



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRIA EN GESTION DE MANTENIMIENTO
VERSIÓN 3

Propuesta de un modelo de Gestión de Mantenimiento
Centrado en Confiabilidad (RCM), de los activos críticos
del Terminal Nuevo de Productos Limpios Cuenca de la EP
Petroecuador

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Magister en Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. Fausto Enrique Narváez Padilla

Director: Ing. Luis Felipe Sexto Cabrera

Cuenca – Ecuador

2020

Propuesta de un modelo de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), de los activos críticos del Terminal Nuevo de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador

Fausto Enrique Narváez Padilla

Departamento de Postgrados, Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

fenp_narvaez@hotmail.com

Proposal for a Reliability Centered Maintenance Management (RCM) model for the critical assets of the New Terminal for Clean Products Cuenca of EP Petroecuador

Abstract.-

This project aimed at implementing a maintenance management system focused on reliability (RCM), in the new terminal of clean products Cuenca of EP Petroecuador. The study also determined the critical assets that influence the loss of availability, the liquefied petroleum gas (LPG) system is not carried out since it is not operational at the moment. The study of critical assets, their functions, failure modes, consequences and appropriate tasks to solve these problems was carried out in conjunction with the maintenance area and with the help of the facilitator. The research was supported by criticality matrices and with the philosophy of the RCM diagram system, it was possible to propose maintenance plans that will have the terminal in optimal operating conditions and its availability is not altered.

Keywords.-

Reliability Centered Maintenance, oil industry, EP Petroecuador, reliability, process, functional failures, alternatives, opportunities.

Translated by



Fausto Narvaez



Resumen

Este proyecto está encaminado a la propuesta de implementar un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), en el nuevo terminal de productos limpios Cuenca de la EP Petroecuador. Determinar los activos críticos que influyen para la pérdida de disponibilidad, no se realiza el sistema de gas licuado de petróleo (GLP) ya que al momento no se encuentra operativo. Se realizó en conjunto con el área de mantenimiento y con la ayuda del facilitador el estudio de los activos críticos, sus funciones, modos de fallos, consecuencias y tareas adecuadas para solventar estos inconvenientes. Apoyados en matrices de criticidad y con la filosofía que tiene el sistema de diagrama del RCM, se pudo proponer planes de mantenimiento que tendrán al

terminal en óptimas condiciones para el funcionamiento y no sea alterada la disponibilidad de la misma.

Índice de términos: Mantenimiento centrado en Confiabilidad, industria petrolera, EP Petroecuador, confiabilidad, proceso, fallos funcionales, alternativas, oportunidades.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se logró el objetivo de realizar la propuesta para establecer un modelo de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de los activos críticos del nuevo Terminal de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador y así tener una solución a la problemática que presenta dicho terminal que no cuenta con un sistema de gestión de mantenimiento ya

que al ser un terminal nuevo no se dispone de manuales de mantenimiento de los equipos de la planta ni procedimientos, en varios de los sistemas de administración las herramientas que se utilizan para la gestión no son suficientes para continuar creciendo y desarrollándose.



Fig. 1. Terminal nuevo de productos limpios Cuenca

La EP PETROECUADOR es una marca ecuatoriana posesionada como una de las preferidas en el mercado. Nació oficialmente el 26 de septiembre de 1989, mediante la Ley Especial No. 45, durante el gobierno del presidente Rodrigo Borja C. En aquel entonces, la Empresa Estatal se instauró con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa, económica, financiera y operativa, con facultades para cubrir sus costos, entregar al fisco el 90% de sus ganancias e invertir el 10% restante, en el área de exploración. Se creó bajo un sistema de empresas asociadas (holding) conformado por una matriz y seis filiales; tres de tipo permanente: Petroproducción, Petroindustrial, Petrocomercial; y tres transitorias: Petroamazonas, Transecuatoriana de Petróleos y Petropenínsula. El 18 de agosto de 2000 se reformó la Ley Especial de Petroecuador, estableciendo vicepresidencias en lugar de gerencias en las tres filiales. Actualmente EP PETROECUADOR es una empresa pública, creada en abril de 2010 bajo el Decreto Ejecutivo 315, que asume sus tareas asignadas con una filosofía de calidad, esfuerzo y mejoramiento continuo, por lo cual está en un proceso de reestructuración y modernización que permitirá consolidar la gestión técnica administrativa del sector petrolero estatal. Sus programas y proyectos emblemáticos le han otorgado prestigio en el país, entre estos destacan: los proyectos exploratorios de búsqueda de nuevas reservas de petróleo en el litoral ecuatoriano, el campo Drago, la modernización y optimización de la producción, rehabilitación de la Refinería Esmeraldas, construcción del Poliducto Pascuales-Cuenca, modernización de estaciones y poliductos de Esmeraldas-Santo Domingo Pascuales, construcción del Sistema de Almacenamiento de GLP, etc. Por esas acciones y otros

emprendimientos para fortalecer la industria hidrocarburífera ecuatoriana, EP PETROECUADOR se ha posicionado como una firma clave para el desarrollo del Ecuador. [1].

El nuevo terminal de productos limpios Cuenca se dedica a prestar los servicios de recepción, almacenamiento y despacho de combustibles, la cantidad de despacho aproximado por día se muestra en la tabla I:

TABLA I
CANTIDAD DE DESPACHO DE COMBUSTIBLES POR DÍA

PRODUCTO	CANTIDAD (galones)
Gasolina súper	35.000
Gasolina ecopais	270.000
Diésel premium	250.000
Diesel oil	45.000

Fuente: Autor

Otro servicio que realiza este terminal es la transferencia de combustibles hacia el depósito ubicado en Loja, la cantidad de transferencias aproximado por día se muestra en la tabla II:

TABLA II
CANTIDAD DE TRANSFERENCIAS DE COMBUSTIBLES POR DÍA

PRODUCTO	CANTIDAD (galones)
Premezcla	100.000
Diésel Premium	180.000

Fuente: Autor



Fig. 2. Despacho de Combustibles

Constituyendo el principal recurso productivo, los mismos que son vendidos en su mayoría a las comercializadoras e industria nacional.

