



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRIA EN GESTION DE MANTENIMIENTO
VERSIÓN 3**

Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM de equipos críticos en la línea de envasado de GLP de la empresa AustroGas

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

Autor: Ing. Felipe Andrés Saquicela Arias.

Director: Ing. Luis Felipe Sexto Cabrera

Cuenca – Ecuador

2020

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM DE EQUIPOS CRÍTICOS EN LA LÍNEA DE ENVASADO DE GLP DE LA EMPRESA AUSTROGAS

Felipe Andrés Saquicela Arias

Departamento de Postgrados, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador

Email: felipesaquicela@gmail.com

DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN FOCUSED ON RCM RELIABILITY OF CRITICAL EQUIPMENT IN THE LPG PACKAGING LINE AT AUSTROGAS COMPANY

Abstract.-

The design of a maintenance plan for the critical equipment in the LPG (Liquefied Petroleum Gas) packaging line of AustroGas [1] uses the RCM (Reliability Centered Maintenance) as a technique, which is based on a decision-making tool that takes into account the maintenance activities of packaging lines (Kosan Crisplant and Siraga). The data were collected between August 2018 until May 2019. Types of failures and conditions were determined as if the equipment interrupted the packaging process accordingly of maintenance, along with costs and repair time, spare parts, labor and technical personnel.

The maintenance plan adjusts to the information feedback parameters and the needs of the company. The maintenance plan must be disseminated to operators, planners, production and maintenance departments; this will allow to start handling reliability and maintainability indexes.




Translated by
Ing. Paúl Arpi

Keywords — AustroGas, maintenance, RCM (Reliability Centered Maintenance) ,, maintenance management, reliability, maintainability, LPG (Liquefied Petroleum Gas), Decision making, packaging line.

Resumen

El diseño de un plan de mantenimiento para los equipos críticos en la línea de envasado de GLP (Gas Licuado de Petróleo) de la empresa AustroGas [1] utiliza como técnica el RCM (Reliability Centered Maintenance), se fundamenta como herramienta para toma de decisión basado en actividades de mantenimiento en las líneas de envasado (Kosan Crisplant y Siraga), los datos fueron levantados entre agosto del 2018 hasta mayo del 2019, se determinaron tipos de fallos y condiciones como si el equipo interrumpió el proceso de envasado a consecuencia del mantenimiento; costos y tiempo de reparación; repuestos, mano de obra y personal técnico.

El plan de mantenimiento se ajusta a los parámetros de retroalimentación de información y se ajusta a las necesidades de la empresa. El plan de mantenimiento debe ser difundido a

operadores, planificadores y direcciones de producción y mantenimiento, esto permitirá a futuro empezar a manejar índices de confiabilidad y mantenibilidad.

Índice de Términos:

AustroGas, mantenimiento, RCM (Reliability Centered Maintenance),, gestión de mantenimiento, confiabilidad, mantenibilidad, GLP (Gas Licuado de Petróleo), Toma de decisión, línea de envasado.

I. INTRODUCCIÓN

El flujo del proceso de envasado de cilindros en cualquiera de las dos máquinas envasadoras se presenta en figura 1:



Figura 1. Flujograma de envasado de cilindros de GLP de la empresa AustroGas.

Los equipos críticos en la línea de envasado de GLP son de marcas: Kosan Crisplant y Siraga, siendo estas marcas muy conocidas en el servicio de envasado de GLP en Latinoamérica.

Actualmente la empresa AustroGas cuenta con un gran mercado local y regional. Posee su propio modelo de negocio, donde para presentarse de manera competitiva tanto en el envasado y comercialización de GLP han debido modernizar equipos, sistemas y procedimientos en el área de llenado, esto bajo la normativa de los entes reguladores estatales como son la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico Ecuador. ARCH [2].

Actualmente AustroGas envasa alrededor de 7 000 cilindros por día, en una jornada de trabajo de 8 horas, teniendo una producción promedio entre 850 a 900 cilindros por hora (fuente: AustroGas).

El envasado lo realizan en cualquiera de sus dos carruseles de llenado de 24 balanzas de la marca Kosan Crisplant (año 2003) y 24 balanzas de la marca Siraga (año 2017), además de 17 balanzas estacionarias (12 balanzas estacionarias de marca

Siraga y 5 balanzas estacionarias de marca Troya), colocadas como redundancia al momento que falle alguno de los sistemas.

Según Tabla 1. El GLP puede ser de tipo doméstico, residencial, industrial y agroindustrial. Las válvulas utilizadas son de tipo Kosan de 22 milímetros en presentaciones de 3, 5, 10,15 y 45kg. con GLP tipo industrial y 15kg. con GLP tipo doméstico. Este producto se comercializa en las provincias del Azuay, Cañar, Galápagos, Morona Santiago (Taisha) y Guayas (Puná), bajo la marca AustroGas. (Fuente AustroGas).

La empresa envasa cilindros de color blanco hueso de marca AustroGas; color azul marino de marca Agipgas; y color naranja de marca Congas, esto por convenios realizados por la empresa. Los cilindros de color amarillo de la marca Duragas se mantiene como stock de reposición, al llegar a cierto número de cilindros, se envía a la bodega de dicha empresa.

AustroGas, Usos de los cilindros envasados			
UTILIZACION	PRESENTACION	TIPO	PRODUCTO
3 kg	CILINDROS	DOMESTICO	GLP
5 kg			
10 kg			
15 kg			
Hospitales, instituciones públicas	GRANEL DOMESTICO		
Edificios, urbanizaciones, construcciones de tipo privado.	GRANEL RESIDENCIAL	RESIDENCIAL	
15 kg (montacargas)	CILINDROS	INDUSTRIAL	
45 kg			
Hoteles, restaurantes, etc	GRANEL		
Agricultura	GRANEL	AGROINDUSTRIAL	

Tabla 1. Tipos y usos de los cilindros de envasado.

Al momento de envasar se utiliza un solo carrusel, el segundo se considera como redundancia, además de las balanzas estacionarias, también consideradas como segunda redundancia; esto debido a la naturaleza del producto, importancia, sensibilidad y que no puede ocurrir un desabastecimiento del producto en los usuarios.

La problemática en los carruseles de envasado - proceso identificado como crítico - en donde se ha identificado reprocesos; el llenado de cilindros es un tema importante, debido a que la confiabilidad de las operaciones influye directamente en la capacidad final de despacho; con esto se evitarán reprocesos en envasado, beneficiando a la empresa, no solo en la parte financiera, sino en temas relacionados al cuidado y salud ocupacional, laboral, entorno ambiental y económico. Para esto se levantaron datos informativos acerca de los daños de los sistemas de envasado que provocan este tipo de reprocesos; se partió de la información de trabajos anteriores, La toma de datos se realizó del sistema informático (Sistema RP) [3] desarrollado por la misma empresa, el cual lo manejan desde aproximadamente 3 años, donde reposan las actividades que se han realizado en cada uno de los sistemas productivos de la empresa AustroGas.

Las muestras analizadas se derivan de los fallos ocurridos con consecuencia de para del sistema, es decir que hayan incurrido en tiempos de reparación, de esta manera, las muestras se redujeron a 13 en el año 2018 y 4 en el año 2019.

