

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EVAPORADOR DE
CAMELO, ENFRIADOR Y POPPER DEL PROCESO PRODUCTIVO, DE LA
PLANTA DE POPETAS EN LA MULTINACIONAL QUALA S.A., BASADA EN
LOS PRINCIPIOS DE RCM**

**JUAN SEBASTIÁN MONTOYA SALAZAR
DIEGO FELIPE FRANCO VÁSQUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2019**

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EVAPORADOR DE
CAMELO, ENFRIADOR Y POPPER DEL PROCESO PRODUCTIVO, DE LA
PLANTA DE POPETAS EN LA MULTINACIONAL QUALA S.A., BASADA EN
LOS PRINCIPIOS DE RCM**

**JUAN SEBASTIÁN MONTOYA SALAZAR
DIEGO FELIPE FRANCO VÁSQUEZ**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director
JAVIER EDUARDO FORERO DUQUE
Ingeniero Electricista
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2019**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1. MANTENIMIENTO	18
4.1.1. Tipos de mantenimiento.....	20
4.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	22
4.3. TAXONOMÍA.....	22
4.4. FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	25
4.4.1. Fallas funcionales	26
4.4.2. Modos de falla	26
4.4.3. Efectos de falla	27
4.4.4. Consecuencias de la falla.....	27
4.4.5. Consecuencias de las fallas ocultas).....	27
4.4.6. Consecuencias ambientales y para la seguridad.....	27
4.4.7. Consecuencias operacionales	28
4.4.8. Consecuencias no-operacionales.....	28
4.5. DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM.....	28
4.5.1. Tareas a condición.....	29
4.5.2. Tarea de reacondicionamiento cíclico.....	30
4.5.3. Tarea de sustitución cíclica.....	30
4.5.4. Combinación de tareas	30
4.5.5. Ningún mantenimiento programado.....	31
4.5.6. Rediseño.....	31
4.6. CONFIABILIDAD	31
4.6.1. Curva de confiabilidad	32
5. MARCO CONTEXTUAL	33
5.1. CENTROS PRODUCTIVOS DE QUALA S.A.....	33
5.2. UBICACIÓN CPT	34
5.3. VALORES CORPORTATIVOS	34

5.4. PROCESO PRODUCTIVO.....	36
5.4.1. OSBL	36
5.4.2. Proceso Línea Dulce.....	38
5.4.3. Proceso Línea Sal.....	41
5.5. ENVASADO	43
5.6. EMPAQUE	44
5.7. EQUIPOS DE PROCESO PLANTA POPETAS	45
5.8. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LÍNEA DULCE	46
5.8.1. Popper.	46
5.8.2. Elevador de cangilones.....	47
5.8.3. Tolva de alimentación	47
5.8.4. Turbina de admisión de aire	47
5.8.5. Tamiz.....	48
5.8.6. Banda de elevación.	49
5.8.7. Marmitas	49
5.8.8. Concentradores	50
5.8.9. Recubridor	50
5.8.10. Enfriador.	51
5.9. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LÍNEA DE SAL	52
5.9.1. Marmitas de preparación	52
5.9.2. Tambor recubridor	53
5.9.3. Sazonador	53
6. APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE RCM	54
6.1. TAXONOMÍA PROPUESTA.....	54
6.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	54
6.3. DESARROLLO DE FMECA	60
6.4. HOJA DE DECISIÓN RCM	62
7. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA.....	65

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Taxonomía de equipos	23
Figura 2. Niveles Taxonómicos.....	24
Figura 3. Diagrama de decision RCM	29
Figura 4. Centro productivo de Toncancipá (CPT).....	33
Figura 5. Ubicación Geográfica Planta Popetas.	34
Figura 6. Valores corporativos Quala S.A.	35
Figura 7. Sistema de Transporte Neumático - Marca OGA.	37
Figura 8. Layout Proceso Línea Dulce.....	41
Figura 9. Layout Proceso Línea Sal.....	43
Figura 10. Producto envasado.	44
Figura 11. Empaque de producto terminado.....	45
Figura 12. Popper.	46
Figura 13. Tambor de Popper.	48
Figura 14. Tamiz.	48
Figura 15. Marmitas.	49
Figura 16. Sazonador.	51
Figura 17. Enfriador.	51
Figura 18. Pareto Total planta Popetas.	58
Figura 19. Pareto Total proceso de producción Popetas.	59
Figura 20. Fronteras Popper.....	60
Figura 21. Fronteras Enfriador.	61
Figura 22. Fronteras Evaporador de Caramelo.....	61

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia por día planta Popetas.....	56
---	----

RESUMEN

TÍTULO: FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EVAPORADOR DE CAMELO, ENFRIADOR Y POPPER DEL PROCESO PRODUCTIVO, DE LA PLANTA DE POPETAS EN LA MULTINACIONAL QUALA S.A., BASADA EN LOS PRINCIPIOS DE RCM*

AUTORES: JUAN SEBASTIÁN MONTOYA SALAZAR y DIEGO FELIPE FRANCO VÁSQUEZ**

PALABRAS CLAVE: POPPER, FMECA, RCM, FALLAS, MODOS DE FALLA, MANTENIMIENTO.

DESCRIPCIÓN:

Se ha logrado formular un plan de mantenimiento de la planta de Popetas de la empresa Quala S.A., basado en los principios de RCM, donde se establece la criticidad de los activos pertenecientes a la misma, para proceder con el análisis profundo, con los clasificados como críticos y muy críticos por medio de un Pareto, basado en el histórico de fallas, suministrado por el departamento de mantenimiento. Una vez obtenida esta clasificación de activos como críticos y muy críticos, se procede a definir la taxonomía, sistemas y subsistemas, caracterización de las funciones primaria y secundarias que se evidencian en la hoja de información, así como las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de las fallas; por último, la hoja de decisión donde se proponen tareas de mantenimiento, intervalo de tiempo y responsable de ejecución, para tratar cada modo de falla identificado.

Con el análisis y evaluación llevados a cabo, se pretende sugerir tareas de mantenimiento basadas en los modos de falla identificados y que puedan ser incluidos a los planes de mantenimiento actualmente aplicados en la planta. Adicionalmente, el presente análisis es el punto de partida para la implementación de mantenimiento basado en confiabilidad y sirve como complemento al proceso de implementación de TPM que se adelanta en la compañía.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Javier Eduardo Forero Duque Especialista en Gerencia de Mantenimiento

ABSTRACT

TITLE: FORMULATION OF A MAINTENANCE PLAN FOR EVAPORATOR OF CARAMEL, COOLER AND POPPER IN THE PRODUCTION PROCESS OF THE POPETAS PLANT IN THE MULTINATIONAL QUALA S.A., BASED ON RCM PRINCIPLES*

AUTHORS: JUAN SEBASTIÁN MONTOYA SALAZAR y DIEGO FELIPE FRANCO VÁSQUEZ**

KEY WORDS: POPPER, FMECA, RCM, FAILURES, FAILURE MODES, MAINTENANCE.

DESCRIPTION:

It has been possible to formulate a maintenance plan for the Popetas plant of the Quala SA company, based on the principles of RCM, where the criticality of the assets belonging to it is established, to proceed with the in-depth analysis, with those classified as Critical and very critical through a Pareto, based on the fault history, supplied by the maintenance department. Once this classification of assets is obtained as critical and very critical, we proceed to define the taxonomy, systems and subsystems, characterization of the primary and secondary functions that are evidenced in the information sheet, as well as functional failures, failure modes and the effects of failures; Finally, the decision sheet where maintenance tasks, time interval and execution manager are proposed, to deal with each identified failure mode.

With the analysis and evaluation carried out, it is intended to suggest maintenance tasks based on the failure modes identified and that can be included in the maintenance plans currently applied in the plant. Additionally, this analysis is the starting point for the implementation of reliability-based maintenance and serves as a complement to the TPM implementation process that is being carried out in the company.

*Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Javier Eduardo Forero Duque Maintenance Management Specialist

INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera en Colombia en los últimos años viene presentando una constante evolución en la elaboración, control de calidad y técnicas de desarrollo del negocio, enfocada al consumo de sus productos. Una de las industrias que ha tenido crecimiento es la relacionada con productos de consumo masivo adoptando cada vez más técnicas que permiten involucrar a todos sus empleados al compromiso de lanzar al mercado productos novedosos, rentables y de calidad.

Quala S.A. es una empresa que ha sido participe de la evolución generada por las necesidades de los negocios de su índole, permitiendo ser en el mercado una empresa líder, reconocida e innovadora en sus productos, así como adaptar técnicas como el Mantenimiento Total Productivo (TPM por sus siglas en inglés) donde se permite la participación de todas las áreas involucradas en la cadena de producción.

Debido a las prácticas generadas en la adaptación de estas técnicas, el mantenimiento debe tener una orientación a la disminución de pérdidas traducido en tiempos de mantenimientos no planeados, paradas no planeadas, puesta en marcha de equipos, entre otros.

Se propone hacer una evaluación de la gestión del mantenimiento basados en la técnica RCM que permita aportar recomendaciones en la ejecución de las actividades de mantenimiento en la planta de “Popetas” de la empresa Quala S.A.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el mantenimiento se gestiona mediante actividades de inspección, lubricación y recambios con oportunidades en la ejecución, ya que algunas veces no se obtienen resultados esperados y la disponibilidad de los equipos se ve comprometida a razón del desconocimiento de varios factores.

La multinacional Quala S.A está dedicada a la producción y comercialización de productos de consumo masivo, con el objetivo de crear marcas líderes y rentables en el mercado, que ofrezcan una propuesta superior al consumidor popular local. Uno de los productos de mayor reconocimiento en la actualidad es Popetas, un producto a base de maíz gourmet expuesto a aire caliente, cuya planta de producción queda ubicada en el municipio de Tocancipá y será objeto de estudio de este proyecto en la gestión del mantenimiento.

