alberto, 2019

La producción de los nueve pozos actualmente en extracción es colectada y tratada en la planta en el mismo yacimiento, desde donde es posteriormente enviada a exportación.

El campo San Alberto es un pliegue anticlinal alargado con rumbo predominante Norte-Sur, está situado al Sur de Bolivia. Morfoestructuralmente se ubica en la faja plegada y corrida del Subandino Sur, la misma que está constituida por un complejo sistema de serranías longitudinales, con anticlinales estrechos de orientación Norte-Sur.

El principal componente tectónico que afecta esta estructura, es la falla “San Antonio”, de carácter regional, de tipo inversa y con buzamiento hacia el oeste de aproximadamente 70°, en superficie corta el flanco Occidental sin afectar a los reservorios someros y profundos del campo. Los pozos del campo San Alberto se encuentran ubicados en el bloque bajo de esta falla.

La secuencia estratigráfica investigada por la perforación de varios pozos, se inicia en rocas de la Formación Escarpment, que aflora en superficie y luego continúa en sucesión normal las sedimentitas cada vez más antiguas.

Tabla 3.3. Estratigrafía

SISTEMA	FORMACIÓN	RESERVORIO
Carbonifero	Escarpment	Ar Miller
	Tarija	
	Itacuami	Ar. A
	Tumambi	
	Iquiri	
	Los monos	
Devonico	Huamampampa	H0, H1, H2, H3, H4
	Icla	I1, I2, I Inf SR1, SR2, SR3
	Santa Rosa	

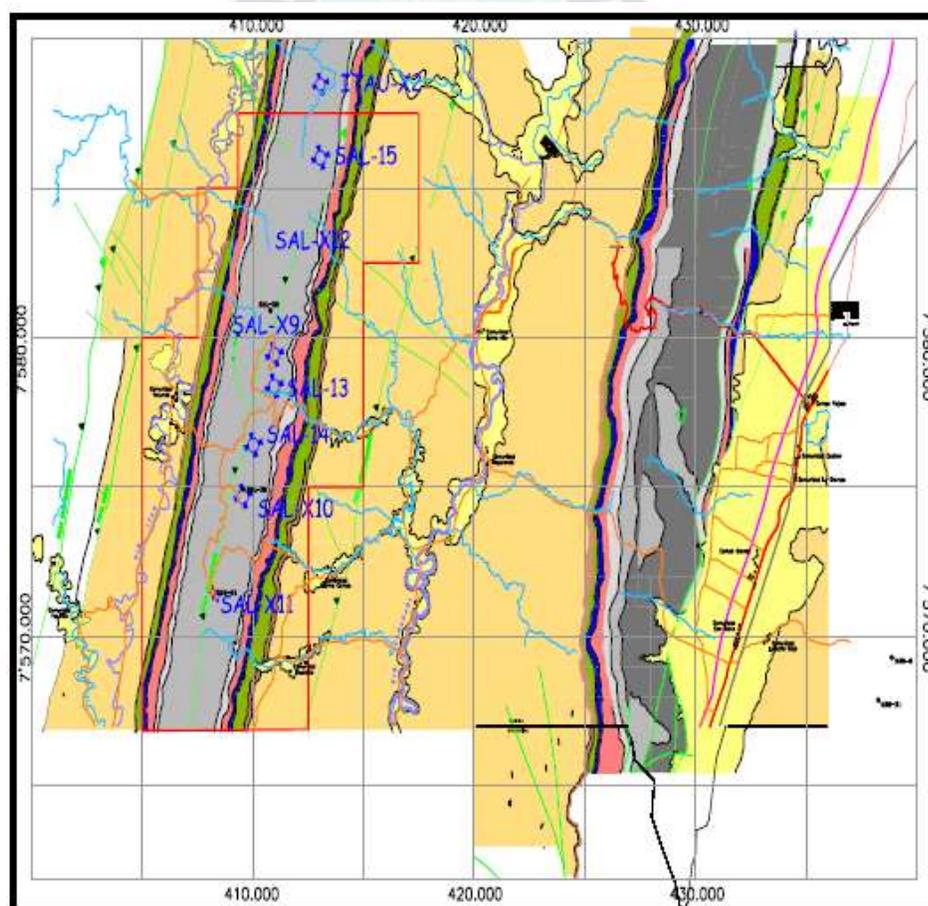
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de hidrocarburos, 2019

Los campos San Alberto y Sábalo se encuentran ubicados en la serranía de San Antonio en el mismo lineamiento estructural de los campos Ramos, Agua Blanca y Macueta que se encuentran en la República Argentina.

3.1.4. Geología de superficie

Las actividades de relevamiento geológico en el Bloque San Alberto fueron realizadas de manera simultánea a los trabajos de adquisición de datos sísmicos. En la figura 3.2. a continuación, se muestra el mapa geológico de superficie actualizado del Bloque, el mismo que es producto de todos los estudios realizados por Petrobras y otras compañías que estudiaron la zona.

Figura 3.2. Mapa geológico

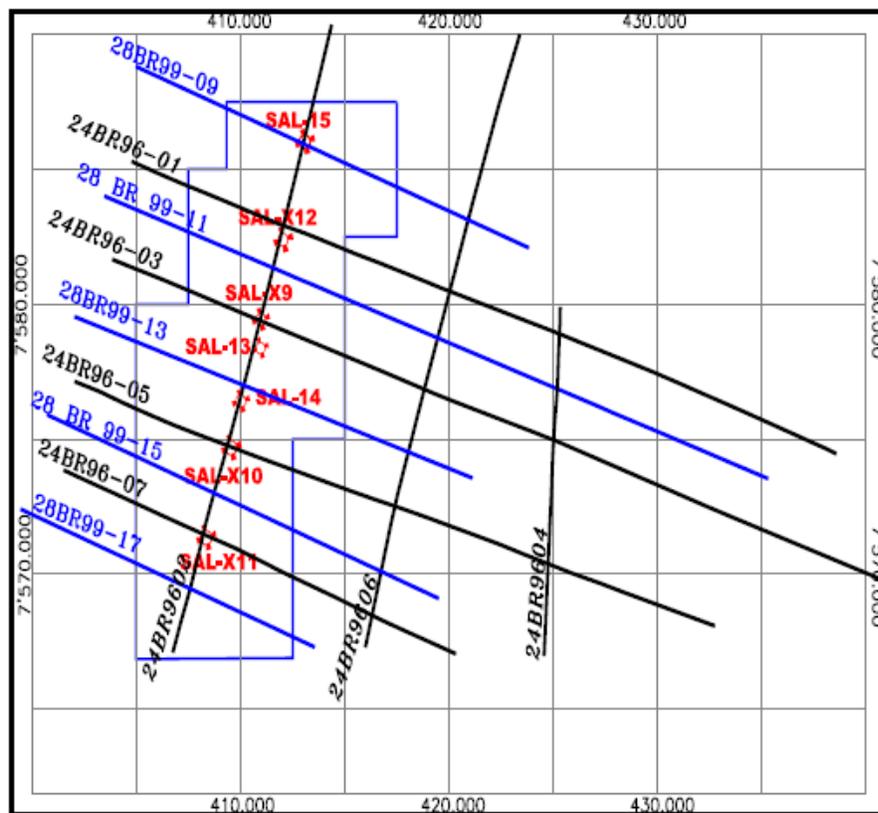


Fuente: Ministerio de hidrocarburos, Informe anual, 2019

3.1.5. Prospección sísmica

Petrobrás Bolivia, realizó dos campañas de Adquisición Sísmica 2D. La primera en el año 1996, ejecutada por la compañía Unión Geofísica Argentina (U.G.A.), en la que se registraron un total de 208,74 Km distribuidos en 7 líneas. La segunda fue realizada en el año 1999, ejecutada por la empresa Veritas DGC-LAND, en la que se registraron 108,55 Km distribuidos en 5 líneas. Cabe resaltar que los abruptos relieves topográficos y las complicaciones geológicas presentes en el área, hicieron que los trabajos de campo de adquisición sean difíciles y los resultados obtenidos no siempre alentadores. La Figura 3.3, detalla la distribución de las líneas sísmicas y en la Tabla 3.3, se observa el detalle de los parámetros básicos para la registración.

Figura 3.3. Mapa base de líneas sísmicas



Fuente: Ministerio de hidrocarburos, Informe anual, 2019

Para preparar la interpretación estructural del pliegue anticlinal de San Alberto, se integró la información sísmica adquirida con prospección geológica de superficie y de pozos. Figura 3.3.

3.2. Aplicación del modelo de criticidad semicuantitativo MCR

A continuación, se muestran la cantidad de pozos según su sistema de extracción que serán evaluados a través de la matriz de criticidad,

Tabla 3.4. Pozos del campo San Alberto a evaluar

Pozos	Sistema extracción
SAL-X9	Plunger lift
SAL-X10	Swab
SAL-X11	Swab
SAL-X12	Plunger lift
SAL-13	Swab
SAL-14	Swab

Fuente: Elaboración propia en base a los datos, Petrobras, Informe CPR-04, 2021

3.2.1. Frecuencia de fallos

Las frecuencias de fallos se determinaron mediante un historial de las intervenciones de Pulling que data del año 2012 hasta julio del 2021 a los pozos que se encuentran operativos por los sistemas de producción Swab y Plunger Lift.

Por lo tanto, se contabilizó el servicio a pozo ejecutados por la cuadrilla de Pulling, cuantificando la cantidad de fallos que tuvieron las terminaciones de producción durante el intervalo de tiempo antes mencionado. Mediante la siguiente ecuación se determinó la tasa de fallos (λ) que es la relación entre el número de fallos totales en el periodo de análisis.

$$\lambda = \frac{T_f}{T_p} \text{ [Fallos/tiempo]}$$

Ecuación 3.1.

Donde:

λ : Es la tasa de fallos (fallos / tiempo)

Tf : El número de fallos totales en el periodo de análisis

Tp : El periodo analizado.

Para analizar los fallos de mayor frecuencia se ha utilizado el diagrama de Pareto, que es una de las herramientas de calidad que se explica en el gráfico a continuación a partir de los datos obtenidos de los pozos en evaluación.