Una de las pretensiones del estudio intrínsecamente es mejorar la competitividad productiva de la empresa, en esa medida es necesario aumentar la Confiabilidad de los equipos mediante el análisis de los distintos tipos de fallas determinados en el estudio RCM; es decir disminuir la cantidad de fallos que generan interrupciones no programadas, de manera de poder entregar la disponibilidad requerida por operaciones, asegurando los niveles de Calidad, Seguridad y Medioambiente.

Mientras que la función del mantenimiento es asegurar que todo Activo Físico continúe desempeñando las funciones deseadas [4]; la confiabilidad podemos describir como una probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas [4].

Para lograr el objetivo de Mantenimiento es necesario desarrollar una Gestión Eficiente y Efectiva. [5].

El proceso RCM Según Moubray [4], define al RCM “como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

Lo que se obtuvo en este estudio es un diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM de equipos críticos en la línea de envasado de GLP de la empresa AustroGas, mediante el desarrollo de un marco teórico del contexto operativo de mantenimiento a ser estudiado; estableciendo las generalidades, los objetivos y el alcance del plan de mantenimiento desarrollado y presentando un modelo de diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM de equipos críticos en la línea de envasado de GLP de la empresa AustroGas.

II. RCM Y MÉTODOS.

El estudio de RCM de AustroGas se fundamentó en cuatro etapas:

1. Evaluación inicial de componentes, estado y sus funciones.
2. Identificación de componentes críticos.
3. Aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo y proactivo.
4. Revisión en sitio del estado funcional de los elementos, mediante revisiones permanentes. (este punto lo realizará a futuro la empresa cuando se decida la implementación del RCM).

Según el autor Mora Gutiérrez [6] cita que “El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que nos ayuda a identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias de los activos críticos en su contexto operacional”, es decir desarrolla

programas organizados de mantenimiento que se basan en la confiabilidad de los equipos en función de su diseño y su construcción, asegura que la confiabilidad inherente del equipo se mantenga.

Así mismo podemos enumerar algunas ventajas que se obtendría implícitamente si el RCM es aplicado correctamente:

-) Mayor seguridad e integridad ambiental.
-) Optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y mantenibilidad de los activos. [6]
-) Favorable relación costo-efectividad del mantenimiento.
-) Incentiva el trabajo en equipo, y mejora la motivación del personal.
-) Se alarga la vida útil de los activos. [7]
-) Facilita el proceso de normalización a través del establecimiento de procedimientos de trabajo y registros [6]

Las estrategias y tecnologías de mantenimiento ofrecen recursos que contribuyen a lograr determinados niveles de confiabilidad en los activos, por lo tanto, la Confiabilidad es la probabilidad de que un activo desempeñe su función, libre de fallos y bajo determinadas condiciones, durante un periodo de tiempo determinado desde el punto de vista de mantenimiento la confiabilidad es una medida de la seguridad y del riesgo [8], en figura 2 se muestra la secuencia básica de RCM.

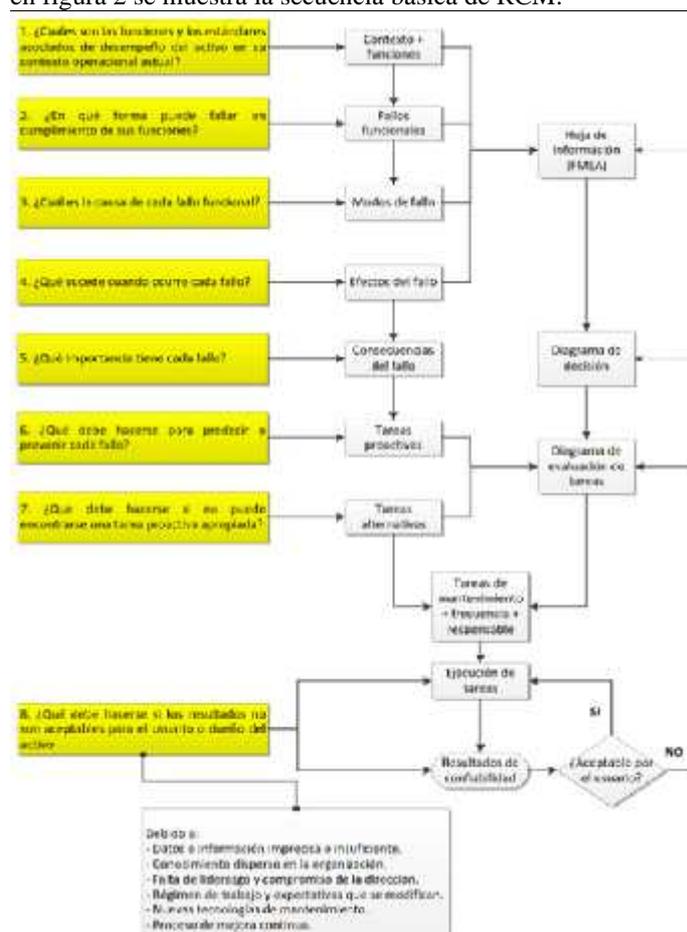


Figura 2. Secuencia básica de un proceso RCM

Fuente: Sexto Cabrera, Mantenimiento centrado en confiabilidad, apuntes y reflexiones, 2015, página 6

III. APLICACION DEL RCM

Los fallos funcionales analizamos desde el 04 de agosto del año 2018 hasta el 29 de mayo del 2019.

En el año 2018 se produjeron 207 fallos, en el año 2019 fueron 256 fallos en todos los distintos sistemas de producción, es decir, la parte de almacenamiento, eléctrico, mecánico, neumático, oficinas técnicas como administrativas, etc.

Para el análisis del año 2018, solamente en los carruseles de envasado conocidos como Sistema 1 el Kosan Crisplant y como Sistema 2 el de marca Siraga, se produjeron 160 fallos, mientras que en el año 2019 se produjeron 158 fallos en condiciones en que las consecuencias han incurrido en que la máquina se detenga ó siga funcionando para su mantenimiento correctivo.

Los eventos de falla donde los carruseles de envasado han detenido su producción en el año 2018 (Tabla 2) año han sido de 13 eventos; mientras que del año 2019 (Tabla 3) han sido de 14 eventos; los cuales son motivo de este análisis para la criticidad.

Numeral	Fecha	Máquina	Daño/Fallo
1	2018 08 04	Sistema Transportador #1 Siraga	Reclusa de base de pasante de pasante a la salida de carrusel
2	2018 08 20	Carrusel Siraga/ Brazo de entrada	Rotura de perno de la base de los sensores
3	2018 08 27	Carrusel Siraga/ entrada cilindros	Sensado de entrada con fallo de funcionamiento
4	2018 09 17	Carrusel Siraga/ entrada cilindros	Rotura de pernos de una platina
5	2018 10 01	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	mucho cilindros envasados
6	2018 10 04	Carrusel Kosan/ Sist. Transportador #2	Rotura de bobina
7	2018 11 08	Carrusel Siraga/ entrada cilindros	No entran cilindros
8	2018 11 16	Carrusel Siraga/ Brazo de parada	Rotura de sensor de línea
9	2018 11 21	Carrusel Kosan/ Entrada cilindros	Mano de entrada, en mal estado
10	2018 11 21	Carrusel Kosan/ Fallidos Reumáticos	UOC solo en Control Apagado
11	2018 12 01	Carrusel Kosan/ Sist. Transportador #2	Cholera en el y bobina
12	2018 12 11	Carrusel Kosan/ Entrada cilindros	Fallo de sensor en la mano de la mano de mano
13	2018 12 27	Carrusel Kosan/ Entrada cilindros	Fallo de bobina en el sistema

Tabla 2. Daños importantes, donde se ha detenido la producción año 2018. Fuente: Sistema informático ERP Austrogas.