Se ha encontrado que en la actualidad, Quala S.A. gestiona el mantenimiento desde un archivo de MS Excel que cuenta con macros que carecen de organización taxonómica, hojas de vida de equipos, gestión de indicadores, contabilidad de tiempos (Up Time y Down Time), modos y efectos de fallas, jerarquización y gestión de repuestos, entre otros. Además, recientemente la empresa adquirió un software EAM que busca ayudar a la gestión diaria de la planta, desde una perspectiva financiera, técnica y administrativa. Sin embargo, dicho software tiene que contar con una migración y retroalimentación de datos para que cumpla a cabalidad con sus funciones.

Lo anterior, deja en evidencia que la gestión actual esta desactualizada y las herramientas adquiridas para mejorar los procesos de mantenimiento no son complementarias, ni están organizadas para la correcta gestión del mantenimiento de sus activos y así imposibilita ejecutar medidas preventivas.

Con lo anterior, esta propuesta tiene por objetivo presentar la formulación de un plan de mantenimiento para los activos: Evaporador (Cretors) de Agua en Caramelo, Enfriador (Cretors) de palomitas de maíz recubiertas de caramelo y Popper (Cretors), de la línea de dulce en la planta de Popetas. Esta propuesta se basa en los principios de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés).

Además, aportar e influir positivamente en el manejo de la información y el proceso de mantenimiento de los tres activos seleccionados para la implementación del RCM, brindando recomendaciones enfocadas a una gestión integral. Esto también, como proyecto piloto para los demás activos de la compañía según el Modelo Gestión de Mantenimiento.

OBJETIVOS

1.2. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un plan de mantenimiento para Evaporador (Cretors) de Agua en Caramelo, Enfriador (Cretors) de palomitas de maíz recubiertas de caramelo y Popper (Cretors) del proceso productivo de la línea de dulce de la planta de Popetas ubicada en Tocancipá, Colombia de la multinacional Quala S.A.; que se basa en los principios de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés).

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar los activos de la planta de Popetas por medio de un análisis de Pareto con base en el historial de fallas.
- Definir la taxonomía de cada uno de los sistemas a los cuales se aplicará el modelo de RCM de la planta.
- Determinar las funciones primarias y secundarias, así como los modos y efectos de falla para cada uno de los activos definidos.
- Establecer la hoja de decisión basada en el modelo de RCM para los activos definidos.

JUSTIFICACIÓN

Históricamente, el área de mantenimiento se ha destacado en las empresas por ser reciente y subvalorada, puesto que solo se hace evidente su utilidad cuando un activo requiere un correctivo y, además, desde el punto de vista de las gerencias, el mantenimiento ha sido reconocido como un gasto y no como un costo.

Para el caso de Quala S.A., se pudo identificar que, aunque siempre se había tenido en cuenta el mantenimiento, se había manejado desde el equipo técnico hasta hace 15 años aproximadamente, cuando la multinacional vincula sus primeros ingenieros de manteamiento y 10 años después, se gestiona el puesto de gerencia de mantenimiento para organizar y estructurar planes de gestión.

En el proceso de la creación del cargo de gerencia de mantenimiento, se incursionó con la implementación de la metodología de Mantenimiento Total Productivo (TPM, por sus siglas en inglés). Lo que ha permitido que la organización se destaque por buenos resultados en la disminución de las paradas no planeadas de mantenimiento y en el aumento de la disponibilidad de los equipos.

Sin embargo, una vez implementada la metodología TPM se buscó desarrollar un proceso, que con ayuda de un software para la gestión de mantenimiento de activos físicos (conocido como CMMS y adquirido por Quala S.A. en el 2015), se desarrollaran métodos que preservaran las funciones de los equipos, identificaran modos de fallas, se dieran prioridades a las principales funciones y se seleccionaran tareas aplicables y efectivas en los equipos más críticos.

El TPM, integra mayormente al área de producción y minoritariamente el área de mantenimiento; por tanto, esta última solo hacer parte de uno (mantenimiento planeado) de los ocho pilares, lo que limita la gestión e intervención del área.

Con lo anterior, formular un plan de mantenimiento desde el modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), parece viable y enriquecedor para el crecimiento del área de mantenimiento de Quala S.A., pues brinda beneficios aún no adquiridos en las plantas o activos productivos de la compañía.

Por un lado, permitirá desarrollar o reestructurar los planes de mantenimiento, logrando una alta calidad en la ejecución y retroalimentación en poco tiempo y al menor costo posible. La disponibilidad de un historial de mantenimiento para que cada sistema sea capaz de correlacionar la experiencia con partes específicas, sus modos de falla y la criticidad de cada uno.

Asegurará que todas las partes importantes del mantenimiento, los modos de falla y la criticidad, sean considerados en el desarrollo de los requisitos del proceso a implementar. Facilitará el aumento de la probabilidad, es decir que el nivel y el contenido del requisito de mantenimiento sea óptimo, junto con el aseguramiento de los pilares implementados de TPM. Finalmente, será base para el intercambio de rutina, en línea de información, entre el personal del “staff” y la dirección de la compañía.

De esta manera, se evidencia no solo la viabilidad y necesidad de presentar esta formulación a la compañía, sino también la pertinencia de este tipo de planes de gestión en el área de mantenimiento a nivel general, descentralizándolo de los activos objetos de este estudio.

MARCO TEÓRICO

1.5. MANTENIMIENTO

El hacer mantenimiento con un concepto actual no implica reparar equipo roto tan pronto como se pueda sino mantener el equipo en operación a los niveles especificados. En consecuencia, un buen mantenimiento no consiste en realizar el trabajo equivocado en la forma más eficiente; su primera prioridad es prevenir fallas y de este modo reducir los riesgos de paradas imprevistas.

De lo anterior mencionado se destaca que este término no llegó a dichas instancias inmediatamente, John Moubray describe tres expectativas del mantener en el tiempo, más una nueva que la literatura la refiere como una cuarta generación:

- Primera generación (1940 a 1960): constaba de reparar cuando se rompe.
- Segunda generación (1960 a 1980): buscaba mayor disponibilidad de planta, mayor vida de los equipos y menor costo.
- Tercera generación (1980 a 2000): buscaba una mayor disponibilidad y confiabilidad de planta, mayor seguridad, mejor calidad de producto, ningún daño al medio ambiente, mayor vida de los equipos y mayor costo-eficacia¹.

¹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 3

- Cuarta generación (2000 a presente): con el surgimiento de nuevas tecnologías, se ha generado un aumento explosivo en conceptos de mantenimiento y su gestión, tales como: CBM (Mantenimiento Basado en Condición), Sistemas Expertos, Análisis en el ciclo de vida del activo y sus costos (LCC)².

² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 4

1.5.1. Tipos de mantenimiento. Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- **Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Por ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso de falla antes de que la falla funcional ocurra. Estas tareas incluyen: inspecciones (ejemplo, inspección visual del grado de desgaste), monitoreo (ejemplo, vibraciones, ultrasonido), chequeos (ejemplo, nivel de aceite). Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Por ejemplo, a partir de la medición de vibraciones de un equipo puede decidirse cambiarlo o no. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de falla potencial. Es decir, debe haber síntomas claros de que la falla está en el proceso de ocurrir.
- **Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. Debe tenerse mucho cuidado, al momento seleccionar una tarea preventiva (o cualquier otra tarea de mantenimiento, de hecho), en no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacer. Por ejemplo, al evaluar el plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una turbina, se puede decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que en general se puede hacer dado que la falla generalmente responde a

un patrón de desgaste (patrón B de los 6 patrones de falla del RCM). Sin embargo, en ciertos casos podría convenir realizar alguna tarea predictiva (tarea a condición), que en muchos casos son menos invasivas y costosas.

- **Mantenimiento correctivo:** si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparara la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo de la falla (directos indirectos) es menor que el costo de la prevención, o cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta opción solo es válida en caso de que la falla no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Caso contrario, es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias de la falla.
- **Mantenimiento de “búsqueda de fallas”:** el mantenimiento de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. A este mantenimiento también se lo llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo el cual se realiza esta tarea se lo llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval)³.

³ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 4

1.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

El RCM, es el resultado de un proceso en la aviación, el cual ha obtenido una muy buena acogida en la industria y se ha extendido a muchas empresas alrededor del mundo. El proceso formula siete preguntas básicas acerca del sistema o activo que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociado al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?⁴

1.3. TAXONOMÍA

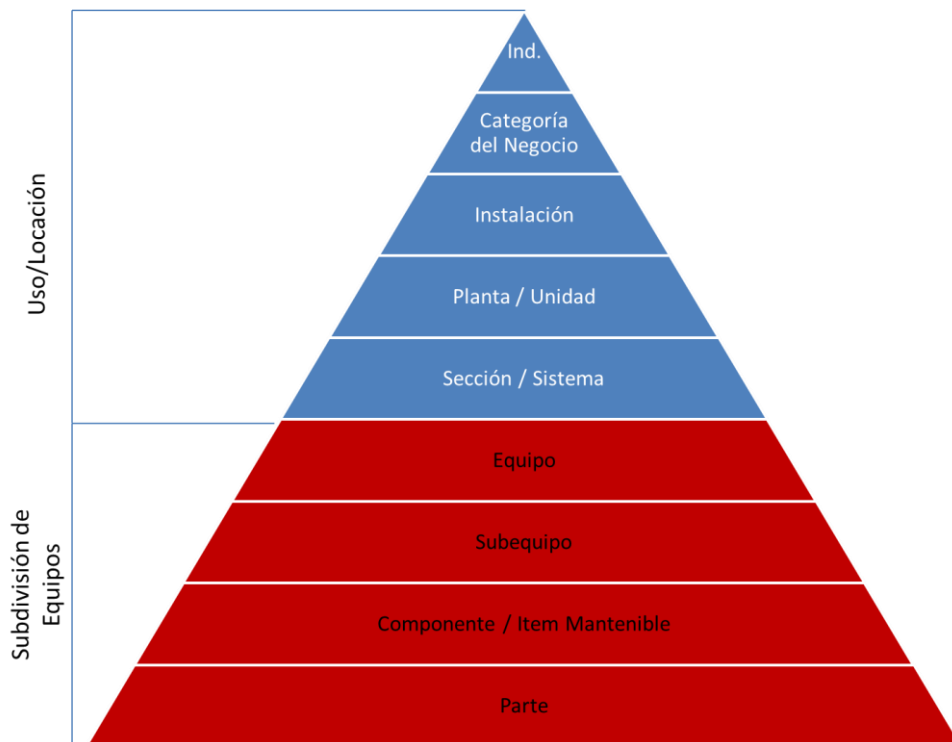
La taxonomía es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores posiblemente comunes a varios de los artículos (ubicación, uso, subdivisión del equipo, etc.). Una clasificación de los datos recogida de acuerdo

⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 7

con la Norma ISO 14224, está representada por una jerarquía como se muestra en la Figura 1⁵.