Aproximadamente el 81% de frecuencia de fallos el 2021 están generados por tres causas principales que son el subsistema tubing, subsistema standing valve y el subsistema varillas.

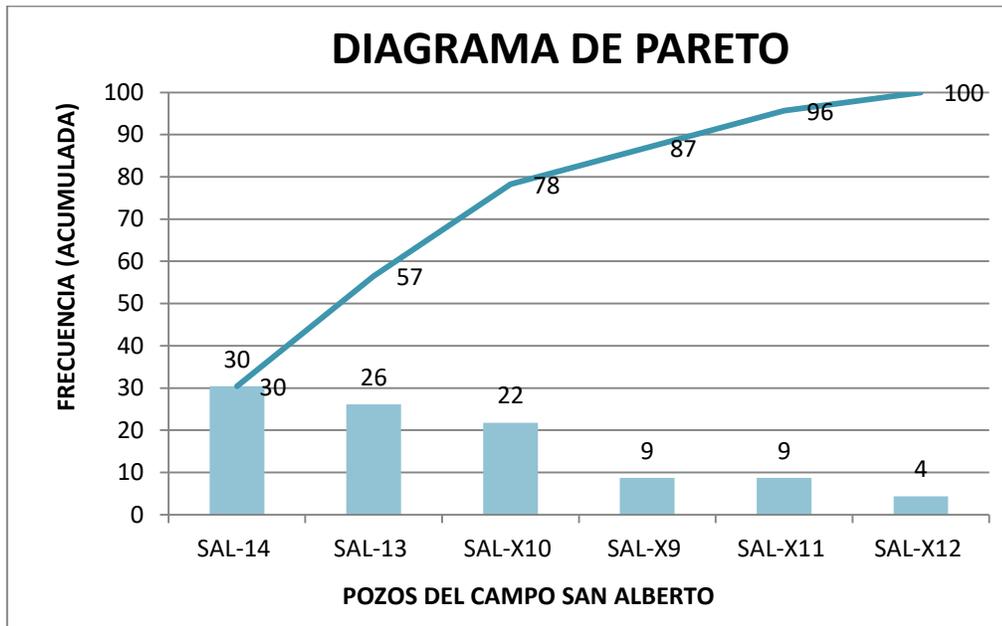
Tabla 3.5. Cantidad de intervenciones por las operaciones de pulling

Pozos	Nº Pulling (Tf)	Años (Tp)	Frecuencia (λ)	% Frec	Frecuencia Acumulada	% Acum.
SAL-14	7	8	0.88	30	0.88	30
SAL-13	6	8	0.75	26	1.63	57
SAL-X10	5	8	0.63	22	2.25	78
SAL-X9	2	8	0.25	9	2.50	87
SAL-X11	2	8	0.25	9	2.75	96
SAL-X12	1	8	0.13	4	2.88	100
SUMA			2.88			

Fuente: Elaboración propia en base a los datos, Petrobras, Informe CPR-04, 2021

En base a los datos de la la tabla 3.5. Se construirá el diagrama de Pereto.

Figura 3.4. Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia en base a los datos, Petrobras, Informe CPR-04, 2021

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de frecuencia de fallos:

Tabla 3.6. Ponderación de las frecuencias de fallas

Ponderación	Eventos	Años	Tasa de fallos	Intervalo de la tasa de fallo
1	1	5	0.2	0 - 0.2
2	1	4	0.25	0.21 - 0.25
3	1	3	0.33	0.26 - 0.33
4	1	2	0.5	0.34 - 0.5
5	1	1	1	> 0.51

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde los pozos se van ubicando en una escala del 1 al 5 según el número de fallos totales que han presentado en un periodo de análisis, donde la escala 1 es el menos crítico y la escala 5 es el más crítico.

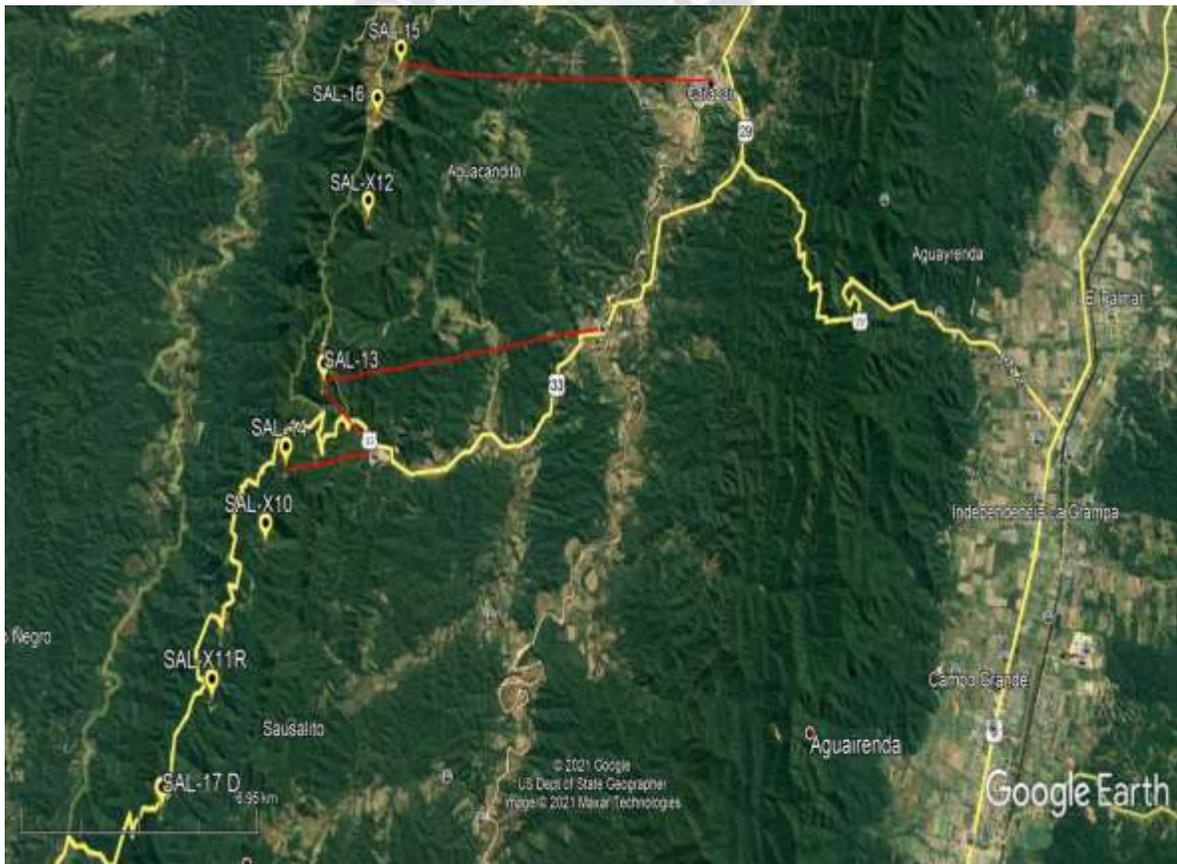
3.2.2. Consecuencias

Dentro de las consecuencias se consideraron los parámetros de Medio Ambiente y Seguridad, Producción y Mantenibilidad.

3.2.2.1. Medio ambiente y seguridad

En este parámetro de selección, el factor Medio Ambiente y seguridad dependerá de la distancia del pozo hacia la población o construcción civil, tomando en cuenta que mientras más cercano este la población del pozo, más crítico lo convierten al mismo.

Figura 3.5. Pozos de campo San Alberto



Fuente: Elaboración en Google Earth en base a datos del Ministerio de Hidrocarburos, 2019

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de consecuencia de fallos en el factor medio ambiente y seguridad:

Tabla 3.7. Ponderación de las consecuencias de fallas, factor medio ambiente y seguridad

Ponderación del Medio Ambiente * %	
Ponderación	Radio (metros)
1	Zonas Aisladas de la población
2	Existe población > 100 Y ≤ 200 metros alrededor
3	Existe población > 50 Y ≤ 100 metros alrededor
4	Existe población > 30 Y ≤ 50 metros alrededor
5	Existe población ≤ 30 metros alrededor

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.2.2. Producción

En el factor producción se tomaron los datos de la producción diaria de los pozos que están en producción por Swab y Plunger Lift.

Tabla 3.8. Producción diaria de los pozos por Swab y Plunger Lift

POZOS	PRODUCCIÓN	
	Enero (MMscf/d)	Diciembre (MMscf/d)
SAL - X9	-	-
SAL-X10	21.3	18.9
SAL-X11	6.1	5.1
SAL-X12	36.8	32.7
SAL-13	37.8	31.6
SAL-14	48.2	44.2

Fuente: Elaboración propia en base a los datos, Petrobras, Informe CPR-04, 2021

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de consecuencia de fallos en el factor Producción:

Tabla 3.9. Ponderación de las consecuencias de fallas (factor de producción)

Ponderación de Producción	
Ponderación	Valor (MMscf/d)
1	0 – 10
2	10.1 – 20
3	20.1 – 30
4	30.1 – 40
5	> 40

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde los pozos se van ubicando en una escala del 1 al 5 según la producción diaria de gas, donde la escala 1 es el menos crítico y la escala 5 es el más crítico.

3.2.2.3. Mantenibilidad

El factor de mantenibilidad se evaluó en relación de la profundidad de la tubería de producción en el pozo con respecto al tiempo; es decir, el tiempo que toma realizar el servicio de Pulling en función de la profundidad de la tubería de producción en el pozo.

Tabla 3.10. Profundidad de la tubería de producción de los pozos

POZOS	PROFUNDIDAD
	MD⁷ (metros)
SAL - X9	4516.9
SAL-X10	5120.3
SAL-X11	5456.9
SAL-X12	5609.0
SAL-13	5563.6
SAL-14	4727,4

Fuente: Elaboración propia en base a los datos, Petrobras, Informe CPR-04, 2021

⁷ MD, longitud del pozo a lo largo de la trayectoria.