Numeral	Fecha	Máquina	Daño/Fallo
1	2019 01 03	Carrusel Kosan/ Carpintero/ Brazo Salida	ojos de plasma en mal estado
2	2019 01 12	Carrusel Kosan/ Brazo de control	Se vino que se paró en el sistema
3	2019 01 16	Carrusel Kosan/ Brazo de entrada	Cable en el brazo mal estado
4	2019 02 04	Carrusel Kosan/ Sist. Transportador #2	Rotura de bobina de bobina
5	2019 02 16	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	No se avisa
6	2019 03 09	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	Polvo en el brazo mal estado
7	2019 03 07	Carrusel Kosan/ entrada de cilindros	Balancas no cruzan los cilindros
8	2019 03 29	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	Rotura de cilindros en el brazo mal estado
9	2019 04 11	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	Polvo en el brazo mal estado
10	2019 04 18	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	Rotura de bobina en el brazo mal estado
11	2019 04 22	Carrusel Kosan/ Sist. Transportador #2	Rotura de bobina de bobina de bobina
12	2019 04 28	Carrusel Kosan/ Brazo de salida	Se vino que se paró en el sistema
13	2019 05 08	Carrusel Kosan/ Sist. Transportador #2	Cable en el sistema

Tabla 3. Daños importantes, donde se ha detenido la producción año 2019. Fuente: Sistema informático ERP Austrogas.

Una vez identificadas las consecuencias de los fallos en los sistemas tanto para el año 2018 como el año 2019; se agrupa las fallas coincidencia les y repetitivas de cada sistema así:

Secuencia de agrupación y análisis de modo de falla del año 2018. Tabla 4.

NUMERAL	SISTEMA	FUNCIÓN PRINCIPAL
1	Sistema Transportador #1 Siraga	Transportar los cilindros desde la descarga de los camiones hasta la entrada del carrusel de envasado.
2; 3; 4; 7	Carrusel Siraga/ Brazo de entrada	Ingresar los cilindros al carrusel de envasado para el proceso de llenado
5	Carrusel Kosan/ brazo de salida	Extarar los cilindros envasados del carrusel de llenado
6, 11	Carrusel kosan/ Sistema Transportador #2	Transportar los cilindros envasados hasta la zona de carga de los camiones.
8	Carrusel Siraga/ Brazo de parada	Detener el paso de los cilindros del puesto de tarado hasta el ingreso del carrusel.
9,12,13	Carrusel Kosan/ Entrada cilindros	Ingresar los cilindros al carrusel de envasado para el proceso de llenado
10	Carrusel Kosan/ Tablero Neumático	Alimentar con aire y energía eléctrica a los componentes del sistema de salida.

Tabla 4. Agrupación de numerales, sistemas y función principal, donde se ha detenido la producción año 2018.

Se define los parámetros de valoración de la matriz de criticidad que tiene como ejes: severidad, ambiental, económico, producción & calidad e impacto como se indica en tabla 5:

Clasificación de severidad	SEGURIDAD	AMBIENTAL	ECONOMICA REPARACION (USD)	PRODUCCION & CALIDAD	IMPACTO
5	Fatalidad	Fuga Extensa	10000 >	Afectación > 100% por hora	Muy importante impacto
4	Incapacidad parcial o Total	Fuga Mayor	5000 > 10000	Afectación de 30 - 100% por hora	Importante impacto
3	Accidente con tiempo perdido	Fuga localizada	500 > 5000	Afectación de 30 - 70% por hora	Medio Impacto
2	Tratamiento Médico	Fuga Menor	1 > 500	Afectación de 10 - 30% por hora.	Menor impacto
1	Primeros Auxilios	Fuga leve	> 1	Afectación de < 10% Por Hora	Minimo impacto

Tabla 5: Criterios de severidad valorados de 1 a 5, tomando 1 como el más ligero y 5 como extremo.

SUBSISTEMA	COMPONENTES	Matriz de criticidad	
		Valoración de criticidad	
		(Equipos)	(SISTEMA)
1.1	Motoreductor	21	CRITICO
	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	21	
	2 Ruedas poleas de retorno	19	
	Cadena	19	
	Pasamanos	17	
2.1 / 3.1 / 4.1 / 7.1	Cilindro Neumático	17	CRITICO
	Reguladores de presión hidráulica	16	
	Sensor electrónico	21	
	Platina Metálica	20	
	Pomo de sujeción	15	
	Cables de conexión electrónica	20	
	Sensor Neumático	17	
	Manojeros hidráulicos	16	
	Cilindro Neumático	17	
	Sensor inductivo	19	
3.1 / 3.2 / 4.2 / 7.2	Sensor de fibra óptica	20	CRITICO
	Cables de fibra óptica	17	
	Motor óptico	20	
	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	19	
	2 Ruedas poleas de retorno	17	
	Cadena	12	
	Pasamanos	20	
	Valvula de escape rápido	16	
	Cilindro neumático	14	
	Sensor Neumático	16	
4.1 / 4.2 / 4.3 / 4.4	Topo de Polietileno	15	MODERADAMENTE CRITICO
	Manojeros de aire	15	
	Sistema mecánico	19	
	Varilla metálica	22	
	Sensor	17	
5.1 / 5.2 / 5.3 / 5.4	Platina metálica	20	CRITICO
	Ruedas dentadas	17	
	Electrovalvula	12	
	Cilindro Neumático	16	
	Manojeros hidráulicos	16	
6.1 / 6.2 / 6.3 / 6.4 / 6.5 / 6.6	Electrovalvulas	12	CRITICO
	Cables de conexión eléctrica	20	
	Manojeros de aire	12	
	Regulador de presión	12	
	Fresado	10	

Tabla 6. Desagregación entre numerales (Tabla 4), subsistemas, componentes y valoración de criticidad, año 2018.

Identificados los componentes críticos indicados en Tabla 6; y con un criterio de criticidad de análisis para este caso estudio de Severidad de Falla económico 4 y Criticidad de equipos 20. Indicado en Tabla 7

SUBSISTEMA	COMPONENTES	Matriz de criticidad						TIEMPO DE MANTENIMIENTO (HORAS)	TIEMPO OPERATIVO DE LA MAQUINA (HORAS)
		Severidad de Falla		Consecuencia de Falla		Valoración de criticidad			
		SEVERIDAD AMBIENTAL (1-5)	SEVERIDAD ECONOMICA (1-5)	NTIF (1-5)	Gravancia (1-5)	Riesgo (1-5)	(SISTEMA)		
1.1	Motoreductor	4	4	5	5	5	20	2	200
1.2	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	1	2	5	5	5	20	4	100
6.1 / 6.2	Motoreductor	4	4	5	5	5	20	2	200
6.6 / 6.11.4	Enzo molino	4	3	4	3	5	20	1	400

Tabla 7. Componentes críticos con severidad de falla económico 4 y criticidad de equipos 20

En las figuras 3 a figura 8, determinamos gráficamente mediante las condiciones de severidad económico como críticas para encontrar los componentes a realizar RCM.