El nuevo Terminal de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador está buscando concentrarse en las actividades que consideran centrales en su negocio, cambiar o mejorar los modelos de desempeño operativo

con que cuentan, mayor seguridad en cuanto a la rentabilidad y valor agregado de los procesos que implementen.

La disminución de la disponibilidad trae como consecuencia, pérdida en la producción, aumento de los costos operativos y una reducción de los ingresos; incluso en algunos casos puede originar un accidente tanto para las personas como el medio ambiente. [2].

Según (Palencia, 2014) manifiesta que el mantenimiento es la parte esencial que soporta la gestión integral y confiable de los activos físicos de la empresa a lo largo de su ciclo de vida; entiéndase por ciclo de vida las fases: Planeación, diseño, fabricación comisionamiento, operación, mantenimiento, modificación y descarte. [3].

En estos años de operación del nuevo terminal de productos limpios Cuenca, se ha determinado la necesidad de determinar los posibles fallos en algunos sistemas importantes, lo que ocasiona indisponibilidad del terminal, las posibles causas podrían ser: malos cálculos de diseño de los equipos, mala operación, alto grado de erosión y corrosión debido a factores ambientales.

Con la finalidad de contar con un plan de mantenimiento actualizado de acuerdo al contexto operacional se realiza el análisis mediante la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a los activos críticos del nuevo terminal de productos limpios Cuenca. La importancia estratégica de esta metodología es que impacta sobre tres factores que determinan el desempeño del activo como son: contexto operacional (¿Cómo será o es utilizado?), confiabilidad inherente (¿Cómo será o fue diseñado?) y el plan de mantenimiento (¿Cómo será o es mantenido?). [4].

Por esta razón al ser el RCM un proyecto de mejora y desarrollo que se ha enfocado en la mejora de la disponibilidad de la planta, pero visto a través de su rentabilidad y valoración como proyecto, se plantean las siguientes preguntas:

¿Cómo afectaría los flujos de efectivo de la empresa la implementación del RCM?

¿Siendo un proyecto para mantenimiento puede generar valor y rentabilidad para el negocio?

¿El proyecto RCM puede ser una opción para el desarrollo de todos los terminales de las petroleras?

¿Se debe implementar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el nuevo terminal de productos limpios

de Cuenca?; a lo cual se responde que se debe aplicar esta metodología en función de optimizar la gestión del activo; mediante el desarrollo de la propuesta de implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en los activos críticos del terminal, siguiendo los requerimientos de la norma SAE JA – 1011.

La norma aprobada por la SAE JA 1011 no representa un proceso RCM estándar. Su título es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)”. Ésta norma presenta criterios contra los cuales se puede comparar un proceso: Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede con confianza llamarlo un “proceso RCM”. Si los criterios no lo satisfacen, no debería llamarse “Proceso RCM”. Esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplen con la norma SAE RCM no sean válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos .

Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos en funcionamiento. Esto, debido a que los requerimientos de mantenimiento han cambiado dramáticamente en los últimos tiempos y la evaluación de políticas así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros, pero nuevas técnicas y nuevas opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado. El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas y lo hace de esta manera:

Integra 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.

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evita los dolores de cabeza y problemas que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa. Si el RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente, reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha hecho generalmente de un 40% a 70%. De otro lado, si RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengan que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y qué se debe hacer para conseguirlo. Además, le da confianza al trabajador y mejora su efectividad y su moral. Una revisión RCM de los requerimientos de mantenimiento para cada uno de los equipos existentes y que opera en las instalaciones, permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir qué repuestos se deben tener en el inventario. El RCM ha sido aplicado en una cantidad de empresas alrededor del mundo. No obstante, es reciente en la industria, lo que quiere decir que las compañías que lo están aplicando tienen una ventaja comparativa, debido a que el mantenimiento afecta la competitividad. A pesar de ser nuevo en la industria en general, el RCM ha venido siendo aplicado hace aproximadamente 30 años en la que es probablemente el área más exigente del mantenimiento, la aviación civil. [5] [6].

II. MÉTODO APLICADO

El presente proyecto es de tipo deductivo, de lo general a lo particular, con el cual se desarrolla un modelo de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el caso de estudio será el nuevo Terminal de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador, la fuente de información será principalmente secundaria como: históricos, experiencias e información obtenida del sistema máximo de mantenimiento.

Para lograr esto se realizó los siguientes pasos

- Se determinó los límites de cada sistema y se detalla la función principal de cada uno de los ellos.

- Se identificó la falla funcional de cada activo crítico y modos de fallo.
- Utilizando el diagrama de decisión RCM se determinó el tipo de tarea a realizar condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o rediseño.
- Se estableció las tareas para gestionar los fallos y responsable de cumplimiento.