A continuación, se presentan las definiciones de cada segmento, además de ejemplos de diferentes flujos comerciales y tipos de equipos.

Figura 1. Taxonomía de equipos



Fuente: ISO 14224, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

⁵ INTERNATIONAL STANDARD. ISO 14224:2006: Petroleum, petrochemical and natural gas industries —Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Europe, 2006. Pág. 18.

Los niveles 1 a 5 representan una categorización de alto nivel que se relaciona con industrias y aplicaciones de plantas independientemente de los equipos involucrados (ver nivel 6). Esto se debe a que se puede usar un equipo (por ejemplo, bomba) en muchas industrias y configuraciones de plantas diferentes y, para analizar la confiabilidad de un equipo similar, es necesario tener el contexto operativo. La información taxonómica sobre estos niveles (1 a 5) se incluirá en la base de datos de cada unidad de equipo como "Uso / Localización".

Figura 2. Niveles Taxonómicos

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía Taxonómica	Definición	Ejemplos
Uso / Localización	1	Industria	Tipo de industria	Petroleo, gas natural, petroquímica
	2	Categoría del Negocio	Tipo de negocio	Exploración y Producción, Transporte, Refinamiento y Procesamiento
	3	Instalación	Tipo de facilidad	Producción O&G, Perforación, Transporte, Petroquímica, Refinería
	4	Planta / Unidad	Tipo de planta	Plataforma, Planta de ácido acético, Planta de Metanol
	5	Sección / Sistema	Sección principal	Compresión, Licuefacción, Sistema de reacción, Sección de destilación
Subdivisión de Equipos	6	Equipo	Clase de equipos similares	Intercambiador de calor, Compresor, Bomba, Caldera, Agitador
	7	Subequipo	Un subsistema o equipo necesario para que la unidad del equipo funcione	Subunidad de lubricación, Control y monitoreo, subunidad de refrigeración
	8	Componente / Item Mantenible	El grupo de partes de la unidad de equipo que se mantienen comúnmente (reparadas / restauradas) en su conjunto	Caja de transmisión, Filtro, Válvula, Sensor de presión, Circuito eléctrico, Motor, Bomba de lubricación
	9	Parte	Una sola pieza del equipo	Sello, Tubo, Impeler, Junta torica

Fuente: ISO 14224, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

Los niveles 6 a 9 se relacionan con el equipo (inventario), la subdivisión en niveles inferiores de correspondientes a una relación padre-hijo. La norma ISO 14224 se centra en el nivel de la unidad de equipo (nivel 6) para la recopilación de datos de RM y también indirectamente en los artículos de menor valor, tales como subunidades y componentes. El número de niveles de subdivisión para la

recolección de datos de RM depende de la complejidad de la unidad de equipo y el uso de los datos. Un solo instrumento puede no necesitar más interrupción, mientras que varios niveles pueden ser requeridos para un compresor grande. Para los datos utilizados en los análisis de disponibilidad, la confiabilidad en el nivel de unidad de equipo puede ser la única información requerida, mientras que un análisis de RCM y un análisis de causa raíz pueden requerir datos sobre el mecanismo de falla en el componente o elemento / parte. Esta Norma Internacional no aborda específicamente el nivel 9.

1.4. FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Una fortaleza del RCM es la forma en la que se forman criterios simples, precisos y fáciles de entender enmarcados en funciones y parámetros del funcionamiento de los activos físicos de una compañía, es decir, lo primero que se requiere para empezar a implementar el proceso es determinar qué debe hacerse para que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, Moubray sugiere que se necesitan dos cosas⁶:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Y asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga, definiendo las funciones de cada activo en su contexto operacional y puede ser dividido en funciones primarias, la cual resume por qué se adquirió el activo y funciones secundarias, las cuales reconocen expectativas que

⁶ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 8

tiene el usuario además de la función primaria (por ejemplo, control, confort, seguridad, eficiencia, etc.).

1.4.1. Fallas funcionales. Las fallas funcionales o estados de falla son descritos como la ocurrencia en la que un activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable. Evidentemente estas solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

Antes de aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar qué fallas pueden ocurrir. El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

1.4.2. Modos de falla. Una vez que se haya identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Los modos de falla “razonablemente posibles” incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, falla que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimientos existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

1.4.3. Efectos de falla. El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencia existe de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones.
- Qué daños físicos han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

1.4.4. Consecuencias de la falla. Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

1.4.5. Consecuencias de las fallas ocultas. Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)

1.4.6. Consecuencias ambientales y para la seguridad. Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna

persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

1.4.7. Consecuencias operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la operación).

1.4.8. Consecuencias no-operacionales. Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni a la producción, solo implican el costo directo de la reparación.

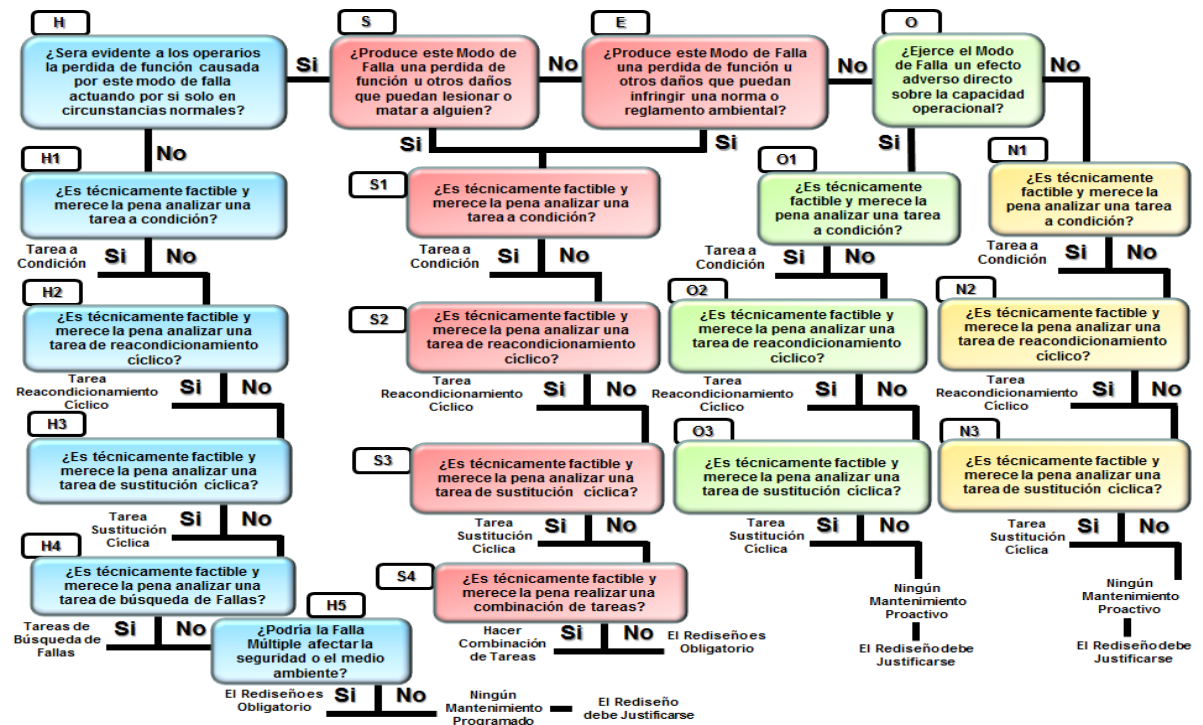
1.5. DIAGRAMA DE DECISIÓN DE RCM.

Una vez definidas las fallas, los modos de fallas y las consecuencias de las mismas de un sistema para un análisis por medio de RCM es necesario establecer una ruta de las actividades de mantenimiento que se deben ejecutar de acuerdo a la clasificación de la falla que se pueda presentar en cada uno de los equipos del sistema analizado.

El diagrama de decisión es la herramienta proporcionada para poder definir las tareas que se van ejecutar en el mantenimiento permitiendo seguir una secuencia lógica para las actividades de acuerdo a la clasificación de la falla y al impacto que la misma pueda llegar a tener. Así mismo se puede definir de acuerdo a la ruta de efecto de la falla, permitiendo que se clasifique como una falla oculta (H), consecuencias para la seguridad (S) o el medio ambiente (E), consecuencias operacionales (O) o no operacionales (N1)⁷.

⁷ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004. Pág. 202

Figura 3. Diagrama de decision RCM



tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

1.5.2. Tarea de reacondicionamiento cíclico. Son las relacionadas con la sustitución de componentes que llegan a cumplir el total de su vida útil y se puede sacar de servicio justo antes que ingrese a la zona de desgaste, permitiendo tomar acciones sobre el mismo antes que ocurra una falla, enfocado al restablecimiento de la capacidad de la pieza que ha sido sacada de servicio o de alguna cambiada. Estas acciones deben ser realizadas en un intervalo de tiempo fijo sobre algún componente sin importar su condición.

1.5.3. Tarea de sustitución cíclica. Consiste en aquellas tareas que se centran en el reemplazo de los elementos o componentes antes o en el cumplimiento de su vida útil, por nuevos sin tener en cuenta la condición de los mismos, ya que se hace por medio de la programación de estas actividades en un tiempo establecido, bien sea por conocimiento o generalmente recomendaciones de los fabricantes de los equipos que conocen la vida útil de los componentes que pueden ser clasificados en estas tareas de mantenimiento sin afectar la confiabilidad de los equipos.