Figura 3. Criterios de Evaluación Sistema transportador #1 Siraga: (Referencia Tabla 7 - Numeral 1)



Figura 4. Criterios de Evaluación Sistema transportador #1 Siraga: Severidad Económica 4 y Criticidad de equipos 20; (Referencia Gráfico 1.A). Subsistemas 1.1 y 1.2.



Figura 5. Criterios de Evaluación Sistema Kosan / Sistema Transportador # 2: (Referencia Tabla 7 - Numerales 6 y 11)



Figura 6. Severidad Económica 4 y Criticidad de equipos 20; (Referencia Gráfico 3.A) Subsistemas 6.1 y 11.1

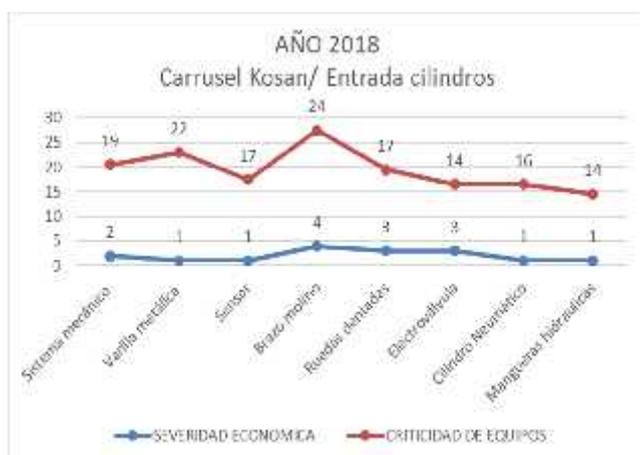


Figura 7. Criterios de Evaluación Sistema Carrusel Kosan / Entrada de cilindros: (Referencia Tabla 1.A - Numerales 9, 12 y 13)



Figura 8. Severidad Económica 4 y Criticidad de equipos 20; Referencia Gráfico 5.A) Subsistemas 9.4, 12.4 y 13.4

Mediante este análisis obtenemos como resultado para análisis RCM de los fallos para el año 2018 y con parámetros:

Equipo se ha detenido por la falla. Criticidad económica 4. Criticidad de equipos 20, los componentes:

- Motorreductor de la envasadora marca Siraga (subsistema 1.1).

- 2 ruedas dentadas de 14 dientes de la envasadora marca Siraga (subsistema 1.2).
- Motorreductor de la envasadora marca Kosan (subsistema 6.1 y 11.1).
- Brazo molino de la envasadora marca Kosan (subsistemas 9.4, 12.4 y 13.4).

Secuencia de agrupación y análisis de modo de falla del año 2019. Tabla 8.

NUMERAL	SISTEMA	FUNCIÓN PRINCIPAL
1; 5; 6; 8; 10	Carrusel Kosan Crisplan/Brazo Salida	Extarar los cilindros envasados del carrusel de llenado
2; 12	Carrusel Kosan/ Balanza de control	Determinar la masa de los cilindros llenos para detener el ingreso de GLP
3; 7; 9	Carrusel Kosan/ Brazo de entrada	Ingresar los cilindros al carrusel de envasado para el proceso de llenado
4; 11; 13	Carrusel Kosan/ Sist. Trans. #2	Transportar los cilindros envasados hasta la zona de carga de los camiones.

Tabla 8. Agrupación de numerales, sistemas y función principal, donde se ha detenido la producción año 2019.

Utilizando los mismos parámetros de valoración como se indica en la tabla 5; definimos los subsistemas, componentes y valoración de criticidad para el año 2019. Tabla 9.

SUBSISTEMA	COMPONENTES	Valoración de criticidad	
		{Equipos}	{SISTEMA}
CRITICO	1.1 / 5.1 / 6.1 / 8.1 / 10.1	Cilindro Neumático	17
	1.2 / 5.2 / 6.2 / 8.2 / 10.2	Sensor Inductivo	19
	1.3 / 5.3 / 6.3 / 8.3 / 10.3	Sensor de fibra óptica	30
	1.4 / 5.4 / 6.4 / 8.4 / 10.4	Cables de fibra óptica	17
	1.5 / 5.5 / 6.5 / 8.5 / 10.5	Electrovalvula	19
	1.6 / 5.6 / 6.6 / 8.6 / 10.6	Rueda dentada del motor hidráulico	19
	2.1 / 12.1	Lictronvalvulas	19
	2.2 / 12.2	Caracas centradas	13
	2.3 / 12.3	Cables de fibra óptica	17
	2.4 / 12.4	Sensor de fibra óptica	30
CRITICO	2.5 / 12.5	Lictronvalvula	19
	2.6 / 12.6	Uso de asentamiento del cilindro	14
	3.1 / 7.1 / 9.1	Sistema mecánico	19
	3.2 / 7.2 / 9.2	Vanilla metálica	30
	3.3 / 7.3 / 9.3	Sensor	17
	3.4 / 7.4 / 9.4	Brazo molino	24
	3.5 / 7.5 / 9.5	Ruedas dentadas	17
	3.6 / 7.6 / 9.6	Lictronvalvula	14
	3.7 / 7.7 / 9.7	Cilindro Neumático	16
	3.8 / 7.8 / 9.8	Mangueras hidráulicas	30
CRITICO	3.9 / 7.9 / 9.9	Cables de fibra óptica	17
	4.1 / 11.1 / 13.1	Motorreductor	30
	4.1 / 11.1 / 13.2	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	19
	4.1 / 11.1 / 13.3	2 Ruedas poleas de retorno	17
	4.1 / 11.1 / 13.4	Cadena	12
CRITICO	4.1 / 11.1 / 13.5	Pasamuros	30
	4.1 / 11.1 / 13.6	Flujos de gránulos	12

Tabla 9. Desagregación entre numerales (Tabla 8), subsistemas, componentes y valoración de criticidad, año 2019.

Identificados los componentes críticos; y con el criterio de criticidad de Falla económico 4 y Criticidad de equipos 20. Tabla 10.

SISTEMA	COMPONENTES	Matriz de criticidad									
		SEVERIDAD ECONOMICA	SEVERIDAD EQUIPOS	SEVERIDAD ECONOMICA	SEVERIDAD EQUIPOS	SEVERIDAD ECONOMICA	SEVERIDAD EQUIPOS	SEVERIDAD ECONOMICA	SEVERIDAD EQUIPOS	SEVERIDAD ECONOMICA	SEVERIDAD EQUIPOS
Motoreductor	Motoreductor	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20
Motoreductor	Motoreductor	4	20	4	20	4	20	4	20	4	20

Tabla 10. Componentes críticos con severidad de falla económico 4 y criticidad de equipos 20



Figura 12. Severidad Económica 4 y Criticidad de equipos 20; (Referencia gráfico 9.A.) Subsistemas 4.1, 11.1, 13.1

IV. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Una vez identificados los fallos y siguiendo la secuencia básica de un proceso RCM (figura 2); se determinó mediante el diagrama de decisión según las normas JA1011 [9] Y SAE JA 1012 [10]; y la propuesta de tareas a realizar para las actividades sucedidas en los años 2018 y 2019. Referencia Tabla 11.