A continuación, se presentan los factores ponderados diseñados para el proceso de jerarquización de los factores de consecuencia de fallos en el factor mantenibilidad:

Tabla 3.11. Ponderación de las consecuencias de fallas (factor de mantenibilidad)

Ponderación de la Mantenibilidad * %		
Ponderación	Profundidad de la tubería (pies)	Tiempo de servicio (horas)
1	0 - 1000	0 HASTA 8
2	1000.1 - 2000	8.1 HASTA 16
3	2000.1 - 3000	16.1 HASTA 24
4	3000.1 - 4000	24.1 HASTA 36
5	4000.1 - 6000	> 36

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde los pozos se van ubicando en una escala del 1 al 5 según la profundidad de la tubería de producción en el pozo con respecto al tiempo que toma realizar el servicio de Pulling, donde la escala 1 es el menos crítico y la escala 5 es el más crítico.

3.2.2.4. Estimación del valor porcentual de los factores considerados en las consecuencias de fallos

Los siguientes valores porcentuales según la ecuación de consecuencias, son colocados a criterios del usuario u organización, en este caso los valores porcentuales quedaron establecidos como se listan a continuación:

Tabla 3.12. Estimación del valor porcentual

Consecuencias	
Producción	50%
Medio Ambiente	30%
Mantenibilidad	20%

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.3. Aplicación del RCM según el modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo

Mediante las ecuaciones 2.1. y 2.2 se jerarquizan los pozos con su respectivo sistema de extracción. La ecuación 2.2., quedó establecida con las consecuencias de fallas de producción, medio ambiente y mantenibilidad con porcentajes del 50, 30 y 20 % respectivamente, como se puede apreciar en la tabla 3.12.

Mediante la siguiente matriz los pozos se iban ubicando en los diferentes niveles de criticidad que tiene la misma, donde:

- B = Baja criticidad
- M = Media criticidad
- A = Alta criticidad
- MA= Muy Alta Criticidad

Tabla 3.13. Matriz de criticidad

	Consecuencias				
	1	2	3	4	5
1	B	B	B	M	A
2	B	B	B	M	A
3	M	M	M	A	MA
4	M	M	A	A	MA
5	A	A	MA	MA	MA
Frecuencia					

Fuente: Parra & Crespo, métodos de análisis de criticidad, Ingeman 2012

Los pozos que entraron en el rango de Muy Alta Criticidad según el Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo, se les dará un seguimiento y se le aplicará RCM.

Tabla 3.14. Jerarquización de pozos

Sistema de extracción Criticidad	Swab	Plunger Lift	Total
B	1	2	3
M	0	0	0
A	1	0	1
MA	2	0	2
Total	4	2	6

Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, se listan los pozos que entraron a la evaluación de la matriz de Criticidad, con todos los datos y detalles de la Jerarquización.

Tabla 3.15. Selección de pozos según el modelo de criticidad semicuantitativo

Pozo	Sistema de Extracción	# Pulling	Período (años)	FF	Impacto Medio Ambiente y Seguridad	Producción	Mantenibilidad	Consecuencias	FVSC
SAL-13	SW	7	8	5	2	4	5	3.6	MA
SAL-14	SW	6	8	5	2	5	5	4.1	MA
SAL-X10	SW	5	8	5	1	2	5	2.3	A
SAL-X9	PL	2	8	2	1	1	5	1.8	B
SAL-X11	SW	2	8	2	1	1	5	1.8	B
SAL-X12	PL	1	8	1	1	4	5	3.3	B

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.4. Desarrollo del RCM

El Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se implementará en los 2 pozos seleccionados con rango de “Muy Alta Criticidad”, según el Modelo de Criticidad Semicuantitativo “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo. El mantenimiento se realizará mediante operaciones de Pulling.

Tabla 3.16. Pozos del campo San Alberto que se aplicará RCM

Pozo	Sistema de Extracción	FF	Consecuencias	FF VS C
SAL-13	SW	5	4	MA
SAL-14	SW	5	4	MA

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.3. Elaboración de la hoja de información de los pozos con el sistema de extracción por Swap

La Hoja de información se obtuvo mediante un análisis del estado mecánico del Pozo SAL-14, como se muestra en la figura 3.6., donde se determinaron las funciones (F), falla funcional (FF) para cada función, modos de fallos (MF) relacionados con las fallas funcionales y los efectos de la falla (EF).

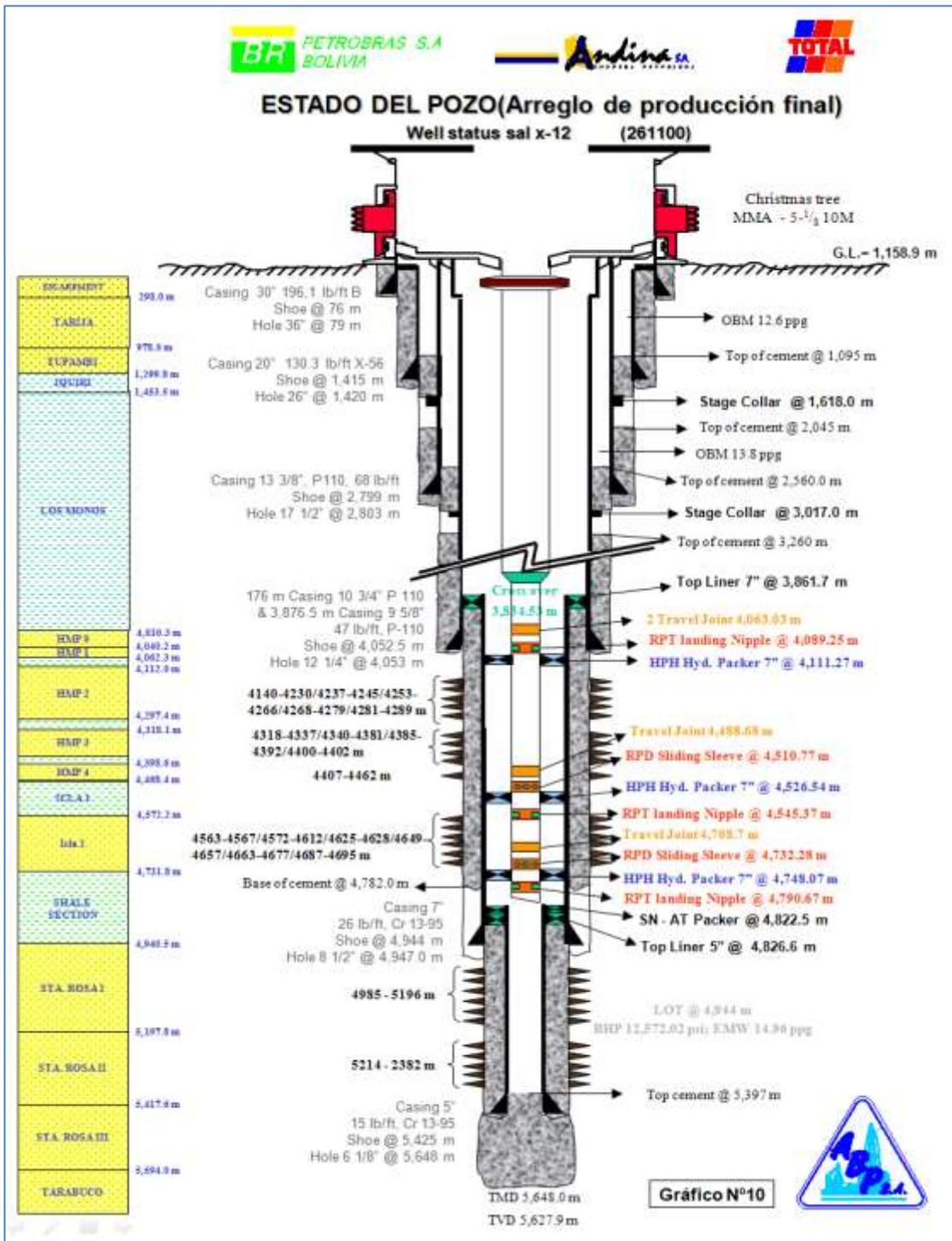
Mediante el análisis se obtuvieron 2 subsistemas, las cuales se nombran a continuación:

- Subsistema tubing⁸
- Subsistema Standing Valve⁹

⁸ La tubería de producción se ensambla generalmente con otros componentes de la terminación para conformar la sarta de producción.

⁹ Un arreglo de válvulas de fondo de pozo diseñado para contener la presión desde arriba, a la vez que permite el flujo de fluidos desde abajo.

Figura 3.6. Estado mecánico final del arreglo del pozo SAL-14



Fuente: Petrobras, Informe CPR-04, 2019

3.3.1. Subsistema tubing

El subsistema tubing consta del siguiente componente:

- Cuerpo del tubing

3.3.2. Subsistema standing valve

El subsistema standing valve consta de los siguientes componentes:

- Standing Valve
- Niple de asiento
- Cruceta

3.3.3. Hoja de información de los pozos con el sistema de extracción por Swap

La hoja de información se presenta a continuación, previo a su respectivo análisis descrito anteriormente:

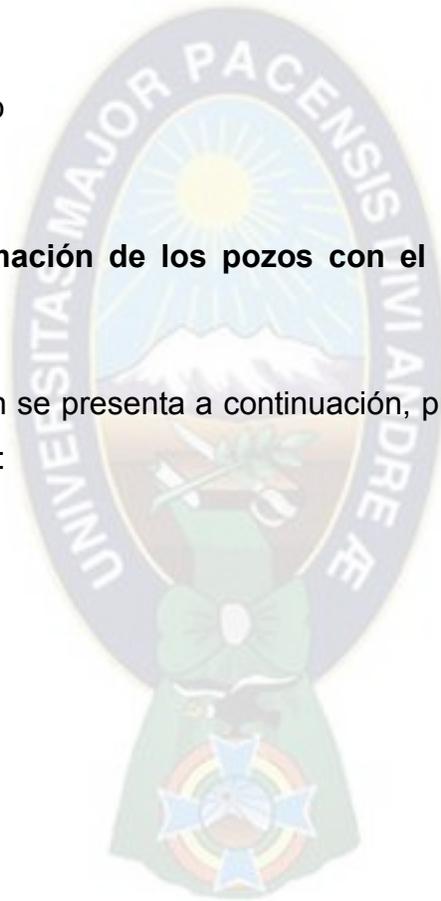


Tabla 3.17. Hoja de información del pozo con el sistema Swap

HOJA DE INFORMACIÓN DE RCM							
ACTIVO:		ELABORADO POR:		FECHA:			
EQUIPO UBICACIÓN:		REVISADO POR:		HOJA N°: 1 DE: 1			
COMPONENTE: Pulling - Servicio de SWAB				REF:			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (CAUSA DE FALLA)		EFECTOS DE LAS FALLAS	
SUBSISTEMA DE TUBING							
1	Permite conectar los fluidos del reservorio con las instalaciones de superficie.	A	No permite conectar los fluidos del reservorio con las instalaciones de superficie.	1	Fisura del cuerpo del tubing.	Rotura del tubing, por el rozamiento de la bajada del conjunto de Swab, o deterioro de la tubería, provocando fuga de los fluidos hacia el anular casing-tubing.	
SUBSISTEMA STANDING VALVE							
2	Permite que el fluido fluya en una sola dirección (hacia arriba), e impide el flujo en dirección opuesta.	A	Incapaz que el fluido fluya en una sola dirección (hacia arriba).	1	Taponamiento del standing valve	No permite la circulación de los fluidos del wellbore hacia la tubería de producción.	
3	Permite el anclaje de la bomba de subsuelo.	A	No Permite el anclaje de la bomba de subsuelo.	1	Desgaste del niple de asiento.	Hilos del niple de asiento en mal estado, provoca el desacople del equipo de fondo (standing valve).	
				2	Rotura de la cruceta	Provoca falencias en el funcionamiento del standing valve.	

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4. Elaboración de la hoja de decisión de los pozos con el sistema de extracción por Swap

La hoja de Decisión es la parte medular de la Metodología RCM, donde se podrá tener acceso a la siguiente información:

- Códigos RCM de los análisis de modos y causas de falla (AMFE¹⁰)
- Consecuencias
- Tipo de mantenimiento
- Tiempo programado
- Número de mantenimiento al año
- Tiempo para realizar el mantenimiento % (semaforización)
- Tiempo para realizar el mantenimiento en horas
- Último mantenimiento (hace cuantas horas)
- Horómetro
- Próximo mantenimiento (horas)

En la hoja de decisión de los 2 pozos seleccionados, el horómetro corre hasta la fecha del 19 de julio del 2019, el número de horas diarias que han pasado desde el último mantenimiento hasta el 19 de julio del 2019 depende del contexto operativo de cada pozo.

En el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1¹¹ se le asignó una tarea, verificar el estado y funcionamiento del standing valve, o cambiar standing si es necesario, con una inspección al modo de falla de 4 veces cada 10 años, el número de horas del mantenimiento programado dependerá del contexto operativo de cada pozo, donde se simula que el último mantenimiento predictivo se lo realizó el 6 de enero del 2020, al modo de falla de los 2 pozos seleccionados.

3.4.1. Código RCM de los análisis de modos y causas de fallas

¹⁰ Félix Pérez Rondón, Conceptos generales en gestión de mantenimiento, USTA, 2021

¹¹ Código RCM 2A1, significa 2 funciones, A fallas funcionales, 1 modo de falla.

El código RCM se los obtiene de la hoja de información mostrada en la figura 3.13., donde se refleja información de la función (F), falla funcional (FF) y modos de falla (FM) de cada ítem.

3.4.2. Consecuencias

La evaluación de las consecuencias se los realiza mediante un análisis utilizando el diagrama de decisión RCM, donde se reflejará si son consecuencias de fallo oculto, para la seguridad o el medio ambiente, operacionales o no operacionales.

3.4.3. Tipo de mantenimiento

El tipo de mantenimiento se los obtiene mediante un análisis utilizando el diagrama de decisión RCM, donde se conocerá los diferentes tipos de mantenimiento, mostrado a continuación:

- Tarea a condición
- Tarea a reacondicionamiento cíclico
- Tareas de sustitución cíclica
- Tarea de búsqueda de fallos
- El rediseño es obligatorio
- Ningún mantenimiento preventivo

3.4.4. Tiempo programado

El tiempo programado es una frecuencia para conocer cada cuanto tiempo (en horas) se le va a realizar un mantenimiento a determinado activo, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Frecuencia = (F_n - F_{n-1}) * \frac{Horas\ trabajadas\ del\ activo}{día} [Horas]$$

Ecuación 3.2.

Donde:

F_n = Fecha del último mantenimiento.

Fn-1 = Fecha del penúltimo mantenimiento.

A continuación, se muestra el tiempo programado de los 2 pozos que cuentan con el sistema de extracción por Swab que entraron en el rango de muy alta jerarquización utilizando el modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” matriz de criticidad por riesgo.

Tabla 3.18. Obtención del tiempo programado de los pozos que funcionan con el sistema de extracción por Swap

Pozo	Sistema de extracción	Último mantenimiento subsistema tubing - standing valve	Penúltimo mantenimiento subsistema tubing - standing valve	Último mantenimiento - penúltimo mantenimiento	Horas trabajadas al día	Frecuencia de mantenimiento
SAL-13	SW	06/01/20	06/02/18	699	1	699
SAL-14	SW	11/06/19	23/12/16	900	1	900

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Petrobras, 2019

En los pozos que funcionan con el sistema de extracción por Swab, la cuadrilla de Pulling por lo general realiza servicio completo donde se le da mantenimiento a cada subsistema del activo.

3.4.5. Número de mantenimientos al año

El número de mantenimientos al año, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número de mantenimientos al año} = \frac{\frac{\text{horas trabajadas del activo}}{\text{año}}}{\text{Tiempo programado (hr)}} \text{ [mto/año]}$$

Ecuación 3.3.

El ejemplo para el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1:

$$\text{Número de mantenimientos al año} = \frac{1 \text{ hora} \cdot 365 \text{ días}}{\text{día} \cdot 1 \text{ año}} \cdot \frac{1}{699 \text{ hr}} = 0.52 \text{ [mto/año]}$$

3.4.6. Tiempo para realizar el mantenimiento (%) – Semaforización

El tiempo para realizar el mantenimiento, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Tiempo\ para\ realizar\ mtto = 100\% - \frac{Tiempo\ para\ realizar\ mtto\ (hr)}{Mantenimiento\ programado\ (hr)} \times 100\ [%]$$

Ecuación 3.4.

Tabla 3.19. Obtención del tiempo hasta 19 de julio del 2021 donde se obtuvieron datos

Pozo	Sistema de extracción	19/07/2021 Fecha de obtención de datos Último - standing valve	Último mantenimiento subsistema tubing - standing valve	Fecha de la obtención de datos - Último mantenimiento	Horas trabajadas al día	Frecuencia de mantenimiento
SAL-13	SW	19/07/21	06/01/20	529	1	529
SAL-14	SW	19/07/21	11/06/19	769	1	769

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Petrobras, 2019

El ejemplo para el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1:

$$Tiempo\ para\ realizar\ mtto = 100\% - \frac{529\ (horas)}{699\ (horas)} \times 100\ [%] = 24.3\%$$

De acuerdo con el porcentaje que se va obteniendo se le va asignando un color, y así se va obteniendo una semaforización para facilitar la lectura de los datos, la siguiente tabla detalla la semaforización a obtener:

Tabla 3.20. Semaforización

Semaforización	
Porcentaje (%)	Color
67 - 100	Verde
33 - 66	Amarillo
0 - 32	Anaranjado

Semaforización	
Porcentaje (%)	Color
≤ 0	Rojo

Fuente: Elaboración propia, 2021

El tiempo para realizar el mantenimiento en horas, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Tiem. a realizar el mtto = Proximo mtto (horas) - horometro (horas) [Horas]$$

Ecuación 3.5.

El ejemplo para el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1:

$$Tiem. a realizar el mtto = 100699 (horas) - 100529 (horas) = 170 [Horas]$$

3.4.7. Último mantenimiento

El último mantenimiento, es la lectura del horómetro desde que el pozo o el activo comenzó a producir hasta que se le realizó el último mantenimiento, debido a que no se conoce con exactitud el inicio de operaciones y los diferentes contextos operacionales que ha tenido el pozo durante su vida productiva, se decidió asignarle un valor referencial de 100.000 horas, que no afecta en nada el resultado final. La unidad es en horas.

3.4.8. Horómetro

El horómetro, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Horómetro = último mtto (horas) + Nro horas (horas) [Horas]$$

Ecuación 3.6.

Donde:

Nro Horas = Al número de horas que han pasado desde que se le realizó el último mantenimiento a la fecha actual.

El ejemplo para el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1:

$$\text{Horómetro} = 100000 \text{ (horas)} + 529 \text{ (horas)} = 100529 [\text{Horas}]$$

3.4.9. Próximo mantenimiento

El Próximo mantenimiento, se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Próximo mmto} = \text{último mmto (horas)} + \text{mmto programado (horas)} \text{ [Horas]}$$

Ecuación 3.7.

El ejemplo para el pozo SAL-13, el standing valve con el código RCM 2A1:

$$\text{Próximo mmto} = 100000 \text{ (horas)} + 529 \text{ (horas)} = 100529 [\text{Horas}]$$

3.5. Hoja de decisión para los dos pozos seleccionados

A continuación, se muestra las hojas de decisiones de los 2 pozos que entraron en el rango de muy alta jerarquización según el Modelo de Criticidad Semicuantitativa “MCR” matriz de criticidad por riesgo y que fueron seleccionados para aplicarles RCM.