1.5.4. Combinación de tareas. Esta actividad se presenta para algunos modos de fallas que no son frecuentes, pero que puede afectar el medio ambiente o la seguridad y que con la aplicación de un solo tipo de tarea permita mitigar el riesgo de la misma, por lo tanto, lo que se debe hacer es una unión de dos tipos de tareas de categorías diferentes, como lo puede ser el monitoreo por condición de algún componente, al tiempo que debe ejecutarse una acción de sustitución cíclica, permitiendo así reducir el riesgo de la consecuencia de la falla a un nivel tolerable.

Las frecuencias de este tipo de tareas deben ser independientes y con el tiempo apropiado para que no se mal interprete la aplicación de este tipo de tareas ya que

para su aplicación son poco presentadas para las fallas, sin embargo, puede ayudar a atender de manera oportuna una falla de acuerdo al diagrama de decisión.

1.5.5. Ningún mantenimiento programado. Debido a que la consecuencia que pueda tener la falla que en el diagrama de decisión no puede afectar ni la seguridad ni el medio ambiente, así como a nivel de costos comparados con la eficacia de la tarea no tienen impactos operacionales o no operacionales, quiere decir que no debe realizarse ningún mantenimiento, por lo tanto, los componentes se dejan en servicio y deben ser atendidos cuando los mismos presenten alguna falla funcional.

1.5.6. Rediseño. Aplica y amerita que se realice un estudio sobre los componentes, ubicación, modificación en el proceso, cambio total de la máquina, etc., por medio de las herramientas de las diferentes ramas de la ingeniería, permitiendo que haya una optimización en los equipos o maquinaria con el fin de eliminar las fallas que por medio del diagrama de decisión conlleva a pensar en el rediseño de la máquina o componentes estudiados para las actividades de mantenimiento que deben ejecutarse alrededor de las consecuencias de falla.

1.6. CONFIABILIDAD

La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimientos; fallan alguna vez.

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad se define cualitativamente como la cantidad de satisfacción, de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento, después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

1.6.1. Curva de confiabilidad. La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo t ; la otra forma de interpretarla es cuando se analizan varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t ⁸.

⁸ MORA, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Medellín: Alfaomega, 2009. Pág. 97

MARCO CONTEXTUAL

1.7. CENTROS PRODUCTIVOS DE QUALA S.A.

En la actualidad cuenta con dos centros de producción en Colombia, debido al constante crecimiento y expansión que ha tenido la empresa en los últimos años, de tal forma que se cuenta con: Centro Productivo de Venecia (CPV) ubicado al sur de la ciudad de Bogotá, en el barrio Venecia y con apertura desde el 2012 el Centro Productivo de Tocancipá (CPT).

Figura 4. Centro productivo de Toncancipá (CPT).

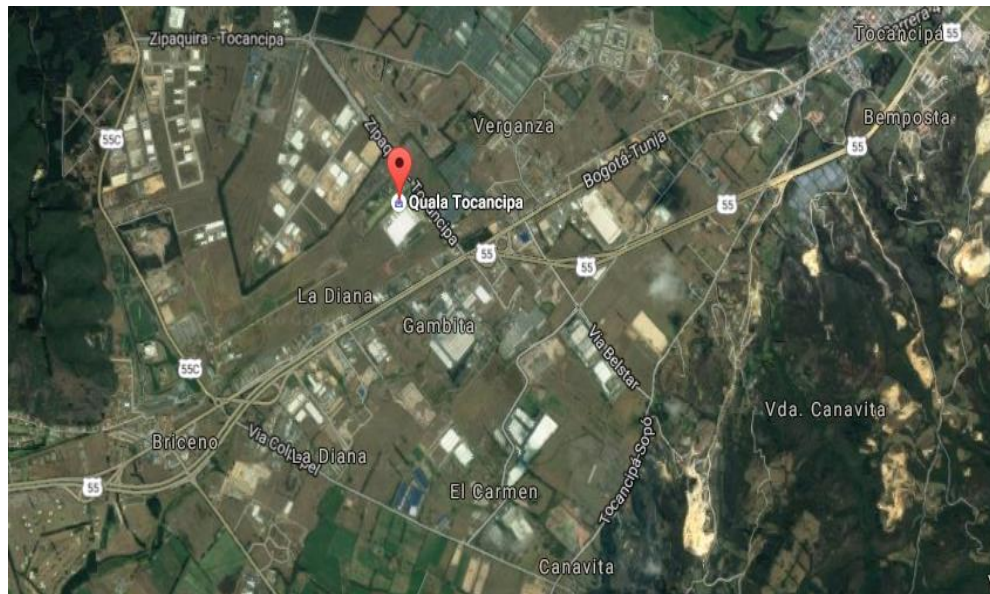


En el CPT se ubican plantas de productos como VIVE100 en todas sus presentaciones, Saviloe y Predator (Ready To Drink), Pulpifruta y Popetas.

1.8. UBICACIÓN CPT

El centro productivo CPT, se ubica a 500 m vía Autódromo del municipio de Tocancipá - Cundinamarca, desde la vía central Bogotá – Tunja.

Figura 5. Ubicación Geográfica Planta Popetas.



1.9. VALORES CORPORATIVOS

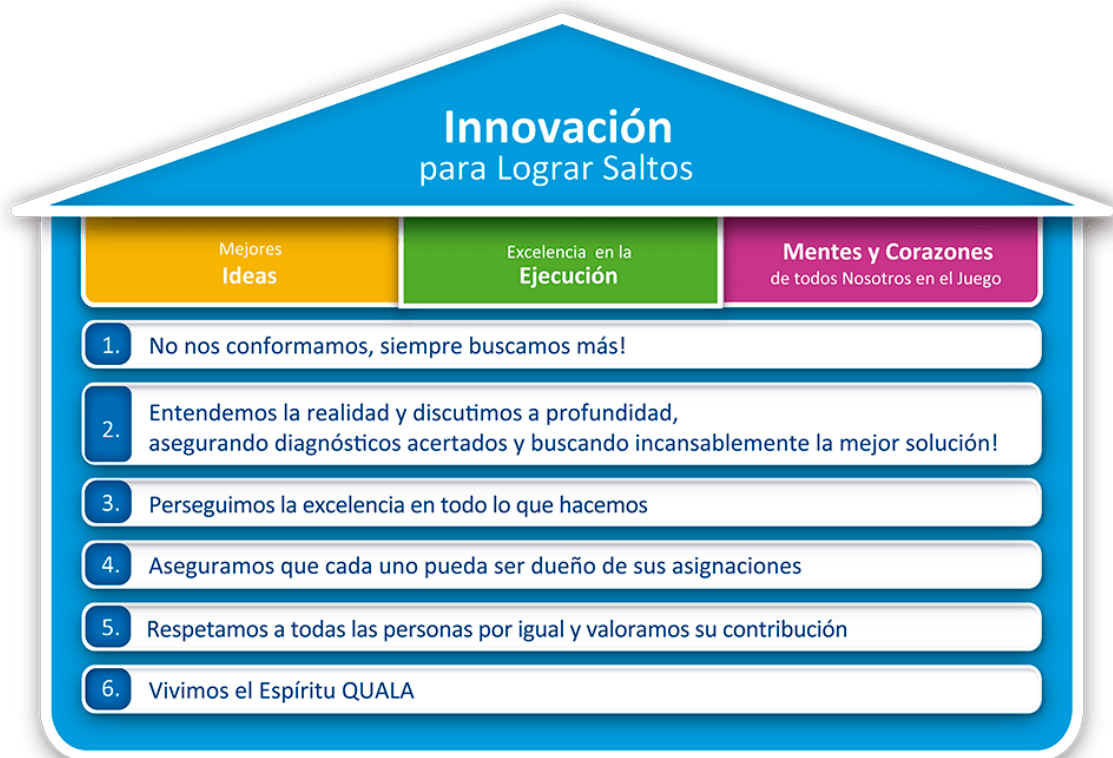
Tiene un techo que representa la INNOVACIÓN, que es el corazón de la cultura empresarial, ha sido el factor fundamental de éxito hasta el momento y es determinante para que la empresa pueda perdurar en el tiempo. Este techo esta soportado en tres pilares:

- Mejores ideas
- Excelencia en la ejecución
- Mentos y corazones de todos en el juego

Cada uno de estos pilares, es esencial, vital, no puede faltar ni fallar, para garantizar que el techo de la innovación sea posible y sostenible.

Estos pilares están soportados a su vez por seis “bloques” que representan los valores esenciales que son fundamentales para que tanto los pilares como el techo de la cultura empresarial sean firmes, en la Figura 6, se puede observar la estructura con la cual se plasma lo anteriormente nombrado.

Figura 6. Valores corporativos Quala S.A.



1.10. PROCESO PRODUCTIVO

Se identifican 5 áreas de producción: OSBL (Out Site Battery Limits) en la cual se encuentra todos los activos que prestan un servicio para la producción que no interfieren directamente en el proceso como tanques de almacenamiento, sistema de envío de insumos neumático, servicio de suministro de insumos a procesos, sistemas de limpieza CIP (Cleaning In Place); también se cuenta con Procesos Línea Dulce, Procesos Línea Sal, Envasado y Empaque.

1.10.1. OSBL. Como se describió en el punto anterior, en esta etapa del proceso se recibe, almacena por corto tiempo y se envían insumos participes de la elaboración del producto, un ejemplo de estos, es el sistema de transporte neumático de maíz, marca OGA, el cual cuenta con un equipo de izaje conocido como diferencial que puede ubicar en sitio hasta 1 tonelada de producto que descarga sobre una tolva en acero inoxidable teniendo una contrapresión con aire comprimido permitiendo el abastecimiento por medio de ductos en acero inoxidable sin costuro a los activos que participan directamente en el proceso.

Figura 7. Sistema de Transporte Neumático - Marca OGA.



1.10.2. Proceso Línea Dulce. Se encarga de la elaboración de maíz gourmet recubierto de caramelo, en el cual participa la mezcla para la obtención del caramelo, el explotado del maíz, la concentración del jarabe (separación de humedad del caramelo), recubrimiento del maíz estallado y el enfriamiento del mismo para que posteriormente sea envasado.