Figura 9.A. Criterios de Evaluación Sistema Carrusel Kosan / Brazo de entrada: (Referencia Tabla 10. Numerales 3, 7 y 9).



Figura 10. Severidad Económica 4 y Criticidad de equipos 20; (Referencia gráfico 7.A.) Subsistemas 3.4, 7.4, 9.4.

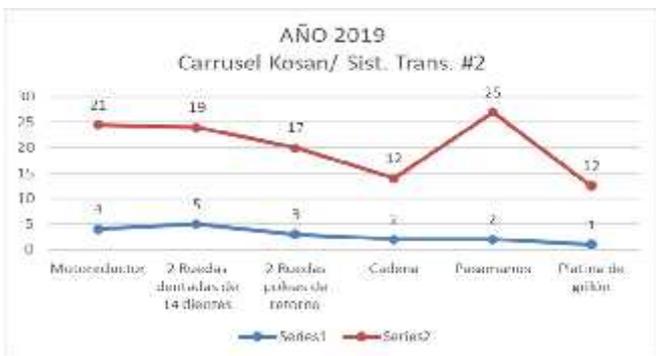


Figura 11. Criterios de Evaluación Sistema Carrusel Kosan / Sist. Trans. #2: (Referencia Tabla 10. Numerales 4, 11 y 13)

HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AÑO 2018					
HOJA DE TRABAJO DE DECISION RCM AÑO 2018			ENVASADO DE GLP DE LA EMPRESA AUSTROGAS		
			Carruseles de Envasado		
INFORMACION DE LOS FALLOS			Tarera Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
Numeral	Sistema	Modo de Fallo			
1	Sistema Transportador #1 Siraga	Motoreductor	Realizar mantenimiento y lubricación, independientemente del uso de la envasadora.	6 meses	Técnico de mantenimiento
		2 Ruedas dentadas de 14 dientes	Programar el recambio de las piezas antes que cumplan su ciclo de vida útil.	24 meses	Técnico de mantenimiento
6; 11	Carrusel kosan/ Sistema Transportador #2	Motoreductor	Realizar mantenimiento y lubricación, independientemente del uso de la envasadora.	6 meses	Técnico de mantenimiento
9; 12; 13	Carrusel Kosan/ Entrada cilindros	Brazo Molino	Rediseñar el brazo Molino para que soporte los golpes de los cilindros y reforzar su rigidez	3 meses	Técnico de mantenimiento

Tabla 11. Resultados de hoja de decisión, según secuencia RCM para el año 2018.

Se obtuvo como resultado de análisis RCM los fallos para el año 2018, los componentes:

Motoreductor. – Sistema Transportador # 1 Siraga Realizar mantenimiento y lubricación, independientemente del uso de la envasadora con una frecuencia de 6 meses y realizado por el Técnico de mantenimiento.

2 Ruedas dentadas de 14 dientes - Sistema Transportador # 1 Siraga; Programar el recambio de las piezas antes que cumplan su ciclo de vida útil, con frecuencia de 24 meses y realizado por el Técnico de mantenimiento.

Motoreductor.- Carrusel Kosan / Sistema transportador #2 Realizar mantenimiento y lubricación independientemente del uso de la envasadora; con frecuencia de 6 meses y debe ser realizado por el técnico de mantenimiento.

Brazo Molino. - Carrusel Kosan, entrada de cilindros; Rediseñar el brazo Molino para que soporte los golpes de los cilindros y reforzar su rigidez; realizar verificaciones de funcionamiento en periodos de 3 meses y debe ser realizado por el técnico de mantenimiento.

Se obtuvo como resultado de análisis RCM los fallos para el año 2019, los componentes. Tabla 12.

HOJA DE DECISIÓN DEL RCM AÑO 2019					
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM AÑO 2019					
INFORMACIÓN DE LOS FALLOS			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
Numeral	Sistema	Modo de Fallo			
3, 7, 9	Carrusel Kosan/ Brazo de entrada	Brazo Molino	Rediseñar el brazo Molino para que soporte los golpes de los cilindros y reforzar su rigidez	3 meses	Técnico de mantenim
4, 11, 13	Carrusel Kosan/ Sist. Trans. #2	Motoreductor	Realizar mantenimiento y lubricación, independientemente del uso de la envasadora.	6 meses	Técnico de mantenim

Tabla 12. Resultados de hoja de decisión, según secuencia RCM para el año 2019.

Brazo molino del Carrusel Kosan / brazo de entrada.-
Rediseñar el brazo Molino para que soporte los golpes de los cilindros y reforzar su rigidez se debe verificar su funcionamiento cada 3 meses y debe realizar este trabajo el técnico de mantenimiento.

Motoreductor del Carrusel Kosan (Sistema transportador # 2.- realizar mantenimiento y lubricación, independientemente del uso de la envasadora, esto en intervalos de 6 meses y debe ser realizado por el técnico de mantenimiento.

Al momento de analizar la criticidad de los componentes se tomó en cuenta los datos del programa desarrollado por la empresa llamado RP, donde se registran los mantenimientos realizados en este caso a los carruseles de envasado; y también ha sido muy valiosa la experiencia de los responsables del mantenimiento.

También se evidenció en los registros la repetitividad de las averías, Si el equipo afectado tuviera relevancia dentro del proceso, se debería de incluir en el nuevo plan de mantenimiento.

Para el planteamiento del nuevo plan de mantenimiento, se tomó en cuenta los equipos críticos, obtenidos en la matriz de criticidad y equipos relevantes que sufren averías con frecuencia.

Para analizar el parte de averías se analizó los equipos que provocan las paradas del sistema de producción y para su criticidad la relevancia económica 4 y la criticidad de los equipos 20; para esto los indicadores de MTBF y la disponibilidad fueron decisivos en aspectos en los que los valores críticos estuvieron nivelados. En algunos casos estos ayudaron a descifrar si el equipo afectado es crítico o no.

Otro elemento que no fue determinado como crítico, pero fue observado al momento del levantamiento de datos y visitas a la empresa, es el sistema de cabezal de la envasadora, el elemento en contacto directo con el cilindro, que produce un desgaste de algunos elementos internos de dicho sistema, esto debido al mal estado de las válvulas de los cilindros de GLP que se manipulan mayormente en los domicilios de la ciudad, sumado a esto el trato no adecuado de los transportadores de los cilindros para GLP en cualquiera de sus presentaciones; no

dejando de lado el daño mecánico al chocar la válvula del cabezote de llenado en la planta misma; estos factores y otros hacen que se determine un desgaste en el cabezal de llenado de las balanzas y se proceda a realizar cualquiera de las acciones de mantenimiento en bien y recuperación de funcionalidad como se ha venido realizando.