3.5.1. Hoja de decisión para el pozo SAL-13

Tabla 3.21. Hoja de decisión para el pozo SAL-13

ACTIVO:		Pozos con sistemas de extracción Swab						N°			REALIZADO POR:			FECHA INICIAL:																															
COMPONENTE:		SAL-13						REF.			REVISADO POR:			FECHA ÚLTIMO CAMBIO:																															
INFORMACIÓN DE REFERENCIA			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1			H2			H3			TAREAS POR DEFAULT			TIPOS DE MANATENIMIENTO			TAREAS PROPUESTAS			N° DE MTTO AL AÑO			MTTO PROGRAMADO (HORAS)			HOROMETRO (ACTUALIZAR DIARIAMENTE) (HORAS)			INDICADOR PARA REALIZAR EL MTTO (%)			TIEMPO PARA REALIZAR EL MTTO (HORAS)			ÚLTIMO MTTO/FALLA FUNCIÓN A LA LECTURA DEL HOROMETRO (HORAS)			PROX. MTTO (HORAS)		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4																														
							N1			N2			N3																																
SUBSISTEMA DE TUBING																																													
1	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el estado del cuerpo de la tubería, presencia de canales, de formación o rotura del cuerpo de la tubería, incrustaciones de escalas, desgastes de los hilos, Cambiar tuberías en mal estado, contar con el stock necesario en bodega para determinada tarea.			0.52	699	100529	24%	170	100000	100699																			
SUBSISTEMA STANDING VALVE																																													
2	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el estado y funcionamiento del standing valve, Cambiar standing si es necesario.			0.52	699	100529	24%	170	100000	100699																			
3	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI							Sustitución Cíclica	Cambiar cruceta			0.52	699	100529	24%	170	100000	100699																			
3	A	2	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI							Sustitución Cíclica	Cambiar niple de asiento			0.52	699	100529	24%	170	100000	100699																			

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Petrobras, 2019

3.5.2. Hoja de decisión para el pozo SAL-14

Tabla 3.22. Hoja de decisión para el pozo SAL-14

ACTIVO:		Pozos con sistemas de extracción Swab							Nº	REALIZADO POR:	FECHA INICIAL:											
COMPONENTE:		SAL-14							REF.	REVISADO POR:	FECHA ÚLTIMO CAMBIO:											
INFORMACIÓN DE REFERENCIA			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS POR DEFAULT			TIPOS DE MANUTENIMIENTO	TAREAS PROPUESTAS	Nº DE MTTO AL AÑO	MTTO PROGRAMADO (HORAS)	HOROMETRO (ACTUALIZAR DIARIAMENTE) (HORAS)	INDICADOR PARA REALIZAR EL MTTO (%)	TIEMPO PARA REALIZAR EL MTTO (HORAS)	ÚLTIMO MTTO/FALLA FUNCIÓN A LA LECTURA DEL HOROMETRO (HORAS)	PROX. MTTO (HORAS)	
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4										
			O1	O2	O3																	
SUBSISTEMA DE TUBING																						
1	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	SI						Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el estado del cuerpo de la tubería, presencia de canales, de formación o rotura del cuerpo de la tubería, incrustaciones de escalas, desgastes de los hilos, Cambiar tuberías en mal estado, contar con el stock necesario en bodega para determinada tarea.	0.4	900	100769	15 %	131	100000	100900
SUBSISTEMA STANDING VALVE																						
2	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	SI					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el estado y funcionamiento del standing valve, Cambiar standing si es necesario.	0.4	900	100769	15 %	131	100000	100900	
3	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI				Sustitución Cíclica	Cambiar cruceta	0.4	900	100769	15 %	131	100000	100900	
3	A	2	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI				Sustitución Cíclica	Cambiar niple de asiento	0.4	900	100769	15 %	131	100000	100900	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Petrobras, 2019

3.6. Procedimientos operacionales de Pulling

Cuando el departamento de Pulling requiera generar una orden de trabajo, se deberá llevar a cabo una serie de tareas de manera ordenada y de acuerdo con tres tipos, las cuales se detallan a continuación:

- Tareas de apertura
- Tareas normales
- Tareas de cierre

En los diferentes servicios que realice el departamento de Pulling, el procedimiento de actividades se deberá llevar a cabo con las tareas antes mencionadas para una mejor planificación de trabajo.

Las siguientes listas de tareas que se detallan a continuación, se realizaron y se redactaron con visitas técnicas al campo, donde se obtuvo la colaboración de los operadores y los ingenieros de campo para el desarrollo de las listas de tareas de acuerdo con los servicios que realiza la cuadrilla de Pulling para el mantenimiento de los modos de fallo. Servicios a pozos con sistema de extracción de bombeo:

- Servicio completo
- Cambio de bomba de subsuelo
- Cambio de varillón o facilidades de superficie donde sea indispensable la presencia de la cuadrilla de Pulling

3.7. Archivos relacionados al generar una orden de trabajo para mantenimiento de pozos

Cuando se genera una orden de trabajo para dar mantenimiento a los pozos mediante operaciones de Pulling, se utilizan una serie de reportes y documentos donde se le da seguimiento a las actividades o decisiones que se toman durante el servicio a pozo, los documentos y reportes que se utilizan en determinados mantenimientos se nombran a continuación:

- Check list - Montaje de la unidad de Pulling
- Reporte de Pulling
- Planilla de inspección de varillas
- Planilla de inspección de una vía, locación e instalaciones del pozo
- Movimiento de materiales
- Medición de tuberías y accesorios

3.7.1. Check list – Montaje de la unidad de Pulling

Es una lista de tareas donde se realiza el montaje de la unidad de Pulling en el pozo y distribución de componentes y materiales, donde se detalla el procedimiento para instalar correctamente el equipo de Pulling y todos sus componentes.

3.7.2. Reporte de pulling

Es un reporte donde se detallan las actividades que se generan hora a hora en el servicio a pozo, también se detalla los accesorios que conforman la completación del pozo al momento de su extracción a la superficie para su debida inspección y otras características.

3.7.3. Planilla de inspección de varillas

En la planilla de inspección de varillas se detallan las dimensiones de las varillas que estaban en la terminación del pozo y se les da una inspección para su respectivo uso o un posible reemplazo de varillas.

3.7.4. Planilla de inspección de una vía, locación e instalaciones del pozo

Es un documento donde se reporta si existe alguna anomalía durante el trayecto al pozo, donde se verifica el estado de las instalaciones del pozo y observaciones en la locación.

3.7.5. Movimiento de materiales

En este reporte se detallan las dimensiones de los materiales solicitados a utilizar en la completación del pozo y otras características y observaciones.

3.7.6. Medición de tuberías y accesorios

En la medición de tuberías y accesorios se detallan dimensiones de las tuberías que estaban en la completación de los pozos y se las evalúan para su continuo uso o reemplazar por nuevas. Además, se detallan otros accesorios que forman parte de la completación.

3.8. Propuesta de manual de operación y mantenimiento preventivo de equipos

En primera instancia es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones, tales como:

3.8.1. Seguridad

- Para evitar daños en los equipos o el mal uso de estos, lea todas estas instrucciones de seguridad antes de utilizar el equipo y guárdelas en un lugar donde todas las personas que utilicen el equipo puedan leerlas.
- Para garantizar la seguridad, y atenerse a las normas ISO, JIS y otros reglamentos de seguridad.
- Las consecuencias que puedan derivarse del incumplimiento de las precauciones señaladas en esta sección se indican con el símbolo siguiente:

Figura 3.7. Símbolos de seguridad



Este símbolo indica una advertencia: información que debe leer antes de utilizar cualquier equipo para evitar posibles daños.



Este símbolo indica alta tensión: la manipulación de los equipos que tengan este símbolo la debe realizar un profesional certificado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 45000

3.8.2. Advertencias

A continuación se describen algunas advertencias a tomar en cuenta respecto a la operación y mantenimiento de los diferentes equipos en planta.

- ⚠ Antes de utilizar cualquier maquinaria de la planta verifique que todos los servicios estén provistos al equipo (Energía eléctrica, agua, vapor, aire etc.).
- ⚠ En caso de funcionamiento defectuoso apague inmediatamente el equipo. Si observa que sale humo de algún motor o de la caja de la selladora o que desprenden algún olor extraño apague inmediatamente el equipo. Si sigue utilizando el equipo, corre el riesgo de sufrir daños.
- ⚠ No utilice los equipos si hay gas inflamable. No utilice equipos electrónicos si hay fuga de gas inflamable ya que podría causar una explosión o un incendio.
- ⚠ Antes de realizar cualquier cambio, limpieza u otro, verifique que los servicios de alimentación de energía eléctrica, vapor, aire estén fuera de servicio.
 1. La inspección y mantenimiento del equipo no se debe efectuar hasta confirmar que todos los elementos de la instalación estén en posiciones seguras.
 2. Al cambiar componentes confirme las especificaciones de seguridad del punto anterior
- ⚠ No desmonte los equipos. La manipulación de las piezas internas de los equipos podrían provocar daños. En caso de funcionamiento defectuoso, solo el encargado de mantenimiento puede reparar el equipo o reemplazarlo.

⚠️ Al realizar la limpieza de los equipos o tuberías de transporte asegúrese que los equipos electrónicos estén desconectados. A pesar que las bombas tienen un barnizado de fábrica que evita que estos entren en corte cuando el agua ingrese a sus bobinas, con el uso constante y a lo largo de su vida útil estos se van desgastando y este hecho puede llevar a la quema de estos (Bombas o Moto reductores), en el caso de las selladoras, se debe tener cuidado que el agua no haga contacto con la caja donde se encuentran los botones y perillas.

3.8.3. Propuesta de aplicación de medidas preventivas del modelo

Sabiendo que a medida que se usan los equipos se va generando un desgaste en sus piezas, lo que genera una alta probabilidad que ocurra una falla; Los fabricantes por medio de pruebas han propuesto una serie de actividades preventivas que ayudan a aminorar y extender el periodo de vida útil de las maquinas.

Para YPFB Andina, en donde se encontró información respecto a los equipos, para generar actividades preventivas que dieran solución a las fallas encontradas. Por lo tanto se generaron parámetros para implementar el modelo de mantenimiento de la siguiente manera:

- ❖ Se propone crear un grupo de trabajo en la empresa para cumplir con la tareas de mantenimiento, conformado por el director de producción, Director de calidad, Auxiliares de producción, donde uno de los auxiliares que tiene experiencia en la parte técnica de las maquinas se asignó para realizar los mantenimientos cotidianos y los especializados se programan para que sean llevados a cabo por subcontratación, todo esto como etapa inicial ya que por el momento la empresa no realizara la contratación de un técnico especializado para el área de mantenimiento.
- ❖ Se debe tener a disposición un kit de herramienta con las existentes y unos insumos de alta rotación como aceite, grasa, válvulas, cinta teflón, oring con el fin de facilitar las actividades diarias y a su vez la empresa

está evaluando la posibilidad de crear u almacén de repuestos de alta rotación.