5.4.2.1. Condiciones y parámetros del proceso línea dulce. A continuación, se describe las condiciones y parámetros que se deben tener en cuenta para el proceso en línea dulce:

- Explosión de maíz

La explosión del maíz se genera por medio de un equipo llamado Popper el cual se alimenta por medio de un elevador de cangilones proveniente de una tolva donde se almacena temporalmente el maíz, el cual descarga a una nueva tolva para que ingrese el maíz con la ayuda de un tornillo sinfín al tambor de explosión del Popper. El equipo contiene dos sistemas que ayudan a la admisión de aire frío y se calienta por medio de un quemador permitiendo llevar a cabo la explosión del maíz. Para la explosión del maíz en el Popper el aire debe estar a una temperatura entre 214°C a 218°C, lo que permite regular el volumen con que es emitido el producto final para este punto del proceso. De acuerdo a la capacidad que se requiere en la planta el sistema se puede programar para distintos porcentajes de operación; al 32%, 38%, 45% o 52%. Para regular el flujo con que ingresa y sale el maíz en el Popper, se hace por medio de variadores de frecuencia que controlan la velocidad de alimentación y el tambor interno del mismo, lo cual se hace mediante las recetas programas en el PLC.

- Tamizaje

Es un subproceso que consiste en un equipo compuesto por un tambor, el cual tiene agujeros que permiten cernir el maíz, fabricado en acero inoxidable, que está soportado en cuatro ruedas que se accionan por medio de un eje conectado a una transmisión de un motorreductor.

- Banda de Elevación

Se encarga de transportar el producto explotado de manera vertical y posterior horizontal para ingresar al subproceso de recubrimiento en dulce del maíz, se compone de una banda de goma con estructura en acero inoxidable accionada por un motorreductor.

- Preparación del Caramelo

Consiste en dos marmitas que se calientan a 90°C fabricadas en acero inoxidable con sistema enchaquetado de vapor, anclas de agitación que giran a 400 RPM, instrumentación correspondiente del sistema con controles en lazo cerrado los cuales tienen como elemento final de control válvulas de apertura y cierre.

- Concentración del Caramelo

Tiene el principio de dos intercambiadores de calor concéntricos a un sistema de vapor enchaquetado el cual calienta una temperatura 153°C, evaporando componentes de agua que pueden dañar la calidad de recubrimiento del producto. Contiene dos bombas de lóbulos o desplazamiento positivo, válvulas proporcionales, de corte para vapor, mirillas y controles de temperatura.

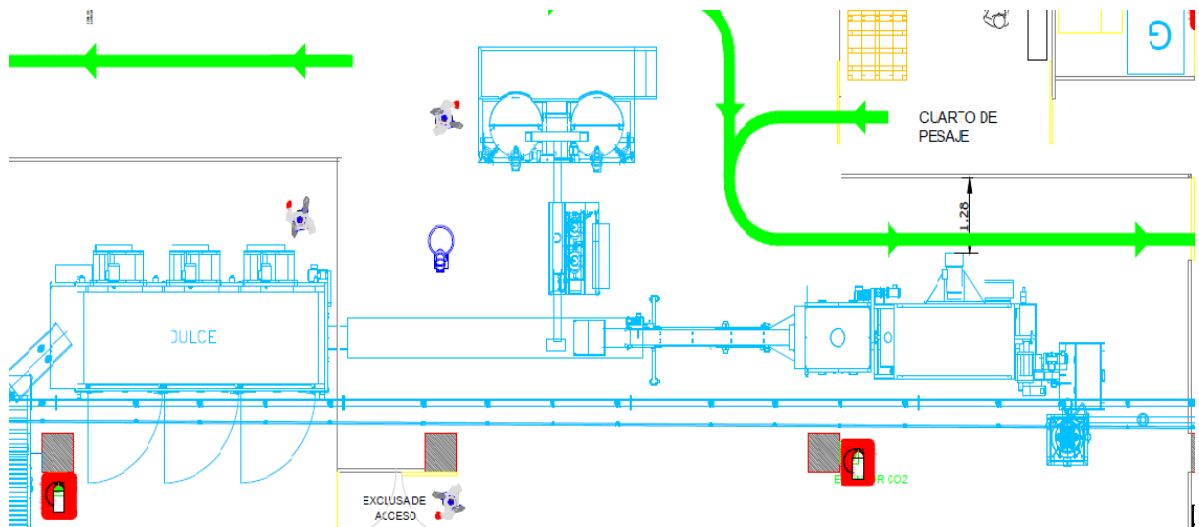
- Recubrimiento del producto

Las bombas de los concentradores envían caramelo a un flujo de 38 GPM, el cual recubre el maíz por medio de un tornillo sinfín y va desplazándolo de manera horizontal acompañado de una aspersion de lecitina para que no se adhiera un producto con otro. Este subproceso contiene un sistema enchaquetado con contenido de vapor a una temperatura de 90°C, el cual tiene como función principal evitar la cristalización del caramelo en el maíz.

- Enfriamiento

Consiste en una admisión de aire a temperatura ambiente a un tambor con agujeros que contiene baffles generando un transporte horizontal al maíz recubierto de caramelo permitiendo un estado de crocancia. Se compone de tres turbinas que giran a la misma velocidad de 400 RPM generando la admisión de aire alimentando al tambor, recolección de ripio, tamizaje de producto para clasificación de no conforme y sistema de extracción de aire. Posteriormente el producto conforme, es entregado a las bandas transportadoras que alimentan los equipos de envasado y empaque, de acuerdo a la delimitación propuesta no estan contemplados en el estudio del presente proyecto.

Figura 8. Layout Proceso Línea Dulce.



1.10.3. Proceso Línea Sal. Al igual que el proceso anterior se encarga de la elaboración de maíz gourmet con dos opciones de recubrimiento; sabor a mantequilla o queso, tiene el principio de explosión del maíz con la diferencia que el recubrimiento se hace con una mezcla de Slurry (adición de aceite lecitina con condimentos) con la ayuda de aspersores y una aspersion de polvos por medio de un sazonador.

5.4.3.1. Condiciones y parámetros del proceso línea sal. Se describe a continuación los parámetros y condiciones para el proceso de línea de sal, teniendo en cuenta que se emplea el mismo proceso hasta el de Tamizaje descrito en la línea de dulce:

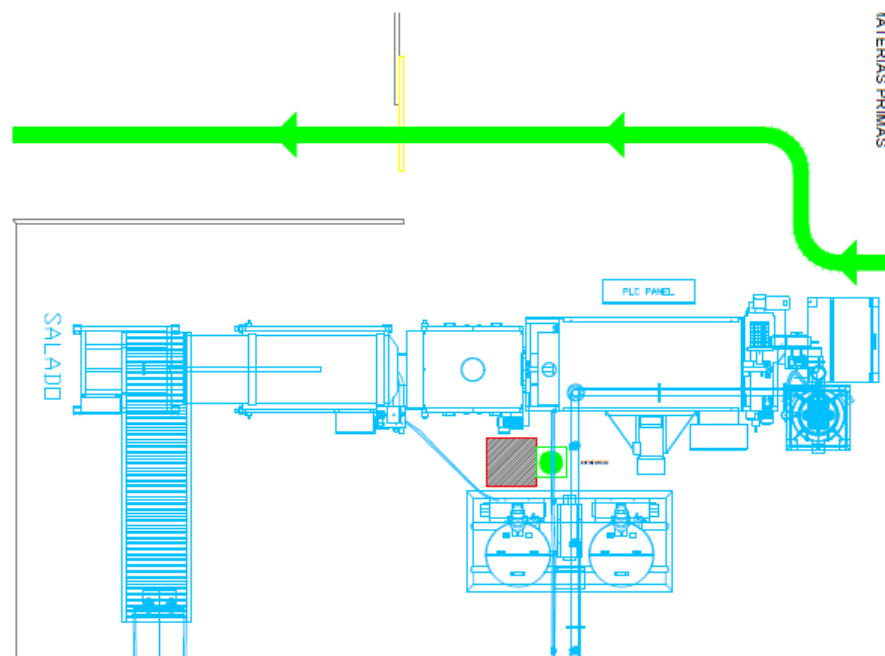
- **Preparación del Slurry**

Cuenta con dos marmitas enchaquetadas con agua, calentadas por resistencias, una es de preparación en la cual se mezcla polvos previamente preparados entre los que se encuentra aceite lecitina y otros componentes la cual se deja en un tiempo de 3 horas, con una agitación de mezcla a 400 RPM y una temperatura de 90°C. Posteriormente se hace un trasiego a una segunda marmita de consumo, que se encarga de una aspersion del Slurry (mezcla realizada en la anterior marmita) por medio de una bomba que gira a una velocidad 400 RPM, a través de una manguera con alma resortada que se conecta a aspersores ubicados en el tambor sazonador.

- **Sazonador**

Tambor que gira a una velocidad de 350 RPM, cumpliendo la función de aspersion del Slurry sobre el maíz que ingresa al mismo, permitiendo el proceso de recubrimiento del maíz de una manera homogénea con el sabor previamente preparado. Este equipo se complementa con un tornillo de aspersion ubicado al final del tambor, que gira a una velocidad de 420 RPM, el cual cuenta con una tolva que contiene condimentos y alimenta el tornillo, permitiendo la complementación del producto, para que pueda ser ubicado en la banda transportadora de elevación que dirige el producto hacia el proceso de envasado, la cual hace parte de este proceso y no es objeto del presente estudio.

Figura 9. Layout Proceso Línea Sal



1.11. ENVASADO

Se lleva el producto por transporte en bandas, donde se mezcla los productos salado y dulce para la presentación Mix o de manera individual, para que posteriormente sea pesado según la cantidad requerida en las distintas

presentaciones finales del producto. Las presentaciones ofrecidas al mercado son: familiar (213 gr), Mega Paquete (132 gr) y normal (70 gr).

Figura 10. Producto envasado.



1.12. EMPAQUE

Hay una participación menor de activos que se dedican a contar los paquetes que salen del proceso de envasado y con ayuda del personal se empacan en cajas o bolsas (según la presentación) para que posteriormente se encinte en el caso de las cajas, se apile en estibas y se recubran las mismas con vinipel.