Lo que llamó la atención de este tema es cuando se determinó que el tiempo de vida de los cabezales de repuesto era menor a los que inicialmente se otorgó como garantía en funcionamiento, es decir, cuando la máquina de envasado (cualquiera de las dos) fue adquirida, los cabezales mantenían una duración y garantía de un año, posterior a esto, la empresa solicita una compra de cabezales y les entregan aparentemente los mismos cabezales de llenado pero con una garantía menor de la mitad del tiempo que se entregaba inicialmente, esto en razón al mal estado de las válvulas de los cilindros de GLP, pero los argumentos de AustroGas es que siempre las válvulas tanto antes como ahora tienen el mismo estado. El deseo es a futuro, mediante una herramienta de análisis de mantenimiento determinar el motivo de dicha disminución del tiempo de este y entre otras actividades de mantenimiento; además se pretende en su momento contar con una plan que indique cómo y cuándo gestionar un mantenimiento.

V. FIABILIDAD R(t)

“La probabilidad que un elemento puede cumplir con su función en un intervalo especificado y en las condiciones establecidas”. [11]

Considerando los componentes de tipo neumático y mecánico, se puede, con buena aproximación, adoptar la distribución exponencial correspondiente a una tasa de fallos constante [11], para esto, utilizaremos la ecuación 1:

$$\text{Fiabilidad } R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$$= \text{Tasa de Fallos} = T_f / T_p$$

T_f = Número de fallas totales.

T_p = Período total.

t = intervalo de tiempo (horas correspondientes al período de tiempo de la ocurrencia de la falla hasta finalizar el año)

$t_{2018} = 2018-08-04$ a $2018-12-31 = 149$ días * 8 horas diarias de trabajo $t_{2018} = 1192$ horas

$t_{2019} = 2019-01-01$ a $2019-05-29 = 148$ días * 8 horas diarias de trabajo $t_{2019} = 1184$ horas

Al ser las envasadoras un proceso de producción en serie, la confiabilidad para los sistemas de envasadoras de GLP en serie se calcula utilizando la ecuación 2. Ver Figura 13.



Figura 13. Sistema de envasado de GLP. Proceso en serie.

$$R(E)T = R_{(E1)} \times R_{(E2)} \times R_{(E3)} \times R_{(E4)} \times \dots \times R_{(En)}$$

(Ecuación 2)

NUMERAL	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	CONFIAIBILIDAD %	CONFIAIBILIDAD POR SISTEMAS %	LAMBEIDA	CONFIAIBILIDAD %
1	Sistema Transportador #1 Sraaga	1.1	Motoreductor	84,2141	40,5143	0,000002	84,2141
		1.2	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	85,3925		0,000002	85,3925
		1.3	2 Ruedas pulgas de retorno	85,4838		0,000002	85,4838
		1.4	Cadena	86,1528		0,000002	86,1528
2, 3, 4, 1	Camiset Sraaga/ brazo de entrada	1.5	Pasamanos	82,0161	34,8175	0,000002	82,0161
		2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8	Cilindro Neumático	86,5911		0,000002	86,5911
		2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8	Reguladores de presión de aire	86,5911		0,000002	86,5911
		2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8	Sensor electrónico	86,5911		0,000002	86,5911
		2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8	Platina Metálica	84,2911		0,000002	84,2911
		2.5, 2.6, 2.7, 2.8	Punto de sujeción	86,2032		0,000002	86,2032
		2.6, 2.7, 2.8	Cable de conexión electrónica	84,2842		0,000002	84,2842
2.7, 2.8	Sensor Neumático	85,9210	0,000002	85,9210			
5	Camiset Kosari/ brazo de salida	3.1	Cilindro Neumático	84,2831	35,2187	0,000002	84,2831
		3.2	Sensor inductivo	84,2832		0,000002	84,2832
		3.3	Sensor de fibra óptica	85,3730		0,000002	85,3730
		3.4	Cables de fibra óptica	83,2110		0,000002	83,2110
6, 11	Camiset Kosari/ Sistema Transportador #2	3.1, 3.1.1	Motoreductor	84,2141	40,5143	0,000002	84,2141
		3.2, 3.2.2	2 Ruedas dentadas de 14 dientes	85,3925		0,000002	85,3925
		3.3, 3.3.3	2 Ruedas pulgas de retorno	85,4838		0,000002	85,4838
		3.4, 3.4.4	Cadena	86,1528		0,000002	86,1528
		3.5, 3.5.5	Pasamanos	82,0161		0,000002	82,0161
8	Camiset Sraaga/ Brazo de parada	3.1	Válvula de escape rápida	85,2811	55,2121	0,000002	85,2811
		3.2	Cilindro neumático	84,2141		0,000002	84,2141
		3.3	Sensor Neumático	86,3011		0,000002	86,3011
		3.4	Op. de Polifenileno	81,3625		0,000002	81,3625
		3.5	Mangueras de aire	86,2032		0,000002	86,2032
9, 10, 13	Camiset Kosari/ Entrada cilindro	3.1, 3.1.1, 3.1.2	Sistema mecánico	85,2848	71,9163	0,000002	85,2848
		3.2, 3.2.2, 3.2.3	Válvula metálica	81,3025		0,000002	81,3025
		3.3, 3.3.3, 3.3.4	Senso	81,1528		0,000002	81,1528
		3.4, 3.4.4, 3.4.5	Brazo metálico	81,2201		0,000002	81,2201
		3.5, 3.5.5, 3.5.6	Ruedas dentadas	85,3925		0,000002	85,3925
		3.6, 3.6.6, 3.6.7	Electroválvula	86,2032		0,000002	86,2032
		3.7, 3.7.7, 3.7.8	Cilindro Neumático	86,1528		0,000002	86,1528
10	Camiset Kosari/ Tablero Neumático	3.8, 3.8.8, 3.8.9	Mangueras hidráulicas	86,2032	38,8188	0,000002	86,2032
		3.1	Flechas de cables	85,3925		0,000002	85,3925
		3.2	Cables de conexión eléctrica	81,1528		0,000002	81,1528
		3.3	Mangueras de aire	81,1528		0,000002	81,1528
		3.4	Regulador de presión	86,1528		0,000002	86,1528
3.5	Presistola	84,2831	0,000002	84,2831			

Tabla 13. Resultados de confiabilidad por componentes y sistemas del año 2018.