III. APLICACIÓN DEL RCM

Para la obtención de datos del número de fallos funcionales, tipo de mantenimiento, responsable de ejecución y fecha que se realizó el mantenimiento de los activos del terminal Cuenca se tuvo en consideración el periodo de 1 año comprendido entre Septiembre del 2018 hasta Agosto del 2019 del programa máximo de mantenimiento del cual se puede obtener la siguiente tabla III:

TABLA III
FALLOS IMPORTANTES PERIODO SEPTIEMBRE 2018-
SEPTIEMBRE 2019

Orden de trabajo	Descripción fallo	Tipo	Estado	Supervisor	Fecha notificación
TS32495	T. CHAULLABA MBA CUENCA daño en rodamientos del motor eléctrico	MC	CERR	TSSU ELYC	13/09/15 12:01
TS234055	Revisión de tanque laminadores de flujo en patio de despacho t. cuenca	MC	CERR	TSSU PMEC	2/12/19 08:16
TS22754	T. CHAULLABA MBA CUENCA Fuga en sello mecánico	MC	CERR	TSSU PMEC	27/01/20 15:56

Fuente: Autor en base a datos del sistema máximo de mantenimiento

En base a la tabla anterior se determinó el número total de fallos funcionales por tipo de mantenimiento comprendido entre Septiembre del 2018 hasta Agosto del 2019.

TABLA IV
CANTIDAD TOTAL DE FALLOS IMPORTANTES PERIODO
SEPTIEMBRE 2018- SEPTIEMBRE 2019

Tipo de mantenimiento	Etiquetas	Cuenta de Orden de trabajo (número de fallos)
correctivo	MC	30
detectivo	MD	14
preventivo	MP	2368
predictivo	MPD	2

proyectos	PR	55
apoyo varios	VAR	14
	Total general	2483

Fuente: Autor en base a datos del sistema máximo de mantenimiento

Una vez identificado el número total de fallos funcionales en el periodo Septiembre 2018 - Septiembre 2019 se realiza una agrupación por sistema y se determina la función principal de cada uno, los cuales se indica en la tabla V y en las fotografías 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA V
CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS Y FUNCIÓN PRINCIPAL.

No	TAG	SISTEMA	FUNCIÓN PRINCIPAL (FP)
1	TQ 7230 - 7231 TQ 7240 - 7241 TQ 7250 - 7251 TQ 7260 - 7261	Sistema de Almacenamiento de combustibles	Almacenar combustibles
2	TCU-C-7170A TCU-C-7170B	Sistema Auxiliar de Aire comprimido	Crear el flujo de aire necesario para el funcionamiento de los instrumentos neumáticos
3	TCU-B-7340 - 7341 TCU-B-7342 - 7345 TCU-B-7346 - 7350 TCU-B-7351 - 7352 TCU-B-7355	Sistema de Bombeo	Bombear hacia las islas de carga el combustible almacenado en los tanques Caudal Max.: 400 GPM
4	TCU-EC-7340 - 7341 TCU-EC-7345 - 7350 TCU-EC-7351 - 7352	Sistema de Isla de carga	Despacho hacia autotanques
5	TCU-TQ-7225 - 7219 TCU-SP-7268 TCU-TQ-7265	Sistema tanques horizontales	Recuperar producto que se acumula de los diferentes drenajes de combustible

Fuente: Autor



Fig. 3. Sistema de Almacenamiento de combustibles



Fig. 4. Sistema Auxiliar de Aire comprimido



Fig. 5. Sistema de Bombeo



Fig. 6. Sistema de Isla de carga



Fig. 7. Sistema tanques horizontales

Una vez determinado la función principal de cada sistema se determina los diferentes subsistemas, la función principal y redundancia.

TABLA VI
CLASIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS.

SUBSISTEMA	EQUIPOS	FUNCIÓN PRINCIPAL	REDUNDANCIA A-Sin redundancia B-Una unidad en paralelo puede fallar sin afectar función C-Dos o más unidades en paralelo pueden fallar sin afectar función
1.1	Tanque de almacenamiento	Almacenar combustibles	A
1.2	Válvulas compuerta manuales	Detener o regular la circulación del paso del fluido de entrada o salida de los tanques de almacenamiento	A
1.3	Actuadores neumáticos	Proporcionar fuerza para abrir o cerrar, la válvula de entrada o salida de combustibles	A
1.4	Tuberías	Transporte de combustibles	A
1.5	Medidor de nivel por radar rousemont 5900S	Controlar de nivel de los combustibles	A
1.6	medidor de temperatura rousemont 2240S	Controlar la temperatura de los combustibles	A
1.7	Concentrador de señales rousemont 2410	Maneja la comunicación entre los dispositivos de campo y la sala de control	A
2.1	Motor	Accionar el compresor para uso de aire comprimido	B
2.2	Compresor	Aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles	B
2.3	Instrumentación	Controlar los compresores para aprovechar de mejor manera el uso energético	A
2.4	Depósito de aire comprimido	Almacenar aire de utilidades	A
2.5	Tuberías	Transporte de fluido aire	A
2.6	Válvulas	Detener o regular la circulación del paso del fluido de entrada o salida de los compresores	A
3.2	Motor	Accionar la bombas para despacho de combustibles	B
3.3	Bomba	Agregar energía al fluido para bombear combustible con un caudal de 400 GPM	B
3.4	Filtro (STR 01)	Filtrar contaminantes	B
3.5	Instrumentación	Controlar las distintas bombas para aprovechar de mejor manera el uso	B

		energético	
4.3	Medidor de flujo	Controlar el flujo de los combustibles	A
4.4	Sensor de temperatura	Controlar la temperatura de los combustibles	A
4.5	Válvula de set-stop	Controlar el flujo de un fluido	A
4.6	Termómetro bimetalico	Controlar la temperatura de los combustibles	A
4.7	Brazo de carga	Carga de combustible en auto tanques	A
4.8	Computador de Flujo	Controlar las cantidades de combustible que se despacha	A
4.9	Impresora	Imprimir en la guía la cantidad despachado de combustible	A
4.10	Sistema de puesta a tierra	Eliminar las cargas estáicas que se producen en los auto tanques Protección de los equipos de sobrecargas	A
4.1	Separador de placas inclinadas	Separar combustible y agua	A
4.2	Tanque sumidero	Almacenar combustibles de los drenajes cerrados	A
4.3	Válvulas compuerta manuales	Detener o regular la circulación del paso del fluido de entrada o salida de los tanques de almacenamiento	A
4.4	Motor	Accionar la bombas para recuperar combustibles	A
4.5	Bomba sumidero	Agregar energía al fluido para bombear combustible	A
4.6	Sensor de nivel	Controlar de nivel de los combustibles	A
4.7	Tuberías	Transporte de combustibles	A
4.6	Válvulas	Detener o regular la circulación del paso del fluido de entrada o salida	A