- ❖ Se deben realizar capacitaciones a todo el personal de la empresa sobre la parte conceptual acerca del mantenimiento, como implementarlo, al personal directamente implicado con el plan de mantenimiento se le indico como diligenciar los formatos de control, cuando se genera una orden de trabajo y se dio a conocer las actividades preventivas diarias antes de iniciar la producción.
- ❖ Se implementaran los planes de mantenimiento individuales a la calderas, compresores, etc., se realizaran inspecciones diarias a estos equipos antes de iniciar las labores, reportar y registrar toda anomalía que presente en los equipos.

3.8.4. Resultados esperados

Una vez establecido el grupo de trabajo que liderará los aspectos de mantenimiento, la dirección administrativa debe definir parámetros para abordar ciertas situaciones como:

3.8.4.1. Generalidades

- No se realizarán trabajos de control de fugas cuando no halla certeza, que la acción a llevar a cabo no empeorara el estado de la misma.
- Solo se realizar trabajos de mantenimiento si se cuenta con las herramientas y repuestos adecuados.
- Después de cualquier actividad de mantenimiento se debe dejar el lugar aseado y limpio.
- Toda anomalía o mal funcionamiento de las maquinas deberá ser reportado a el director de producción y debe ser registrado en su debido formato de control.
- No se debe intervenir los equipos si se desconoce su funcionamiento o las consecuencias de las acciones a realizar.

- No se debe poner en funcionamiento equipos a los cuales se les haya detectado fallas que puedan comprometer la vida útil del equipo, la seguridad de la planta o la calidad del producto.
- Todo auxiliar de producción deberá recibir inducción, e instrucciones sobre el mantenimiento y cuidado básico de las maquinas.

3.8.4.2. Funciones del personal relacionado con el mantenimiento

Director administrativo.

- Analizar las solicitudes compra de repuestos y aprobarlas.
- Analizar y crear una lista de proveedores de servicio y repuestos según parámetros de mejor oferta.
- Analizar el presupuesto y costos de mantenimiento.
- Director de producción.
- Atender todas las solicitudes verbales y escritas de mantenimiento realizadas por los auxiliares y técnicos.
- Generar órdenes de trabajo cuando se requieran.
- Realizar programaciones de actividades de mantenimiento, cumpliendo con las exigencias del programa de producción.
- Dirigir y controlar los programas de inspección y limpieza por parte de los auxiliares de producción, en el momento que se realizan los trabajos o de defecto los efectuados por subcontratación.
- Realizar solicitudes e repuestos e insumos para el mantenimiento.

Director de calidad.

- Llevar el control del diligenciamiento de los formatos de mantenimiento.
- Realizar capacitaciones y retroalimentaciones sobre el programa de mantenimiento.
- Apoyar al director de mantenimiento en la generación de actividades de reparaciones o acciones preventivas para los equipos.

- Registrar y archivar los formatos de control en las hojas de vida de cada equipo.

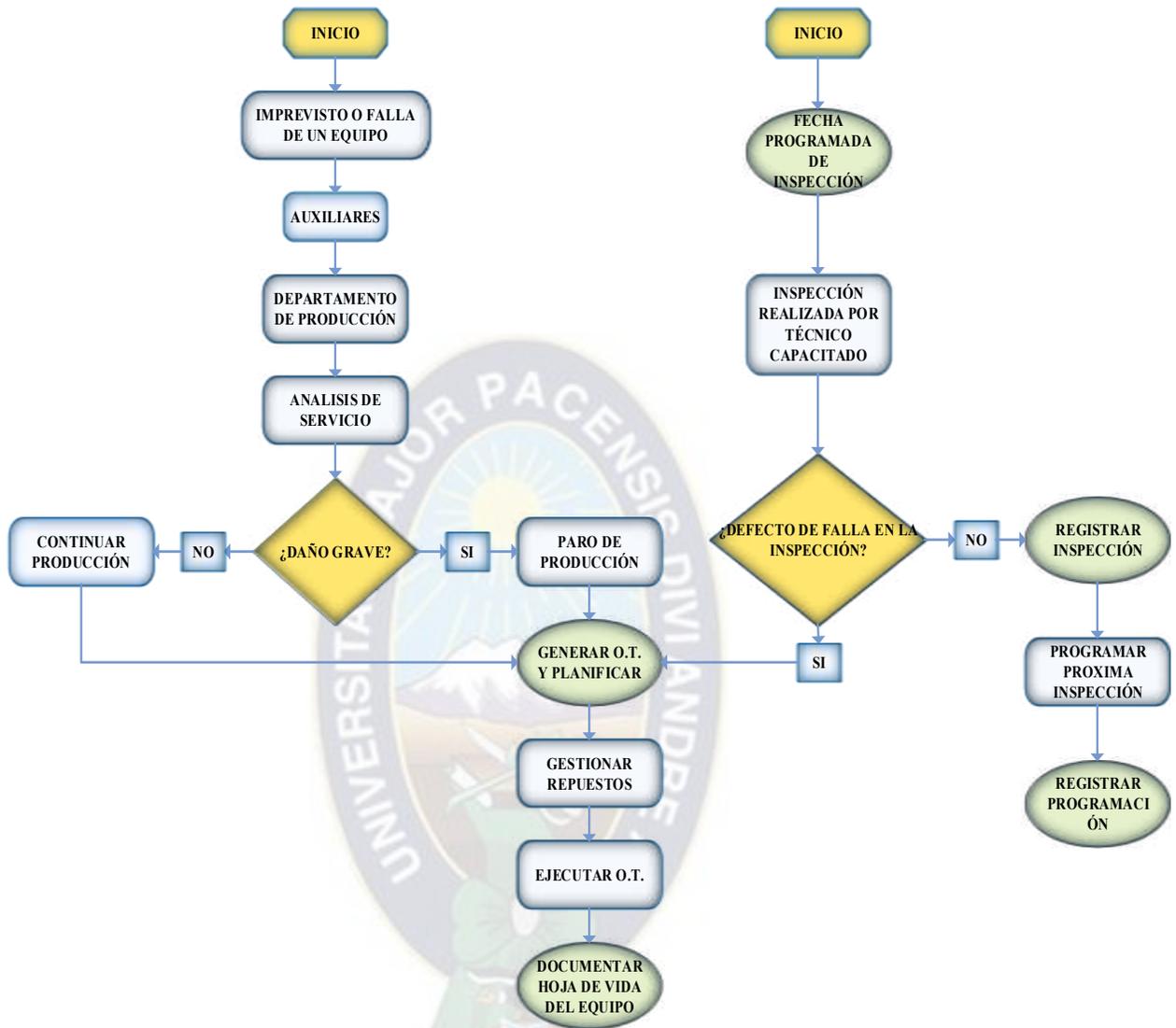
Auxiliares de producción.

- Informar al director de producción cualquier anomalía o funcionamiento anormal en los equipos.
- Llevar a cabo las tareas asignadas por el director de producción de limpieza e inspección de los equipos.
- Registrar en los formatos de control las intervenciones realizadas a los equipos.
- Realizar las revisiones programadas en los mantenimientos individuales de los equipos.
- Cumplir las tareas de mantenimiento programadas.

3.8.4.3. Desarrollo

Este plan de mantenimiento se basa en inspecciones programadas que se llevan a cabo para la previa atención de los equipos con el fin de evitar grandes averías y paradas de producción. Para ello se crearon tareas de inspección para equipo con determinadas frecuencias por eso es importante tener en cuenta la figura 14 en donde se describe el procedimiento a seguir cuando se encuentre una falla o mal funcionamiento.

Figura 3.8. Ruta de inspección para una falla



Fuente: Elaboración propia, 2021

Para las actividades específicas se aplicaran los mantenimientos individuales, en donde es claro la frecuencia y el tipo de trabajo a desarrollar.

Los mantenimientos se deben llevar a cabo durante los días de baja producción, días sábados y paradas programadas con posible sustitución, es decir en la planta existen equipos de stock como los compresores que se utilizan según los requerimientos que surjan.

3.9. Análisis Económico

3.9.1. Costos de mantenimiento

Realizando una pequeña investigación sobre los precios actuales que presentan algunas empresas prestadoras de servicios petroleros, se obtuvieron los siguientes valores promedios:

Alquiler de equipo de pulling por Hr:

- Hora de operación: \$1800
- Hora del equipo en Stand-By: \$1600
- DTM (Desmontaje, Traslado y Montaje): \$35000 por pozo.

Cabe mencionar que estos precios rigen para la provincia cercanas a una ciudad, incrementados estos valores al migrar hacia otras provincias lejanas.

A continuación, se detallan precios referenciales de los modos de fallos de los pozos con sistema de extracción por Swab, donde el tiempo de mantenimiento dependerá de la profundidad y del daño del pozo.

Por lo general, en las terminaciones de los pozos con el sistema de extracción por Swab, utiliza el 30% de varillas de 3/4" y el 70% de 5/8", el resto de los accesorios se escoge de acuerdo con decisiones técnicas. Precios referenciales de los modos de falla de los pozos con el sistema de extracción por Swab:

Tabla 3.23. Precios referenciales de los modos de falla de los pozos con el sistema de extracción por SWAB

PRECIOS REFERENCIALES DE LOS MODOS DE FALLA DE LOS POZOS CON EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN POR SWAB	PRECIO \$us
Subsistema de tubing	
Tubería 2 3/8" (\$us/FT) / Tubing 2 3/8" EUE 8 RD, 4,7 lb/pie, J-55	4,5
Tubería 2 7/8" (\$us/FT) / Tubing 2 7/8" 6,4 lb/pie EUE 8 RD, 4,7 N-80 SMLS. R2, API 5CT	6,5
Subsistema standing valve	
Standing valve 2 7/8"	363,38

PRECIOS REFERENCIALES DE LOS MODOS DE FALLA DE LOS POZOS CON EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN POR SWAB	PRECIO \$us
Standing valve 2 3/8"	379,13
Asiento de bomba 2 7/8" 8RD Para uso en SWAB anclaje de bomba de tubería	77
Asiento de bomba 2 7/8" 8RD Para uso en SWAB anclaje de bomba de tubería	87
Cruceta	20

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Petrobras.