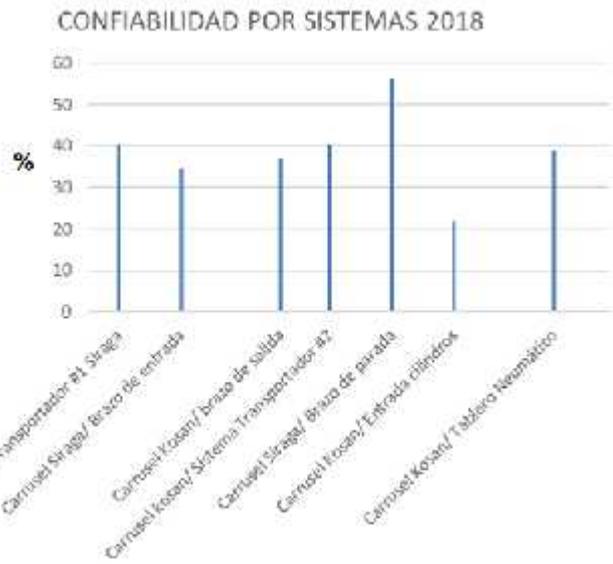


Figura 14. Confiabilidad por Sistemas Año 2018

NUMERAL	SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	CONFIAIBILIDAD POR SISTEMAS %	LAMBEIDA	CONFIAIBILIDAD %
1, 5, 6, 8, 10	Camiset Kosari/ C. salida	1.1, 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4	Cilindro Neumático	26,2188	0,000002	84,2831
		1.2, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4	Sensor inductivo		0,000002	84,2832
		1.3, 1.3.3, 1.3.4	Sensor de fibra óptica		0,000002	85,3730
		1.4, 1.4.4, 1.4.5	Cables de fibra óptica		0,000002	83,2110
		1.5, 1.5.5, 1.5.6	Electroválvula		0,000002	86,2032
2, 12	Camiset Kosari/ Brazo de control	2.1, 2.2	Electroválvula	11,9184	0,000002	85,2831
		2.3, 2.3.3	Cables de conexión		0,000002	81,1528
		2.4, 2.4.4	Cables de fibra óptica		0,000002	83,2110
		2.5, 2.5.5	Electroválvula		0,000002	86,2032
		2.6, 2.6.6	Sensores de conexión de cilindro		0,000002	81,1528
3, 7, 9	Camiset Kosari/ Brazo de entrada	3.1, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5	Sistema mecánico	16,7181	0,000002	85,2848
		3.2, 3.2.2, 3.2.3	Válvula metálica		0,000002	81,3025
		3.3, 3.3.3, 3.3.4	Senso		0,000002	81,1528
		3.4, 3.4.4, 3.4.5	Brazo metálico		0,000002	81,2201
		3.5, 3.5.5, 3.5.6	Ruedas dentadas		0,000002	85,3925
		3.6, 3.6.6, 3.6.7	Electroválvula		0,000002	86,2032
		3.7, 3.7.7, 3.7.8	Cilindro Neumático		0,000002	86,1528
4, 11, 13	Camiset Kosari/ S. Trans. #2	3.8, 3.8.8, 3.8.9	Mangueras hidráulicas	31,7133	0,000002	86,2032
		3.1	Flechas de cables		0,000002	85,3925
		3.2	Cables de conexión eléctrica		0,000002	81,1528
		3.3	Mangueras de aire		0,000002	81,1528
		3.4	Regulador de presión		0,000002	86,1528
3.5	Presistola	0,000002	84,2831			

Tabla 14. Resultados de confiabilidad por componentes y sistemas del año 2019.

Las principales conclusiones de aplicar la metodología R.C.M al proceso de envasado en la planta de AustroGas son las siguientes:

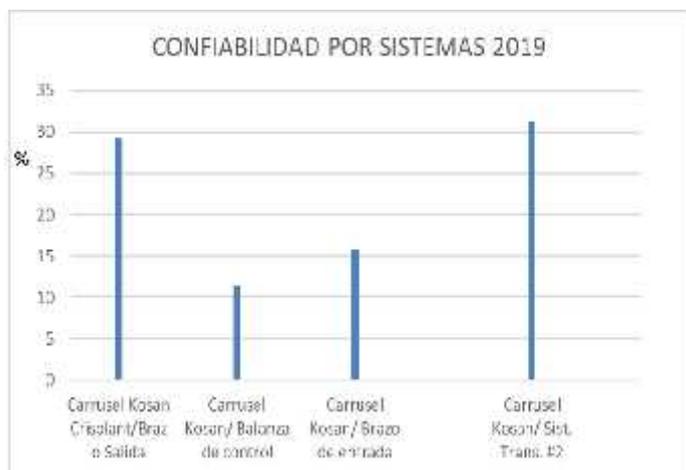


Figura 15. Confiabilidad por Sistemas Año 2019

En las tablas 13 y 14 podemos observar la confiabilidad de los componentes y de los sistemas.

Los sistemas dispuestos como serie se caracterizan por que el funcionamiento de cada ítem, depende del funcionamiento del componente que lo antecede y posterior; es decir, si uno de los componentes falla, el sistema podría detenerse. Ver figura 13.

La confiabilidad de un sistema en serie es el resultado del producto de las confiabilidades de sus componentes, podríamos concluir que la confiabilidad total $R_{(0)TOTAL}$ de un sistema en serie siempre será menor que la confiabilidad de sus componentes. Ver Figura 14 y 15.

Por análisis de confiabilidad, determinamos que para el año 2018 Carrusel Kosan entrada Cilindros (21,91% confiabilidad); Carrusel Siraga/ Brazo de entrada (34,67% confiabilidad) y Sistema Kosan brazo de salida (36,97%) son los elementos a tratar con urgencia, ya que son los que menor confiabilidad presentan al momento de su análisis.

Por análisis de confiabilidad, determinamos que para el año 2019 Carrusel Kosan / Balanza de Control (11,5 % de confiabilidad) y Carrusel Kosan/ Brazo de entrada (15,78%). Los elementos de mayor consideración para elevar la fiabilidad operacional.

Con la propuesta inicial realizada en este artículo y los posteriores mejoramientos que realice el departamento de mantenimiento de la empresa AustroGas se pretende aumentar la confiabilidad de los equipos, esto llevará a un resultado en la mejora en la confiabilidad de los sistemas, llevando a un resultado de alargar la vida útil de los equipos, pretendiendo ser un ahorro para la empresa y con igual mejora en los temas de salud laboral e impacto en el medioambiente.

VI. CONCLUSIONES.

El RCM, inicialmente se creó para industria de la aviación, pero paulatinamente se implementó en otros tipos de industrias; para la planta de AustroGas es muy beneficioso asignar a cada equipo y modo de fallo el tipo de mantenimiento más apropiado.