Fuente: autor

Una vez definidos las funciones se establecen las matrices de valoración de criterios de severidad, ocurrencia y valoración de criticidad como se indica en las siguientes tablas:

TABLA VII
CRITERIOS DE SEVERIDAD

CRITERIO DE SEVERIDAD					
CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD	SEGURIDAD	AMBIENTAL	ECONOMICA REPARACION (MIL USD)	PRODUCCION & CALIDAD	REPUTACIÓN

5	Fatalidad	Fuga Extensa	20 >	> 10% Prod. Diaria	Masivo impacto
4	Incapacidad parcial o Total	Fuga Mayor	10 > 20	7 - 10% Prod. Diaria	Importante impacto
3	Accidente con tiempo perdido	Fuga localizada	5 > 10	3 - 7% Prod. Diaria	Moderado Impacto
2	Tratamiento Médico	Fuga Menor	1 > 5	1 - 3% Prod. Diaria	Menor impacto
1	Primeros Auxilios	Fuga leve	> 1	< 1% Prod. Diaria	Ligero impacto

Fuente: autor

TABLA VIII
CRITERIOS DE OCURRENCIA

CRITERIO DE OCURRENCIA				
FRECUENCIA DE FALLA (MTBF)				
Entre 1 día y 1 semana	Entre 1 semana y 1 mes	Entre 1 mes y 6 meses	Entre 6 meses y 1 año.	> 1 año
MTBF < =168	168 < MTBF < =744	744 < MTBF < =4380	4380 < MTBF < =8760	>8760
5	4	3	2	1
25	24	22	21	19
22	20	19	17	16
18	17	15	14	12
15	13	12	10	9
11	10	8	7	5

Fuente: Autor

TABLA IX
VALORACIÓN DE CRITICIDAD

VALORACIÓN DE CRITICIDAD		
ESTATUS	JERARQUÍA	DEFINICIÓN
Rojo	Crítico	Nivel elevado de criticidad. La ocurrencia de fallos o anomalías puede tener consecuencias indeseadas, inmediatas y graves para la planta. Se requieren actividades sistemáticas de reducción del riesgo asociado a la ocurrencia o consecuencias de tales eventos de fallas.
Amarillo	Moderadamente Crítico	Nivel de criticidad moderado. Existencia de consecuencias de fallas (ocultas o evidentes) que de ocurrir pueden ocasionar daños importantes en una o varias categorías de severidad. Se requieren acciones sistemáticas para evitar la manifestación de los riesgos asociados.

Verde	Baja criticidad	La falla de estos componentes tienen un menor impacto, si bien pueden afectar a la planta en temas ambientales, de seguridad ocupacional o reparaciones o reputación, el nivel de criticidad es menor. Debe monitorearse el desempeño y aplicar mantenimiento de condiciones básicas y mejora continua.
--------------	------------------------	---

Fuente: autor

Con los criterios establecidos de seguridad, ambiente, económica, producción, calidad & reputación, se establecen los valores de severidad de cada activo. Para determinar los valores de ocurrencia se realiza el cálculo del tiempo medio entre fallos MTBF, para lo cual se dispone de los datos de horas totales de producción y números de fallos en un año, como se indica en las tablas X y XI.

TABLA X
TOTAL DE HORAS DE PRODUCCIÓN

HORAS DE PRODUCCION POR SISTEMAS					
Mes	Almacenamiento de combustibles	Bombeo	Isla de carga	Auxiliar de Aire comprimido	Tanques horizontales
sep-18	4032	231,57	231,57	156,00	645,00
oct-18	5376	364,23	364,23	252,00	860,00
nov-18	5376	327,78	243,40	217,00	860,00
dic-18	5376	376,73	199,22	138,00	860,00
ene-19	4032	209,85	209,85	142,00	645,00
feb-19	5376	271,26	262,54	326,00	860,00
mar-19	4032	226,47	226,47	267,00	645,00
abr-19	5376	280,02	280,02	89,00	860,00
may-19	5376	287,41	287,41	67,00	860,00
jun-19	5376	311,08	311,08	66,00	860,00
jul-19	5376	292,73	132,48	81,00	860,00
ago-19	5376	396,39	0,00	62,00	860,00

Fuente: Autor en base a datos del Sistema Máximo de mantenimiento

TABLA XI
NÚMERO DE FALLOS

SUBSISTEMA	EQUIPOS	Número de fallos
1.1	Tanque de almacenamiento	1
1.2	Válvulas compuerta manuales	1
1.3	Actuadores neumáticos	3
1.4	Tuberías	0