Figura 11. Empaque de producto terminado.



1.13. EQUIPOS DE PROCESO PLANTA POPETAS

En la presente sección se realiza una descripción de los activos que intervienen en el proceso de producción de la planta de Popetas, planes de mantenimiento e histórico de fallas.

1.14. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LÍNEA DULCE

1.14.1. Popper. Es el equipo encargado de la explosión del maíz cuyo principio básico de funcionamiento es la inyección de aire caliente, el cual se admite por medio de una turbina suministrando el mismo desde un sistema de cámaras separadas calentadas mediante un quemador a gas natural o propano (LPE). Posteriormente, el aire caliente se suministra a la parte superior del equipo, en la cual va soportado un tambor que tiene un sistema de transmisión (acople motor-cadena-eje) girando en sentido horario, al cual ingresa el maíz a través de un sistema de alimentación por un elevador de cangilones, permitiendo la explosión al interior del tambor compuesto por baffles cumpliendo la función de transporte del maíz de manera horizontal a medida que va generando la explosión del mismo, debido al suministro de aire caliente, permitiendo la salida hacia el activo siguiente.

Figura 12. Popper.



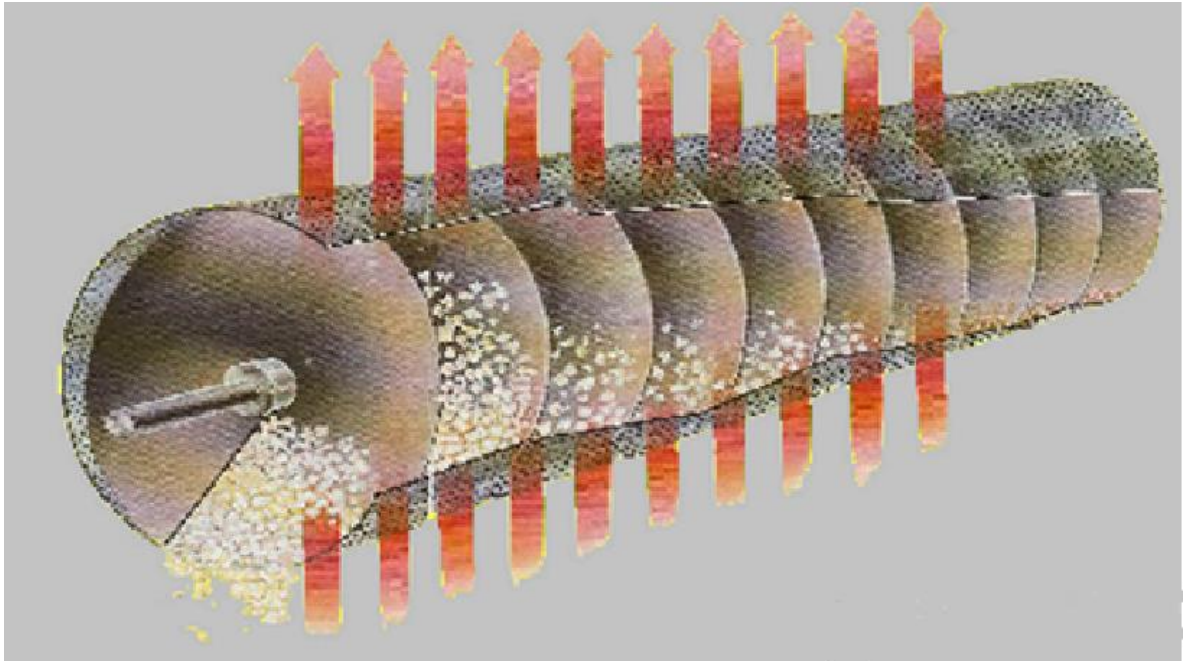
1.14.2. Elevador de cangilones. Cumple la función de suministrar materia prima a la tolva de alimentación. Está compuesto por una tolva inicial a la cual llega el maíz proveniente de un equipo de transporte neumático; la banda de cangilones accionada por un motor, se encarga de descargar la materia prima a la segunda tolva previa al ingreso del Popper.

1.14.3. Tolva de alimentación. Equipo encargado de alimentar el Popper con materia prima para el proceso de explosión de maíz, compuesto por un tornillo sinfín a su interior que gira de manera constante de acuerdo a la capacidad programada en el Popper.

1.14.4. Turbina de admisión de aire. Equipo encargado de la admisión del aire del ambiente para que posteriormente sea calentado por medio del quemador. Consta

de un ventilador acoplado a un eje por medio de un sistema de transmisión a un motor de 15 HP.

Figura 13. Tambor de Popper.



1.14.5. Tamiz. Está compuesto por un tambor mallado que contiene bafles impulsando el maíz, cuya función principal es cernir el mismo. Consiste en un motor de 1 HP que gira a una velocidad de 350 RPM, con su respectivo tablero eléctrico de control y fuerza, al cual se conectan microswitch de seguridad permitiendo detener el proceso en caso que se acceda a la cámara principal compuesta en acero inoxidable.

Figura 14. Tamiz.



1.14.6. Banda de elevación. Banda construida en fibra, con una longitud 3 m controlada por un motor de 1/2 HP que gira a una velocidad de 120 RPM y tiene acoplado un motorreductor de 165 Nm.

1.14.7. Marmitas. Es un recipiente encargado de la preparación del caramelo, enchaquetado en acero inoxidable, funciona con vapor permitiendo obtener el caramelo a una temperatura de 90°C, el cual tiene en su interior un agitador que gira a una velocidad de 400 RPM. La planta cuenta con dos equipos de estos para el suministro del caramelo.

Figura 15. Marmitas.



1.14.8. Concentradores. Se componen de concentradores de calor de tubos concéntricos conectados en serie, enchaquetados y operan a una temperatura de 153°C.

1.14.9. Recubridor. Lo compone un tornillo sinfín que permite el desplazamiento del maíz a medida que se recubre por medio de un ducto en el circula el caramelo y se esparce en su interior, está soportado en un eje con puntos de apoyo en los extremos, bujes especiales y su respectivo sistema de transmisión conectado por medio de una cadena a un motor de 5 HP. El maíz a medida que se desplaza descansa sobre una estrucutra la cual es calentada por medio de una chaqueta de vapor evitando la cristalización del producto.

En el medio y al final cuenta con dos aspersores tipo spray ball que cumplen la función de rocear una mezcla de aceite lecitina con el fin de evitar que el maíz se pegue entre sí.

Figura 16. Sazonador.



1.14.10. Enfriador. Cuenta con tres turbinas idénticas realizando una admisión de aire a temperatura ambiente, a medida que el maíz se transporta y cierne por el tambor, logra el enfriamiento del mismo. Cada turbina cuenta con su respectivo motor girando a una velocidad de 350 RPM y un sistema impulsado por correas.

Figura 17. Enfriador.



1.15. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LÍNEA DE SAL

A continuación se describen los equipos que intervienen en el proceso de preparación del producto en línea de sal, como se especificó en la descripción del proceso, el Popper y los equipos relacionados con el mismo son idénticos al proceso de línea dulce, por lo tanto, a continuación se especificarán los siguientes al proceso del Popper.

1.15.1. Marmitas de preparación. Cada equipo cuenta con un mezclador acoplado con un ancla accionado por medio de un motor eléctrico de 2 HP, que cuenta con un tablero eléctrico de control y fuerza permitiendo el comando del motor para que gire a la velocidad establecida, 400 RPM. La tubería sanitaria de las marmitas está compuesta en acero inoxidable y uniones SMS (Switch Manufacturing Standard), el

transporte del Slurry se hace por medio de bombas Waukesha de lóbulos referencia U1 las cuales cuentan con un variador para controlar la velocidad de transporte, cada bomba cumple una función específica entre las cuales están: recirculación, trasiego y envío de producto a los aspersores.

1.15.2. Tambor recubridor. Tambor por un motor eléctrico de 6 HP, el cual produce un giro al interior del mismo, compuesto por un sistema de aspas, sistema de aspersión, el cual se lleva a cabo por medio de una manguera con alma en acero de 1/2", llevando el Slurry a unas boquillas las cuales con ayuda de un sistema neumático realizan la aspersión en el maíz.

1.15.3. Sazonador. Es un equipo complementario al Tambor que se compone de un tornillo sinfín, el cual es accionado por un motor con un acople mecánico, cuenta con una tolva la cual contiene los polvos para la aspersión, que se descargan directamente en el tornillo llevándolos a unos agujeros de la camisa que contiene este último.

APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE RCM

1.16. TAXONOMÍA PROPUESTA

La taxonomía se definió con base a la recomendación dada en la norma ISO 142241, donde se tuvo en cuenta en la sección de Uso/Locación los niveles 4 (Planta / Unidad) y 5 (Sección/Sistema) para definir la misma. En cuanto a la sección de subdivisión de equipos, los niveles 6 (Unidad de Equipo) y 7(Sub-unidad) donde se permite describir sistema y subsistemas asociados a la planta. La planta no cuenta con una taxonomía, por lo tanto, los códigos descritos en la misma son parte del objeto del presente proyecto (ver Anexo 1).

1.17. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Quala, actualmente mide su eficiencia de planta de acuerdo a la programación de las máquinas de envasado que estén dentro de un plan de producción semanal (reprogramable a diario) y en donde el producto sea reportable a los Centros de Distribución Nacional (CDNs), cumpliendo todos los estándares de Calidad. Es decir, generalmente se dividen dos áreas de Producción dentro de cada planta, una es Procesos y la otra Envasado/Empaque; en la primera, se da la transformación de la materia prima e insumos, en la segunda, se envasa y empaca el producto terminado, poniéndolo a disposición para el área de Logística.

La compañía cuenta con licencias de un software llamado “QAD”, que de manera complementaria puede suplir funciones de ERP si se cuenta con todos los módulos. En este momento sirve para llevar un control interno sobre la gestión administrativa de planta; dando medición y registro sobre las transacciones en materias primas e insumos, pago a proveedores, facturación y demás temas contables. Sin embargo, también cuenta con el control de Producción en el que se lleva registro de las horas trabajadas, los fallos y motivos de los “down times” en las plantas, permitiendo medir

la eficiencia, además de la información del gasto y las toneladas de producto terminado.