1. Con la metodología R.C.M se logra realizar un análisis detallado de cada avería de los sistemas de envasamiento de cilindros de GLP, para definir las tareas de mantenimiento más adecuadas.
2. Gracias a este proyecto se llega a tener un mayor conocimiento de la planta, determinando los equipos con los que se deberá prestar una mayor atención, y también se estableció cuáles serán las causas de avería en estos equipos; para el año 2018:
Motoreductor. – Sistema Transportador # 1 Siraga ; 2 Ruedas dentadas de 14 dientes - Sistema Transportador # 1 Siraga; Motoreductor.- Carrusel Kosan / Sistema transportador #2; Brazo Molino. - Carrusel Kosan, entrada de cilindros;
Los equipos determinados de las averías del año 2019: Brazo molino del Carrusel Kosan / brazo de entrada; Motoreductor del Carrusel Kosan (Sistema transportador # 2).
3. Se ha desarrollado una estructura de actividades de mantenimiento mediante una herramienta centrada en confiabilidad llamada RCM de los equipos críticos en la línea de envasado de GLP de la empresa AustroGas, pudiendo este convertirse en un modelo general para el resto de empresas envasadoras de gas del país.
4. Se han establecido los lineamientos del RCM para este estudio, parámetros inicialmente como si el sistema ha producido algún tipo de para ó haberse detenido para su mantenimiento correctivo; y en segunda instancia factores de criticidad como la influencia de los equipos sobre la producción (20 en la matriz de criticidad); como también la valoración económica de los equipos (4 en la matriz de criticidad). Con estos factores de decisión, logramos determinar los equipos el análisis para los años 2018 y 2019. Mediante el diagrama de decisión y hojas de trabajo mantendremos acceso a toda la información de los equipos y las tareas seleccionadas para su mantenimiento.
5. Se ha desarrollado actividades de mantenimiento Centrado en confiabilidad RCM, mediante una secuencia lógica derivada del RCM, donde se ha podido determinar las tareas, persona responsable y periodicidad de mantenimientos. Por el momento la propuesta llega hasta este punto (Tablas 11 y 12), ya que la implementación y revisión de la mejora se lo realizará a futuro la empresa, siendo esto un deseo que sea el inicio del RCM en la empresa AustroGas.
6. El estudio RCM realizado ha permitido brindar certeza que fallas en equipos críticos, semi críticos y no críticos detengan la producción, dando como un acierto que la falla de cualquiera de estos sistemas no presentará un problema funcional para que el sistema de producción se detenga.
7. No se deberá exponer a los equipos a que trabajen por encima de su capacidad funcional, ya que esto se traduce en mayor desgaste y sobrecarga en el equipo que aumenta considerablemente el riesgo de falla. Y al ser el RCM una herramienta basado en historiales de falla, estaríamos frente a un problema “nuevo”, donde las correcciones de mantenimiento serian de otro tipo. Este efecto de manera matemática será directamente relacionado con la disminución

de la confiabilidad de los equipos y por supuesto de los sistemas.

8. El uso del sistema RP de almacenamiento de tareas de mantenimiento fue básico para la realización de este estudio, aquí se recolectan todos los datos y tareas referidas al mantenimiento y será fundamental para la implantación del plan de mantenimiento de este estudio como los que se pretenden hacerlo a futuro dentro de la planta. Ya que, a través del histórico de modos y efectos de fallo en la planta, se puede llegar a la conclusión si los intervalos de revisión de mantenimiento están fijados correctamente, o necesitan ser modificados.
- 9 La implantación de un plan de mantenimiento supondría, tener una planta más segura, desde el punto de vista de producción y mantenimiento, los procesos tendrían mayor confiabilidad, además de conseguir un ahorro en los diferentes métodos que se realicen en la planta.
10. El método analizado mediante el análisis de RCM y sus variables de criticidad, coinciden en su mayoría con los cálculos para llegar a determinar la fiabilidad de los sistemas, permitiendo tener una visión del comportamiento de los activos desde el punto de vista del mantenimiento y así tomar acciones ya sean estos preventivos, proactivos, reactivos e incluso y dependiendo el caso hasta un rediseño de ciertos componentes.
11. Este método no permite realizar proyecciones en cuanto a confiabilidad, pero es una herramienta que facilita la toma de decisiones en cuanto a comportamiento se refiere en base a los resultados obtenidos.

VII. RECOMENDACIONES

Lo determinado en el presente estudio es fundamental para el inicio del RCM en la planta envasadora de AustroGas de la ciudad de Cuenca; para esto se recomienda:

1. Las actividades propuestas como plan de mantenimiento - objeto de este estudio- se deberían socializar con la alta gerencia de la empresa y tomar una decisión de implementación, esto permitiría continuidad en la evaluación de las actividades propuestas y determinar mediante su valoración si fueron las correctas. Tablas 11 y 12.
2. En base al estudio RCM realizado, deberán prestar mayor atención al comportamiento de los equipos determinados como críticos o semi críticos, esto será de gran ayuda para reducir los fallos y las paras en los carruseles de las líneas de envasamiento de GLP.
3. El procedimiento ó estructura del estudio planteado puede ser utilizado como genérico para otras plantas de envasamiento de GLP en el país, ya que el principio de las máquinas de envasamiento son similares, así como los agentes externos como el trato de los cilindros, el transporte, la manipulación, el producto a envasar, etc.
4. Se recomienda ampliar el presente estudio a un alcance de un mayor número de años (horas), esto permitirá determinar un mejor monitoreo del comportamiento de las fallas, siendo de mayor utilidad para la implementación del plan de mantenimiento que en ese momento se proponga.
5. Para el monitoreo de las fallas se puede modificar la severidad de los criterios de fallo, esto permitirá abarcar

mayores sistemas y componentes para un análisis mediante RCM.

6. Implementando el plan de mantenimiento propuesto, se asegura que la detención de los sistemas de envasamiento analizados reducen la probabilidad de falla, siendo esto beneficioso tanto para la productividad, gerencias de producción y de mantenimiento de la empresa AustroGas, además de mejoramiento en temas relacionados al cuidado y salud ocupacional, laboral y entorno ambiental.
7. Se recomienda a la empresa realizar las tareas determinadas en las tablas 11 y 12 obtenidas mediante análisis de decisión del RCM.
8. Se recomienda a la empresa determinar tareas determinadas de mantenimiento para los sistemas críticos obtenidos mediante el cálculo de la fiabilidad Figuras 14 y 15.
9. Se recomienda actualizar el sistema de mantenimiento RP, donde se podría interrelacionar aspectos de decisión como costos de reparación, tiempos de proveedores, duración de repuestos, manejo de stock de repuestos, entre otros, los cuales permitirán hacer una mejor herramienta de toma de decisión como es el RCM.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. Ecuador. www.controlhidrocarburos.gob.ec
 - [2] Compañía de Economía Mixta AustroGas, www.austrogas.com.ec
 - [3] Sistema informático RP, desarrollado por la empresa AustroGas; se lo utiliza como base de datos de los trabajos de mantenimiento realizados y programación de los que se realizarán a futuro.
 - [4] RCM2 - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, J. Moubray.
 - [5] Predictiva21, 2016; <http://predictiva21.com/efectividad-actividades-mantenimiento/>; Autora: Carolina Altmann Macchio.
 - [6] Mora Gutiérrez, 2009. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control Primera Edición Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
 - [7] Sexto Cabrera, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, apuntes y reflexiones, 2015.
 - [8] (Sexto Cabrera, La Confiabilidad Integral del Activo, 2008, pág. 49).
 - [9] Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Agosto 2009.
 - [10] Norma SAE JA1012 – A guide to reliability – Centered Maintenance (RCM) Standard, Jan 2002
 - [11] MIL-STD-721C Definitions of Terms For Reliability an Maintainability.
- Figura 2 tomada de Zambrano, RA (2017). Propuesta de Implantación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad de los Activos Críticos de la Central Hidroeléctrica Ocaña. Tesis de maestría no publicada. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- El autor agradece al Msc. Ing Luis Felipe Sexto por la dirección y a la empresa AustroGas por su aporte para la realización de este estudio en especial al Ing Felipe León, quien es actualmente el encargado de planear y ejecutar el mantenimiento en la empresa AustroGas. A mi esposa, hijos, madre; en el cielo a mi padre y familiares. -