1.5	Medidor de nivel por radar rousemont 5900S	1
1.6	Medidor de temperatura rousemont 2240S	1
1.7	Concentrador de señales rousemont 2410	1
2.1	Motor	0
2.2	Compresor	5
2.3	Instrumentación	1
2.4	Depósito de aire comprimido	0
2.5	Tuberías	0
2.6	Válvulas	0
3.2	Motor	0
3.3	Bomba	4
3.4	Filtro (STR 01)	1
3.5	Instrumentación	1
3.6	Tuberías	0
3.7	Válvulas	0
4.1	Válvula de bloqueo	1
4.2	Filtro desaireador	2
4.3	Medidor de flujo	1
4.4	Sensor de temperatura	1
4.5	Válvula de set-stop	7
4.6	Termómetro bimetalico	1
4.7	Brazo de carga	6
4.8	Computador de flujo	1
4.9	Impresora	2
4.10	Sistema de puesta a tierra	12
5.1	Separador de placas inclinadas	0
5.2	Tanque sumidero	0
5.3	Válvulas compuerta manuales	0
5.4	Motor	0
5.5	Bomba sumidero	0
5.6	Sensor de nivel	0
5.7	Tuberías	0
5.8	Válvulas	0

Fuente: Autor en base a datos del Sistema Máximo de mantenimiento



Fig. 8. Tanque de almacenamiento



Fig. 9. Compresor de aire

Estos criterios establecidos permitieron realizar la matriz de criticidad de los cuales se seleccionó los activos críticos del Nuevo Terminal de Productos Limpios Cuenca mismos que se indican en la tabla XII y en la fotografías 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

TABLA XII
ACTIVOS CRÍTICOS

SUBSISTE MA	EQUIPOS	Seguridad	Ambiente	Económica Producción y calidad	Reputación	Severidad	Ocurrencia	Criticidad
1.1	Tanque de almacenamiento	5	5	5	5	5	2	21
2.2	Compresor	5	1	2	5	0	5	4
3.3	Bomba	3	3	2	5	2	5	5
4.5	Válvula de set-stop	3	3	4	5	5	5	5
4.7	Brazo de carga	4	4	3	5	4	5	5
4.10	Sistema de puesta a tierra	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Autor



Fig. 10. Bomba



Fig. 11. Válvula de set-stop



Fig. 12. Brazo de carga



Fig. 13. Sistema de puesta a tierra

IV. PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez determinado los activos críticos, el siguiente paso fue determinar cómo puede fallar cada activo esto nos permitió establecer la falla funcional (FF) y los distintos modos de fallo (MF). Los cuales se indica en las tablas XIII.

Con ayuda del diagrama de Decisión para RCM, “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Jhon Moubray”, se determina el tipo de tarea a realizar, se menciona la tarea de mantenimiento, las frecuencias de intervención y el responsable de la ejecución. Los cuales se indica en la tabla XIV.

TABLA XIII
INFORMACIÓN DE FALLOS DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO [7], [8], [9]

INFORMACION DE FALLOS							
SUBSISTEMAS	EQUIPOS	FUNCIÓN PRINCIPAL (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)	MODO DE FALLA (MF)		
1.1	Tanque de almacenamiento	1	Almacenar combustibles: premezcla, diésel Premium, gasolina Súper e interface	A	Deterioro de la superficie	1	Corrosión de la superficie, fondo y techo
						2	Mala aplicación del revestimiento
						3	Inadecuada protección catódica
						4	Falla cordón de soldadura
						5	Rotura de las planchas
						6	Asentamiento de las patas del techo a la base
				B	No permite ingreso o salida de combustible	1	Atascamiento de la válvula ingreso y salida de combustibles
						2	Desgaste de empaques en las bridas de unión.
						3	Taponamiento en el sumidero
						4	Atascamiento de la válvulas de sumidero

Fuente: Autor

TABLA XIV
HOJA DE DECISIÓN DEL RCM DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO [7], [8], [9]

HOJA DE DECISIÓN DEL RCM															
			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H 1	H 2	H 3	Acción "a falta de"			Sistema: Almacenamiento de combustibles		
							S1	S2	S3				Elemento: Tanque de almacenamiento		
							O 1	O 2	O 3				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
F	F F	M F	H	S	E	O	N1	N2	N3	H 4	H 5	S 4			
1	A	1	no	si									Tarea de condición: Realizar mediciones de espesores de plancha	2 años	supervisor integridad mecánica
1	A	2	no	si									Tarea de condición: Realizar mediciones de espesor de recubrimiento	2 años	supervisor integridad mecánica
1	A	3	no	si									Tarea de condición: Realizar ensayos no destructivos para verificar el sistema de protección catódica	2 años	supervisor integridad mecánica
1	A	4	si	no	si		si						Tarea de condición: Realizar ensayos no destructivos para detectar el defecto y de ser el caso reparar la soldadura	2 años	supervisor integridad mecánica
1	A	5	si	no	si		si						Tarea de condición: Realizar ensayos no destructivos para detectar defectos en planchas	2 años	supervisor integridad mecánica
1	A	6	si	no	no	si	no	no	si				Tarea de sustitución cíclica: Reparar soportes de techo	2 años	Técnico líder mecánico
1	B	1	si	no	no	si	no	si					Tarea reacondicionamiento cíclica: Verificar funcionamiento de actuadores y de ser el caso reparar	3 meses	Técnico líder mecánico
1	B	2	si	no	si		no	si					Tarea reacondicionamiento cíclica: Cambiar el empaque	15 años	Técnico líder mecánico
1	B	3	si	no	no	si	no	si					Tarea reacondicionamiento cíclica: Limpiar la salida hacia el sumidero	3 años	Técnico líder mecánico
1	B	4	si	no	no	si	no	si					Tarea reacondicionamiento cíclica: Desarmar la válvula y colocar grasa en todos los componentes	3 años	Técnico líder mecánico

Fuente: Autor

Siguiendo el mismo razonamiento anterior descrito en las tablas, se aplicó para el resto de los activos críticos, en el cual se determinó la falla funcional, modo de

fallo y se estableció las tareas propuestas, las cuales se muestran en las tablas XV, XVI, XVII, XVIII, XIX.