Un costo promedio de una falla en los quipos de extracción, tiene un costo de mantenimiento a la empresa de:

Tabla 3.24. Precios referenciales de los modos de falla de los pozos con el sistema de extracción por SWAB.

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL \$
Costo de pulling	1800 Costo por hora (\$/hr)	86400
DTM (Desmontaje, Traslado y Montaje):	\$/ por equipo	35000
Standing valve 2 3/8"	\$/ por quipo	379.13
Total		121779.43

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Petrobras.

3.9.2. Costos de implementación del RCM

Para analizar la presente propuesta, se debe tener en cuenta los costos en lo que la empresa debe cubrir para poner en marcha el sistema de gestión de mantenimiento preventivo.

Los costos se agruparon y clasificaron por áreas de trabajo:

- Costos de aseguramiento de calidad en mantenimiento.
- Costos de administración

- Costos de recurso humano

Como los costos abarcan diferentes áreas es necesario un compromiso de toda la organización, y para ello se aplicarán la siguiente metodología:

Cotizar un salario básico de 6000 Bs, igual a 200 Bs diarios para un Ingeniero que se especialice en mantenimiento, que se encargue de la planeación e implementación del proyecto (Salario mensual estipulado por la empresa)

Tabla 3.25. Costos para asegurar la calidad en el mantenimiento en bolivianos

ACTIVIDAD	COSTOS	SUBTOTAL Bs
Organizar y controlar los diferentes registros.	30 días x 200/día	6.000,00
Organizar la información y asignar los recursos necesarios para el apoyo y seguimiento de estos procesos de acuerdo a los requisitos necesarios para un RCM	15 días x 200/día	6.000,00
Establecer un proceso de control, revisión, actualización y aprobación, vigencia y disponibilidad de documentos	15 días x 100/día	1.500,00
Diseñar un manual de funciones donde se estipule tipos, medios y procedimientos de comunicación requeridos por el RCM.	30 días x 200/día	6.000,00
Capacitaciones	30 días x 200/día	6.000,00
Documentar cada proceso de acuerdo a los requisitos necesarios	90 días x 100/día	9.000,00
Establecer los criterios para la revisión, aprobación de los procesos y calificación del personal	30 días x 100/día	3.000,00
Diseñar, implementar e incluir las acciones correctivas y preventivas.	15 días x 200/día	3.000,00
TOTAL COSTOS		40.500,00

Fuente: Elaboración propia en base a Consultora Boliviana Sysolam

Tabla 3.26. Costos de administración en bolivianos

ACTIVIDAD	COSTOS	SUBTOTAL Bs
Designar los recursos físicos y económicos para el funcionamiento del RCM	5 días x 200/día	1.000,00
Presupuestar el costo de la capacitación	15 días x 100/día	3.000,00
TOTAL COSTOS DE ADMINISTRACION		4.000,00

Fuente: Elaboración propia en base a Consultora Boliviana Sysolam

Tabla 3.27. Costos de producción en bolivianos

ACTIVIDAD	COSTOS	SUBTOTAL Bs
Establecer los criterios y métodos para ejercer control sobre los pozos	15 días x 200/día	3.000,00
Diseñar e implementar los formatos para un mayor control.	10 días x 200/día	2.000,00
Documentar e implementar los procedimientos transformación, entrega, características de calidad del servicio, manipulación de materiales, duración y demás requisitos para el plan de mantenimiento.	30 días x 200/día	6.000,00
TOTAL COSTOS DE PRODUCCION		11.000,00

Fuente: Elaboración propia en base a Consultora Boliviana Sysolam

Tabla 3.28. Costo de recurso humano en bolivianos

ACTIVIDAD	COSTOS	SUBTOTAL Bs
Planear una evaluación del desempeño.	15 días x 200/día	3.000,00
TOTAL COSTOS DE RECURSO HUMANO		3.000,00

Fuente: Elaboración propia en base a Consultora Boliviana Sysolam

Tabla 3.29. Total costos de implementación del RCM

ACTIVIDAD	TOTAL Bs
Costos de Aseguramiento de Calidad	40.500,00
Costos de Administración	4.000,00
Costos de Producción	11.000,00
Costos de Recursos Humano	3.000,00
Total Costos de Implementación antes de Pre auditoría	58.500,00

Fuente: Elaboración propia en base a Consultora Boliviana Sysolam

3.9.3. Análisis costo-beneficio

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en el RCM, se realizó debido a que la empresa no cuenta con un programa de mantenimiento. El beneficio que se dará es minimizar el número de Pulling en los pozos del Campo San Alberto SAL-13 y SAL-14, mostrando un ahorro en el tiempo para la realización de actividades, así tenemos que el beneficio/costo es:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{costo}} = \frac{121779.43 \$}{58500 \text{ Bs} * \frac{1 \$}{6.96 \text{ Bs}}} = 14.48$$

Lo cual nos indica que por cada dólar que se invierte en el sistema de mantenimiento RCM, el beneficio será de 14,48 dólares.

Para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C hallada con 1. Así:

- Si $B/C > 1$, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia el proyecto debe ser considerado.
- $B/C = 1$, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias. Existen casos de proyectos que tienen este resultado por un tiempo y luego, dependiendo de determinados factores como la reducción de costos, pueden pasar a tener un resultado superior a 1.
- $B/C < 1$, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado.



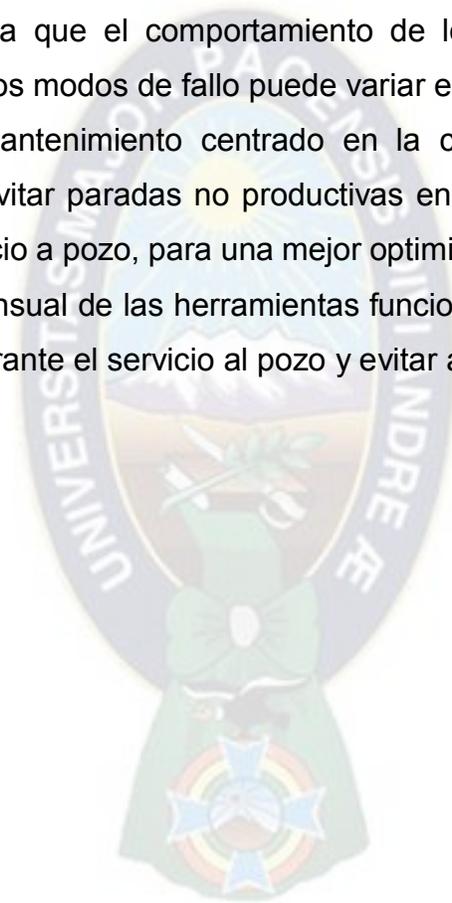
CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó un estudio a 6 pozos productores con sistema de extracción por Swab y Plunger Lift perteneciente al Campo “San Alberto”. Debido a que en este proyecto solo se aplicará RCM a los pozos que califiquen en el rango de “Muy Alto el nivel de criticidad”.
- El resultado de la jerarquización por criticidad fue que 3 pozos calificaron en el rango de “baja criticidad”, 0 pozo calificó en el rango de “media criticidad”, 1 pozo calificó en el rango de “alta criticidad”, 2 pozos calificaron en el rango de “Muy Alta criticidad”. A los pozos que se ubicaron en el rango de Muy Alta criticidad se le aplicó el RCM.
- Mediante el análisis del diagrama de decisiones al varillón pulido con su respectivo código RCM 6A1 se asignó un mantenimiento predictivo con una tarea a condición, dicha tarea se realizará dos veces al año para verificar la condición del varillón pulido. La frecuencia del mantenimiento programado dependerá del contexto operacional de cada pozo.
- En la hoja de decisión de los 2 pozos seleccionados el horómetro corre hasta la fecha del 28 de septiembre del 2020, el número de horas diarias que han pasado desde el último mantenimiento hasta el 28 de septiembre del presente año depende del contexto operativo de cada pozo.
- La metodología RCM no pretende cambiar la organización del trabajo, ni agregar tareas de mantenimiento que no sean posibles de realizar, simplemente se puede evidenciar los componentes y modos de falla que más afectación tuvieron para poder tomar acciones proactivas para asegurarse que el activo siga en función.
- El costo de implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM asciende a 58.500 bs.

4.2. Recomendaciones

- Llevar a Pulling a los pozos que entraron en el rango de alta criticidad con previo análisis que justifique que necesitan un mantenimiento.
- Realizar un seguimiento a los pozos productores que esten cerca de la población, debido a que los trabajos realizados por la cuadrilla de Pulling son de alto riesgo.
- Dar un seguimiento a las frecuencias de mantenimiento programado de los pozos debido a que el comportamiento de los pozos es dinámico, y la afectación de los modos de fallo puede variar en los tiempos programados.
- Realizar un mantenimiento centrado en la confiabilidad a la unidad de Pulling, para evitar paradas no productivas en el momento o antes que se realice el servicio a pozo, para una mejor optimización en tiempos y costos.
- Inspección mensual de las herramientas funcionales para evitar paradas no productivas durante el servicio al pozo y evitar accidentes laborales.



BIBLIOGRAFÍA

- ARATA, A. (2003). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. RIL.
- GARCIA. (2019). *Mantenimiento industrial*. Obtenido de http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288
- GARRIDO, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantemineto*. España: Díaz de Santos.
- GUSTAVO, G. (1982). *Manual de mantenimiento de instalaciones industriales*. Barcelona: Balfinasturio.
- Hernandez, S. (2006). *Metodología de la Investigación*. Mexico.
- Mantenimiento en empresas*. (2019). Obtenido de http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/la-cadena-lactea/es/#.U3Y059J_tWI
- MOUBRAY, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Madrid: Alhambra.
- REY, F. (2001). *Manual de mantenimiento integral en la empresa*. Madrid: Confemetal.
- SACRISTAN, F. R. (2001). *Manual de mantenimiento integral en la empresa*. Madrid: Coinfemetal.
- SAE, I. (2002). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard JA1012_201108. USA: SAE INTERNATIONAL.
- Silvano, M. (2017). *Seguridad en Equipos de Pulling – YPF S.A.* Mar de Plato : Universidad FASTA (Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino).