La eficiencia es medida en horas/programa por cada máquina de envasado que esté operando sin tener complicación; a modo de ejemplo se expone el siguiente caso:

La planta de Popetas tiene programadas para el lunes primero de enero del 2018, siete máquinas envasadoras trabajando a diferentes formatos (mixto, familiar, mini, preventa, etc), en tres turnos de ocho horas cada uno; para un total de 168 horas, siendo un equivalente al 100% de eficiencia en la planta si todo operara sin ninguna interrupción. Pero como bien se sabe, la compañía tiene que destinar tiempo para el descanso de sus operarios y anticiparse a cualquier percance que esté dentro de una normal operación de los equipos (ajustes, aseos, cambios en las bobinas de laminados, mantenimiento autónomo, calistenia, comidas, etc.).

Por ende, se estima una restricción normal porcentual de la capacidad de cada máquina, que con el fin de ejemplificar, en este caso va a ser de 12,5% para el área de Producción y 6,8% para el área de Mantenimiento. Es decir, que para el total de 19,3% de paradas planeadas y no planeadas de la planta, representará una eficiencia real en horas de 135,58 y porcentual de 80,7% tal como se muestra en la tabla:

Tabla 1. Eficiencia por día planta Popetas

Eficiencia x día en planta Popetas	Horas/%
# Máquinas Programadas	7
Horas/Programa	24
Total Horas a 100% de eficiencia	168
Restricción en horas por Producción	21
Restricción en horas por Mantenimiento	11,42
Restricción % por Producción	12,50%
Restricción % por Mantenimiento	6,80%
Total Restricción en %	19,30%
Eficiencia Real en horas	135,58
Eficiencia Real en %	80,70%

De esa manera se mide la eficiencia en todas las plantas de Quala, en donde cada falla o restricción cuenta con un respectivo código para que sea tenido en cuenta a “nivel transaccional” en el software de Planificación de Recursos Empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), QAD.

Para el caso específico de la planta de Popetas, hay una afectación directa entre las dos áreas de Producción expuestas anteriormente; ya que la elaboración y el envasado de los productos se realizan en línea, en donde una parada de cualquier

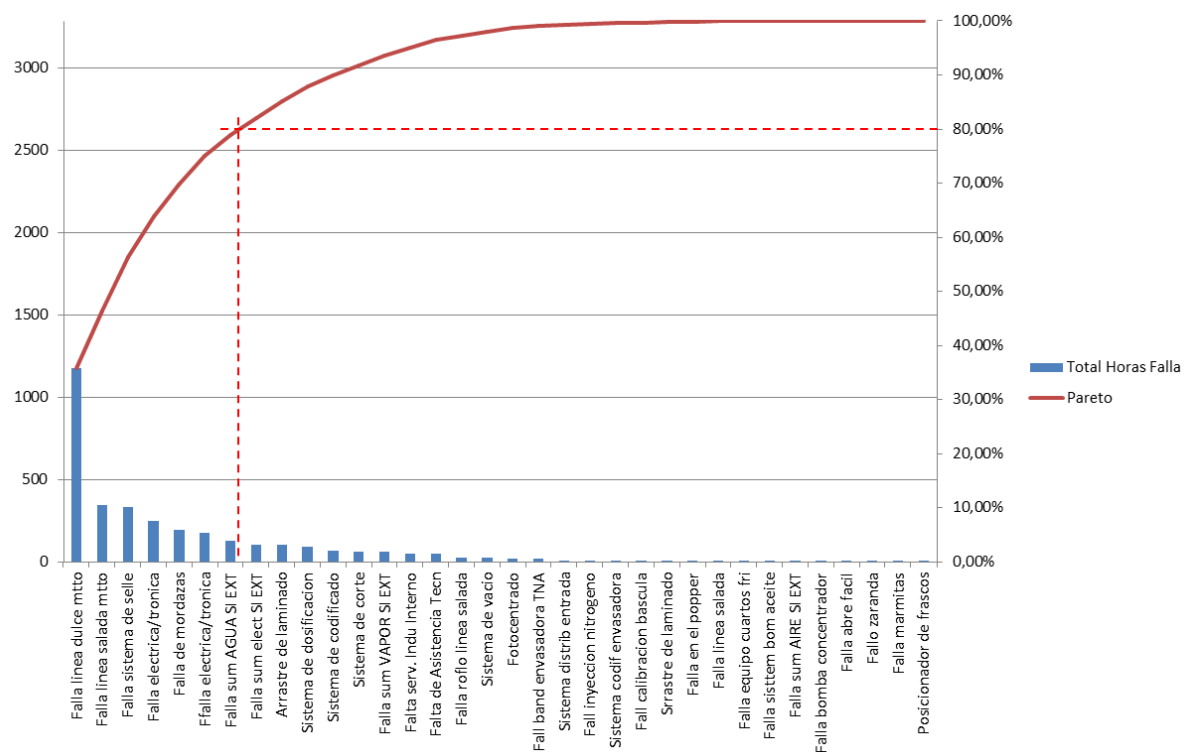
equipo catalogado como crítico o muy crítico genera una restricción importante en la eficiencia de la siguiente manera.

Un fallo del Popper de línea dulce (considerado equipo crítico), genera que las máquinas TNA Robag que estén envasando el maíz recubierto de caramelo generen un paro de igual cuantía o mayor al que se presenta en “Procesos, Línea Dulce”. Ya que la única manera de abastecer el área de envasado cuando hay falla en el área de Proceso, es guardando excesos de maíz que no se haya empacados, sin embargo, ésta alternativa no da un tiempo de vida útil al maíz mayor de 12 minutos en presentación recubierta de dulce y 8 minutos en la salada; lo anterior debido a que la humedad del ambiente afecta los parámetros de textura en crocancia del maíz.

Cuando se presenta un fallo en una de las máquinas TNA Robag, puede que no haya una afectación a las líneas de Procesos; pero en caso contrario, cuando se están envasando a una baja capacidad genera que el área de manera obligada pare.

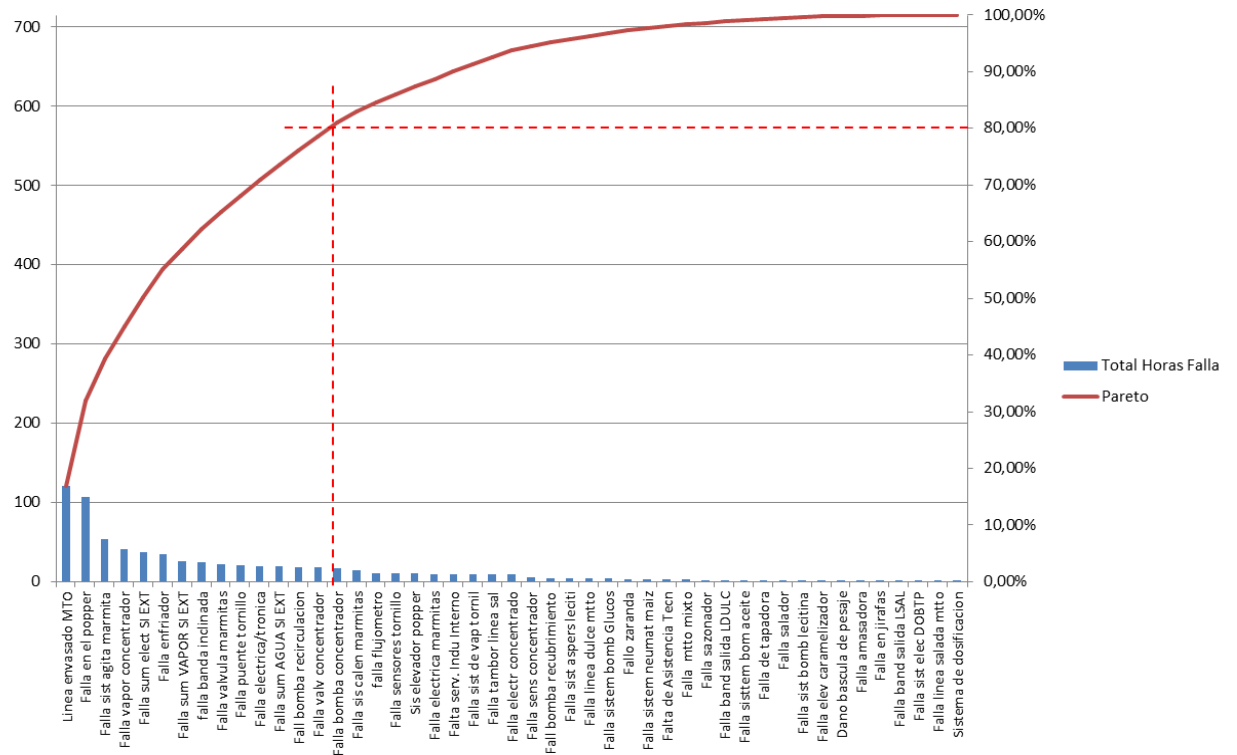
Con el fin de brindar un enfoque en términos concretos hacía el área de interés, que es reducir las principales paradas no planeadas de Mantenimiento en la planta de Popetas y que son inherentes a los fenómenos de falla en los equipos; la delimitación de la monografía parte de una relación con el histórico de fallas que se maneja en la compañía, extraído de QAD, organizándolo en los paretos mensuales que se muestran en el Anexo 2 y se resume en las siguientes gráficas, que son el resultado de consolidar la información a lo largo de 18 meses de trabajo; partiendo de enero del 2018 a junio de 2019.

Figura 18. Pareto Total planta Popetas.



La gráfica anterior representa el Pareto de paradas no planeadas de Mantenimiento del área de envasado a lo largo de 18 meses de producción, en la planta de Popetas. Donde el total de las horas de parada en el área es de 3282,83 y se debe a fallas relacionadas con el proceso de producción de línea dulce y línea salada. Con base en esta información se analiza un nuevo Pareto que permita discriminar los equipos que estén afectando el proceso de producción y generando la mayor cantidad de fallas.