TABLA XV
INFORMACIÓN DE FALLOS Y TAREA PROPUESTA DE COMPRESOR [10]

COMPRESOR				
FUNCIÓN PRINCIPAL		MODO DE FALLA		TAREA PROPUESTA
A	Deterioro de la superficie	1	Desconexión principal no arranca	Verificar y reiniciar
		2	Fusibles quemados en la caja de control	Verificar el voltaje y los fusibles. Reemplace los fusibles.
B	Arranca pero poco tiempo después se detiene	1	Alta temperatura de descarga	Limpiar el radiador con aire a presión
		2	Presión de inyección de aceite baja	Verificar estado del filtro de aceite DP.
		3	Fusible quemado en la caja de control	Reemplazar los fusibles (investigar si los fusibles continúan fundiéndose).
		4	Unidad de frecuencia variable sensor de sobrecarga disparado	Reiniciar e investigar la causa de la sobrecarga
C	No carga ni descarga	1	Controlador mal ajustado	Ajustar el controlador.
		2	Regulador de presión de alimentación no ajustado	Inspeccione, ajuste y reemplace el regulador de presión
		3	Avería de la válvula solenoide de alimentación de 3 vías	Repare, limpie o reemplace la válvula.
		4	Válvula de entrada atascada	Inspeccionar, reparar o reemplazar la válvula.
		5	Mal funcionamiento de la válvula de purga	Reparar, limpiar o reemplace la válvula
D	Comienza muy despacio	1	El tiempo establecido de aceleración en VFD es demasiado largo	Comunicar con el distribuidor de Gardner Denver
		2	Válvula de retención presenta goteo	Repare o reemplace.
E	Baja entrega de presión		Control mal ajustado	Ajustar el control.
			Filtro de aire restringido	Limpiar o reemplazar el elemento filtrante
			La válvula de entrada no está completamente abierta	Inspeccione, ajuste o reemplace la válvula solenoide de alimentación y / o el regulador de presión.
			Válvula de presión mínima atascada cerrada	Inspeccione, repare o reemplace la válvula.
			Fuga de la válvula de purga	Inspeccione o reemplace la válvula solenoide. Asegúrese de que la temperatura ambiente local no superó 113 ° F. límite.
F	Excesivo consumo de aceite	1	Mal funcionamiento de la separación de aceite	Realizar limpieza del separador de aceite
		2	Fugas de aceite en accesorios y juntas	Ajustar accesorios y juntas
		3	Fugas de aceite en el sello del eje	Inspeccione o reemplace el sello del eje

TABLA XVI
INFORMACIÓN DE FALLOS Y TAREA PROPUESTA DE BOMBA [11]

BOMBA				
FUNCIÓN PRINCIPAL		MODO DE FALLA		TAREA PROPUESTA
A	No desplaza combustible hacia la isla de carga	1	Acoplamiento cortado	Chequear vibraciones Chequear lainas para acople
		2	Eje cortado	Chequear vibraciones Chequear temperatura Chequear rutas de lubricación
		3	Motor eléctrico quemado	Reemplazar elementos quemados
		4	Rodamientos fundidos	Reemplazar rodamientos
		5	Atasco del impulsor	Repare o reemplace. Inspeccione, ajuste o reemplace el regulador

B	Caudal menor del requerido	1	Desgaste del impulsor	Corregir las desviaciones en la superficie del anillo de desgaste del impulsor
		2	Obstrucción del impulsor	Retrolavar la bomba para limpiar el impulsor
		3	Desgaste de la voluta	Realizar una limpieza química y mecánica de la superficie, aplicar agua caliente para descontaminar el metal y aplicar un recubrimiento cerámico
		4	La separación entre el impulsor y la carcasa de la bomba es excesiva.	Ajuste la separación del impulsor.
		5	La presión de succión no es suficiente.	Asegúrese de que la válvula de cierre de la línea de succión esté completamente abierta y de que la línea no esté obstruida.
		6	El prensaestopas tiene una fuga	Reemplace o vuelva a ajustar el sello mecánico.
		7	Juego excesivo de anillos de desgaste	Reemplazar los anillos de desgaste
		8	Obstrucción del tubo de descarga	Limpiar el tubo de descarga
		9	Fuga de aceite	Ajustar los componentes
C	No permite contener el combustible en interior de la voluta	1	Ruptura de voluta	Reemplazar voluta
		2	Ruptura de empaquetadura del sello mecánico	Reemplazar el sello mecánico
		3	Ruptura de empaquetadura de voluta	Reemplace la empaquetadura
		4	Ruptura de caras de sellado en el sello mecánico	Reemplace las caras de sellado del sello mecánico
D	No responde a las órdenes de trabajo	1	Falla en los rodamientos	Reemplace los rodamientos
		2	Mal estado de la bancada	Nivelar y alinear la bancada
E	La bomba se enciende y a continuación para de bombear.	1	La bomba no está cebada.	Cebear la bomba y compruebe que la línea de succión y la bomba estén llenas de líquido.
		2	La línea de succión tiene bolsas de aire o vapor.	Colocar la tubería de modo de eliminar las bolsas de aire, comprobar la pendiente de tubería de succión
		3	La línea de succión tiene una fuga	Repare la fuga.