SPE. (30 de Enero de 2015). *petrowiki.org*. Obtenido de https://petrowiki.org/Plunger_lift

Standardization, I. O. (2007). *Industria de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenmineto de equipos*. USA: International Organization for Standardization.

Uguña, G. (2000). *Incremento de la Producción de Petroleo por Medio de la Reparación de Pozos por Levantamiento Intermitente de Gas Lift en el Campo Gustavo Galindo Velasco*. Guayaquil : Espol .

Vicente, G. (2014). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento modificado a los tanques de almacenamiento de petróleo para EP - Petroecuador, estación de bombeo N.-1 Lago Agrio, según la norma API 653*. QUITO: ESPE.

Yoo, S.-Y, Lee, S.-B., & Soon-Sup, L. (2017). *Development of Reliability- Centered Maintenance System for Equipment of FLNG*. San Francisco, USA: SPE.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha Técnica propuesta para San Alberto (SAL-13, SAL-14)

FICHA TECNICA

Nº MI1-

DATOS GENERALES			
Nombre:	Tratamiento de Agua	Equipo:	Codigo: LASAE-ION001
Ubicación:	Sala Tratamiento	Num.	Tipo: Equipo
Marca/Empresa:	_____	Info:	_____
Modelo:	_____		
Info de contacto:	_____		
Descripción:	Ionizador		
Observaciones:	_____		

DATOS FISICOS		
Dimensiones:	Alto:	Peso:
	Ancho:	
	Largo:	

DATOS TECNICOS		
Potencia: _____ Kw	Consumo:	Capacidad y Operacion:
Fases: _____	Agua Normal: _____	Operacion: _____
Voltaje: _____ V	Agua Fria: _____	Max: _____
Corriente: _____ A	Vapor: _____	Min: _____
Frecuencia: _____ Hz	Aire: _____	Combustible: _____
Fuerza: _____ HP	_____	Aceite Mec.: _____
	_____	Aceite _____
Caudal: _____	_____	Pneum.: _____
Revoluciones: _____ rpm	_____	Grasa: _____
	_____	_____

Piezas, Componentes y Elementos del EQUIPO		
1	5	9
2	6	10
3	7	11
4	8	12

Anexo 2. Solicitud de material, propuesta para San Alberto (SAL-13, SAL-14)

SOLICITUD DE MATERIAL						N° MI2- _____
Datos de la solicitud: (Breve Descripción)						Motivo:
						Falla
						No Conformidad
						Auditoria
						Seguimiento
Solicitado por:			Fecha/Hora :			Analisis de Datos
Area/Departamento Solicitante:			Firma:			Otro:
Area/Departamento a la que se le solicitanta:						
DATOS GENERALES						
Nombre:						Codigo:
Ubicación:						Tipo:
Marca/Empresa:		Modelo:		Info (Direc. Telf. ,www,):		
Documentación:						
Descripción:						
DATOS FISICOS						
Dimensiones:		Alto:	Ancho:	Largo:		
		Peso:	Materiales/Descripción:			
DETALLE DEL PEDIDO (Detalles, Descripción y Motivo)						
DATOS TECNICOS						
Potencia:		Revoluciones:		Caudal:		
Fases:		Sentido de Giro:		Altura:		
Voltaje:						
Corriente:						
Frecuencia:						
Combustible:						

Anexo 3. Solicitud de intervención, propuesta para San Alberto (SAL-13, SAL-14)

SOLICITUD DE INTERVENCION

Datos de la solicitud: (Descripción y Motivo)	Motivo:
	<input type="checkbox"/> Falla
	<input type="checkbox"/> No Conformidad
	<input type="checkbox"/> Auditoria
	<input type="checkbox"/> Seguimiento
	<input type="checkbox"/> Analisis de Datos
	<input type="checkbox"/> Otro:
Solicitado por: _____	Fecha/Hora : _____
Cargo/Area del Solicitante: _____	Firma: _____

Elemento a Intervenir:		
Codigo:	Nombre:	
Ubicación:		
Descripción/Datos:		
Responsable del Equipo:	Fecha/Hora :	Firma:

Comentario del Responsable/Solicitado		
Nombre/Cargo:	Fecha/Hora :	Firma:

Acciones Inmediatas	Responsable	Fecha
1		
2		
3		
4		

Acciones a Largo Plazo	Responsable	Fecha
1		
2		
3		
4		

Comentario sobre acciones tomadas		
		Fecha/Hora :
Nombre:		Firma:

Conclusión de la actividad realizada por el responsable/solicitado		
		Fecha/Hora :
Nombre:		Firma:

Anexo 4. Reporte de peligro, propuesta para San Alberto (SAL-13, SAL-14)

REPORTE DE PELIGRO

Nº MRI- _____

Descripción de la Situación Obscada:	Detalle de la Tarea:
	Lugar Específica:
	Fecha de Observación:
	Fecha: Hora:

Detalle del peligro:	
Potencial de daño: <input type="checkbox"/> Muy Alto <input type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Mediano <input type="checkbox"/> Bajo	
Elementos que intervienen:	
a) Personas <input type="checkbox"/> Falta de Conocimiento <input type="checkbox"/> Actitud Despreocupada/Imprudente <input type="checkbox"/> Incumplimiento de Norma/Procedimiento <input type="checkbox"/> Opera/ manipula Sin Autorizacion <input type="checkbox"/> Otro:	b) Equipo/Material/Herramienta <input type="checkbox"/> Danado / Mal estado <input type="checkbox"/> No cumple normas <input type="checkbox"/> Asea/Mantencion inadecado <input type="checkbox"/> Sin inspeccion <input type="checkbox"/> Otro
c) Edificio / Instalacion <input type="checkbox"/> Aseo / Mantencion inadecuada <input type="checkbox"/> No cumple norma <input type="checkbox"/> Derrame de Sustancia/ elemento/ material <input type="checkbox"/> Danado / Mal estado <input type="checkbox"/> Otro	d) Ambiental <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Agua <input type="checkbox"/> Ruido <input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Otro

Acciones:
Accion Realizada: <input type="checkbox"/> Comunicar <input type="checkbox"/> Corregir <input type="checkbox"/> Detener Trabajo <input type="checkbox"/> Informe
Descripcion de las acciones realizadas o propuestas: <hr style="border-top: 1px dotted black;"/> <hr style="border-top: 1px dotted black;"/> <hr style="border-top: 1px dotted black;"/>

Comunicado por:	Recepcionado por:	Jefe de Seguridad
Nombre:	Nombre:	Nombre:
Cargo:	Cargo:	Cargo:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

Anexo 5. Reporte de accidente / incidente

REPORTE DE ACCIDENTE / INCIDENTE N° MR2- _____

Descripción del Accidente / Incidente				Detalle del Accidente/Incidente	
<input type="checkbox"/> Personal	<input type="checkbox"/> Medio Ambiente	<input type="checkbox"/> Equipos	Fecha y Hora: _____		
<input type="checkbox"/> Mobiliario	<input type="checkbox"/> Infraestructura	<input type="checkbox"/> Otro: _____	Ubicación: _____		
Descripción del Incidente (Donde, Como y Que se estaba haciendo, Que sucedió, Que Acciones se tomaron)					
Nombre de la persona que reporta:				Firma:	

Datos Persona:			Datos Animal / Material:		
Nombre: _____			Nombre/Descripción: _____		
Sexo: M / F	Información laboral:	<input type="checkbox"/> Animal	<input type="checkbox"/> Gaseos	<input type="checkbox"/> Toxico	
Fecha Nac.	<input type="checkbox"/> Medio Tiempo	<input type="checkbox"/> Material	<input type="checkbox"/> Liquisdo	<input type="checkbox"/> Inflamable	
Hr. ultimo turno/descanso:	<input type="checkbox"/> Tiempo completo		<input type="checkbox"/> Solido		
	<input type="checkbox"/> Temporal/Visita	Cantidad Perdida:	Superficie Afectada:		
Pertenece a: (Persona/Empresa): _____			Fecha de Contrat./Adq.: _____		

Acciones Inmediatas	Responsable	Fecha
1		
2		
3		
4		

Acciones a Largo Plazo	Responsable	Fecha
1		
2		
3		
4		

Comentario del Involucrado / Accidentado
ct. 5-5-2011
Firma: _____

Comentario del Jefe de departamento / Contratista
Firma: _____

Comentario del Gerente / Jefe de Seguridad / Jefe de Departamento
Firma: _____

GLOSARIO DE TERMINOS

Mantenimiento: Todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Mantenibilidad: Es la propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez se ha presentado un evento de falla. Se dirá que un sistema es altamente mantenible cuando el esfuerzo asociado a la restitución sea bajo.

Factibilidad: Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.

Mantenimiento preventivo: Es aquel que se realiza de manera anticipado con el fin de prevenir el surgimiento de averías en los artefactos, activos electrónicos, vehículos automotores, maquinarias pesadas, etcétera.

Mantenimiento correctivo: Es aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos.

Pulling: Es un método, donde es utilizada una herramienta de fondo de pozo para extraer o recuperar los tapones temporarios o equipos similares. La herramienta de tracción externa se engancha en las superficies externas del elemento a recuperar.

Sistema de extracción por swab: consiste en levantar una columna de fluido (petróleo, agua, o petróleo-agua) a través del interior de la tubería de producción o tubería de revestimiento casing, desde una profundidad determinada hasta la superficie, utilizando un cable de acero enrollado a un tambor de la unidad swab.

Sistema de extracción por plunger lift: Es una forma de levantamiento artificial basado en un método de cierre y apertura del pozo en superficie con el fin de utilizar la energía del yacimiento para producir los líquidos acumulados en el pozo mediante un plunger o pistón que actúa como una interface sólida entre el nivel de líquido y gas de levantamiento.

Horómetro: Un Horómetro es un dispositivo que registra el número de horas en que un motor o un equipo, generalmente eléctrico o mecánico ha funcionado desde la última vez que se ha inicializado el dispositivo. Estos dispositivos son utilizados para controlar las intervenciones de mantenimiento preventivo de los equipos.