TABLA XVII
INFORMACIÓN DE FALLOS Y TAREA PROPUESTA DE VÁLVULA SET-STOP [12]

BOMBA				
FUNCIÓN PRINCIPAL		MODO DE FALLA		TAREA PROPUESTA
A	La válvula no se abre. (Sin registros de presión en el lado de entrada de la válvula.)	1	La válvula de cierre aguas arriba está cerrada.	Abrir la válvula de cierre.
		2	Obstrucción en válvula de cierre aguas arriba.	Retirar la obstrucción.
		3	La bomba no funciona	Encender la bomba.
B	La válvula no se abre. (La presión se registra en lado de entrada de la válvula.)	1	La válvula de cierre aguas abajo está cerrada.	Abrir la válvula de cierre.
		2	Presión diferencial a través de la válvula es demasiado baja (menos de 5 psi).	Verificar que la fuente de presión tenga suficiente presión.
		3	Las válvulas de aguja no están ajustadas correctamente.	La válvula de control de velocidad de apertura debe estar abierta. Ajuste la válvula de aguja de sensibilidad (podría estar demasiado abierta).
		4	Obstrucción en el diafragma principal o piloto.	Cierre las válvulas de aguja de velocidad de cierre Lentamente rompa una separación entre el control de velocidad de cierre y la tapa de la válvula en el bucle de la tapa. Si la válvula se abre, el diafragma no está roto. Si se desarrolla un flujo continuo a través de los tubos, el diafragma está roto. Cierre la válvula de compuerta aguas arriba, retire la tapa de la válvula principal y reemplace el diafragma.

		5	No funciona los interruptores de contador de parada	Verifique el cableado y la fuente de alimentación. Revise los interruptores del contador de parada establecidos para el funcionamiento y ajuste eléctricos.
C	Derivaciones de la válvula principal arranque por flujo bajo o apagado por flujo bajo.	1	El interruptor del vástago no funciona correctamente.	Verifique el correcto funcionamiento del interruptor y ajuste del interruptor de vástago.
		2	Temporizador de inicio de flujo bajo ajustado temporizador cero.	Ajuste el tiempo de retardo del temporizador.
D	Funciones de la válvula principal erráticamente y causa choques severos.	1	Aire atrapado en el circuito de control de la válvula.	Ventilar el aire atrapado desde la tapa de la válvula y / o el punto más alto del circuito de control
E	La válvula principal se abre demasiado rápido o demasiado lento	1	Válvula de aguja de velocidad de apertura desajustada.	Gire la popa de ajuste en la válvula de aguja en el sentido de las agujas del reloj para disminuir la velocidad de apertura.
F	La válvula no pasa a la 1ª etapa de desaceleración antes del apagado.	1	La manija del contador de parada no funciona correctamente.	Configurar contador de paradas
		2	Interruptor de parada ajustado del 1er recorrido A desajustado o defectuoso.	Configurar ajuste del contador de paradas
		3	Solenoides NC de 1er viaje defectuoso.	Verifique el funcionamiento eléctrico. Reemplace la bobina si es necesario.
G	Flujo de producto se arruga demasiado rápido durante la parada de emergencia.	1	El control de velocidad de cierre está demasiado abierto.	Girar el vástago de ajuste en el sentido de las agujas del reloj para disminuir la tasa de respuesta.
H	El alto caudal deseado no se puede obtener mediante ajuste del piloto de caudal de 40A.	1	El caudal deseado excede la capacidad del sistema	Consulte a la fábrica o al representante, de ser necesario cambiar el tamaño del orificio
I	La válvula no ingresa a la 2da etapa del apagado final.	1	El contador de parada no funciona correctamente.	Configurar contador de paradas.
		2	El solenoide NC no se abre	Verifique el temporizador. El solenoide debe abrirse. Puede ser necesario reemplazar el solenoide.
		3	Interruptor de parada ajustado de 2º viaje B desajustado o defectuoso.	Configurar contador de paradas
J	La válvula no se cierra en cero.	1	Caudal bajo demasiado rápido o demasiado lento. Interruptor de potencia desajustado.	Ajustar la leva del interruptor del vástago.
		2	Ajuste la leva de disparo del contador de parada.	Configurar contador de paradas.

TABLA XVIII
INFORMACIÓN DE FALLOS Y TAREA BRAZO DE CARGA [13]

BRAZO DE CARGA				
FUNCIÓN PRINCIPAL		MODO DE FALLA		TAREA PROPUESTA
A	Falla junta giratoria	1	Junta giratoria se encuentra trabada	Limpie la junta macho y todo el alojamiento interno de la junta hembra retirando la grasa usada y colocando grasa nueva. Cambiar las esferas en el canal, cuente todas antes de insertar una por una, pues no debe faltar ninguna esfera para no causar el riesgo de amontonamiento y trabado de la junta giratoria.
		2	Perdida de combustible por la junta giratoria	Reemplazar el O`ring en la junta hembra, antes de insertar el anillo O`ring en la junta hembra, estírelo para que el mismo se acople en su asiento de encaje perfectamente. Válvula de corte no funciona correctamente. No mantiene la posición correcta de descanso
B	Válvula de corte no funciona correctamente	1	Desgaste del sello en el pistón	Cambiar el sello de la válvula.
		2	Corte de flujo más lento	Girar el tornillo de la aguja en el sentido contrario al del reloj.
		3	Corte de flujo más rápido	Girar el tornillo de la aguja en el sentido del reloj.
		4	Válvula rompe vacío, presenta fugas de combustibles	Desenrosque la válvula, cambie la cinta sella rosca y enrósquela nuevamente en la válvula.

		5	Palanca de accionamiento de válvula no funciona	Fije una punta de la barra en la palanca de accionamiento de la válvula y la otra punta de la barra en la palanca de control remoto, con tornillo y tuerca
C	No mantiene la posición correcta de descanso	1	Torque descalabrado	Para bajar el brazo de carga o disminuir su acción ascendente, gire la tuerca principal de regulado en el sentido contrario al del reloj.
		2	Incorrecta posición de descanso del brazo	Para una torsión mayor, gire el sextavado del plato regulador en el sentido del reloj, menor torsión, gire el sextavado del plato regulador en el sentido contrario al del reloj hasta la posición deseada

TABLA XIX
INFORMACIÓN DE FALLOS Y TAREA DE SISTEMA PUESTA A TIERRA

SISTEMA PUESTA A TIERRA				
FUNCIÓN PRINCIPAL		MODO DE FALLA		TAREA PROPUESTA
A	Falla caja CIVACON del Sistema de Puesta	1	Falla panel de control	Limpieza de panel de control.
		2	Falla bornes del panel de control	Ajuste de bornes en panel de control.
		3	Falla energía de alimentación	Verificación de tensión de alimentación.
B	Falla Pinza de Puesta a Tierra	1	Sistema puesta a tierra se prende y apaga	Limpieza de pinza y cable.
		2	Pinza y cable desgastados	Inspección visual del estado de los componentes. (Pinza y cable)
		3	Cables sueltos no detecta sistema puesta a tierra	Ajuste de bornes en pinza

V. CONCLUSIONES

- Se estableció un modelo de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de los activos críticos del nuevo Terminal de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador, el cual permite determinar muy detallado el fallo funcional, modo de fallo y el mantenimiento más apropiado que se debe realizar a cada uno de los activos críticos.
- Se desarrolló la metodología para Mantenimiento Centrado en confiabilidad que permite establecer un modelo que puede ser replicado en todos los terminales de la industria petrolera.
- Mediante la aplicación de esta metodología RCM, nos permite tener un mayor conocimiento del funcionamiento de la planta, además permite determinar cuáles son los activos que se deben tener mayor cuidado, las posibles averías y causa que la producen.
- La implementación de la matriz de hoja de decisión RCM que se realizó en el presente estudio permite facilitar la toma de decisiones y predecir los fallos que pudieran ocurrir con los activos de la empresa.
- Con la implementación del RCM los flujos de efectivo de la empresa no se verían afectados en un valor significativo ya que las tareas propuestas se puede realizar con el mismo personal que se dispone del área de mantenimiento simplemente se va optimizar de una mejor manera.
- La implementación de este modelo de gestión RCM permitirá tener una planta más segura, desde el punto de vista de producción y mantenimiento, ahorro en los diferentes procesos que se realicen,
- debido a que se establecen como prioridades los factores de: seguridad, ambiente, económico (costos de reparación), producción, reputación.
- La implementación de este modelo de gestión RCM propuesto, no permite realizar proyecciones en cuanto a confiabilidad, pero es una herramienta que facilita la toma de decisiones en base a los resultados obtenidos de su comportamiento, permitiendo así la mejora de la confiabilidad y disponibilidad del terminal de productos limpios Cuenca de la EP Petroecuador.
- Mediante la implementación del RCM facilita el desarrollo de la gestión de activos de la empresa y permite el desarrollo de cualquier terminal de la industria petrolera, el presente documento permitirá tener una muestra de cómo se puede implementar el RCM de los activos críticos siguiendo los requerimientos de la norma SAE JA – 1011

VI. RECOMENDACIONES

- Con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los activos de la empresa se recomienda implementar el mantenimiento basado en confiabilidad RCM en el nuevo terminal de productos limpios Cuenca.
- Se recomienda realizar un estudio de gestión de los repuestos críticos.
- Se recomienda capacitar a los operadores sobre el mantenimiento basado en confiabilidad para que puedan identificar las tareas proactivas que se puede realizar antes que falle los equipos.

VII. REFERENCIAS

- [1] Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador.
 - [2] Hung, Alberto J. alberto.hung@laedc.com.ve (2013), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC, Revista de Ingeniería Energética. Vol. 30 Issue 2.
 - [3] Palencia O. G. (2014), Modulo 8 Fundamentos de Gestión de Activos
 - [4] Sexto Cabrera L. F. (2015), Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Apuntes y reflexiones (2015).
 - [5] Moubray John. (2004), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II), Edición Aladón en español.
 - [6] Pérez C. El camino hacia el RCM - mantenimiento centrado en confiabilidad.
 - [7] "API STANDARD 653: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction", American Petroleum Institute, no. 4, 2009. Available:
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.653.2003.pdf>. [Accessed 22 September 2020].
 - [8] "API STANDARD 570: Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems", American Petroleum Institute, no. 3, 2009.
 - [9] "API STANDARD 598: Valve Inspection and Testing:", no. 9, 2009.
 - [10] VARIABLE SPEED, SINGLE STAGE STATIONARY BASE-MOUNTED COMPRESSOR, 20th ed. GARDNER DENVER, 2014.
 - [11] "Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento: Model 3700, API Type OH2 / ISO 13709", ENGINEERED FOR LIFA, no. 1, 2, 2020. Available:
https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/3700_IOM_SpanishLatinAmerica.pdf?ext=.pdf. [Accessed 22 September 2020].
 - [12] "Stop Model 296: Installation/Operation Bulletin MN03005", FMC Technologies Measurement Solutions.
 - [13] "MANUAL DE INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE BRAZO DE CARGA POR ARRIBA", REDLANDS. Available:
https://www.redlands.com.br/spanish/manuais/pdf/Braco_de_Carragamento_por_Cima.pdf. [Accessed 22 September 2020].
- Agradezco a Dios por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida, al Msc. Ing Luis Felipe Sexto por la dirección, a la empresa EP Petroecuador por su aporte para la realización de este estudio. A mi esposa e hija por ser mi apoyo, mi luz y mi camino, a mi madre y padre mi ejemplo a seguir, a mis hermanos y hermana por su apoyo incondicional.