Figura 19. Pareto Total proceso de producción Popetas.



De acuerdo a la gráfica anterior, se puede establecer que la mayor parte de las fallas presentadas en la línea de producción se asocian a los siguientes equipos: Popper, Enfriador y Evaporador de Caramelo, donde se concentran el 80% de las fallas y que serán objeto del análisis mediante la técnica de mantenimiento RCM. Se debe aclarar que no se está teniendo en cuenta para el análisis la falla identificada como Línea Envasado MTO, debido a que la participación de la misma refiere a una falla oculta de origen electrónico en la línea de envasado después de una parada anual de planta, aportando de manera significativa en la estadística de fallos que se está analizando en un período de tiempo de 18 meses, siendo una falla atípica y no correspondiente a la operación normal de la planta.

1.18. DESARROLLO DE FMECA

En primera instancia, se hizo una delimitación de fronteras para definir los sistemas y subsistemas que serán tratados para el análisis del FMECA (por sus siglas en inglés, Failure Mode Effects and Criticality Analysis), esto permite establecer los límites, concentrándose en el funcionamiento propio de los sistemas y subsistemas, objetos del análisis RCM, estableciendo los parámetros de funcionamiento principal y secundarios de los mismos, a fin de identificar las fallas y modos de falla propios, sin tener en cuenta aquellas variables o sistemas externos de los cuales existe una dependencia, como la alimentación eléctrica, suministro de vapor, aire comprimido, materia prima, entre otros, los cuales hacen parte de los sistemas OSBL, definidos en la taxonomía. A continuación se presenta el análisis de acuerdo a la clasificación de los equipos críticos:

Figura 20. Fronteras Popper.

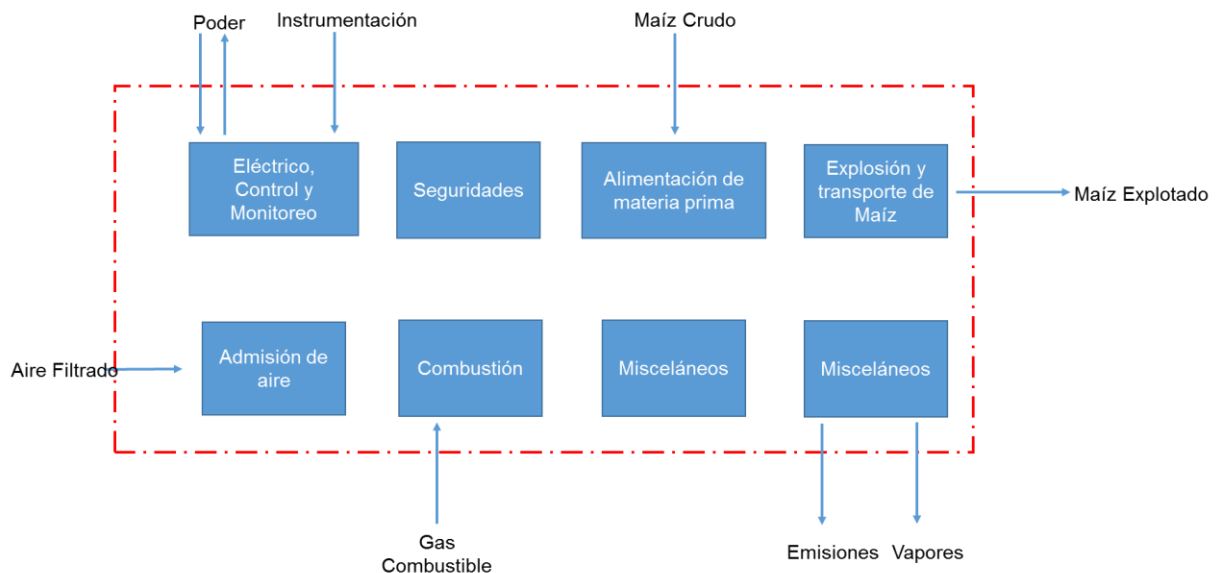


Figura 21. Fronteras Enfriador.

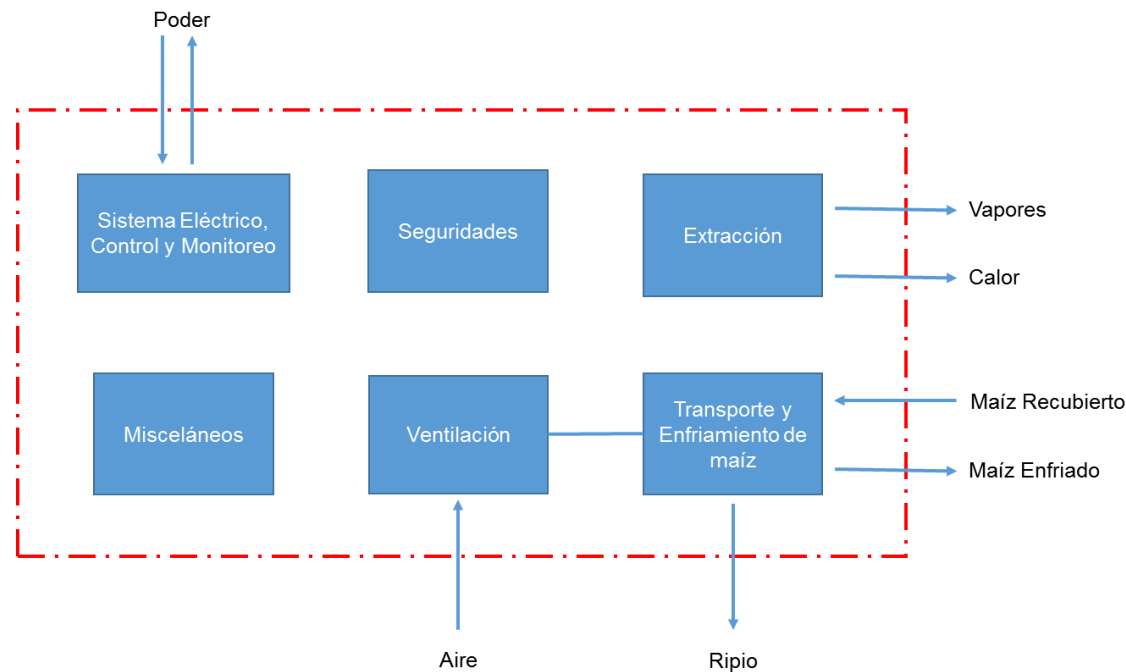
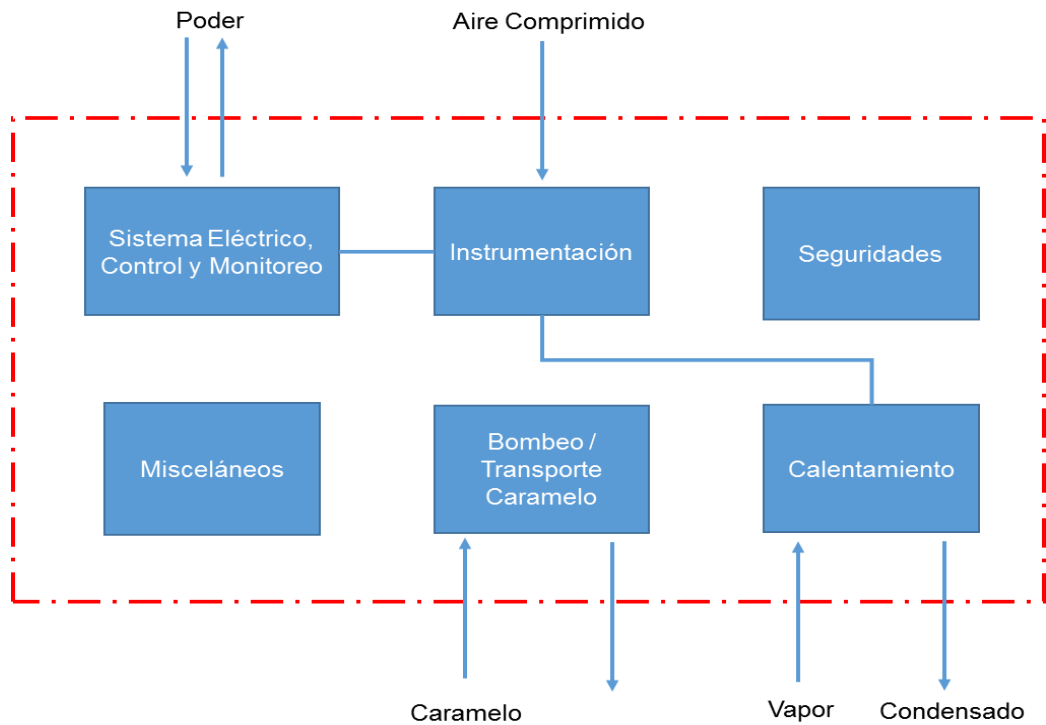


Figura 22. Fronteras Evaporador de Caramelo.



Para la aplicación del RCM se define un FMECA donde se especificaron las funciones principales y secundarias de cada uno de los sistemas y equipos clasificados como críticos de acuerdo a los Pareto analizados anteriormente. Teniendo claro la definición de falla funcional, que refiere a la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir con la función definida y deseada por el usuario, se procede a clasificar las fallas funcionales, fallas secundarias, modos de falla y efectos de falla, con base en la experiencia y levantamiento de información de los eventos presentados en planta, entendiendo que los modos de falla son los eventos que pueden provocar una falla funcional, así también los efectos de falla, que son la descripción de los sucesos que se evidencian cuando el modo de falla sucede (ver Anexo 3).

1.19. HOJA DE DECISIÓN RCM

Para cada uno de los modos de falla identificados en el FMECA, se hizo necesario establecer actividades orientadas hacia la eliminación de los mismos. En primera instancia, se evalúan las consecuencias de dichos modos de falla para establecer si estas se presentan a nivel de Seguridad, Medio Ambiente, Operacional o No operacional, la herramienta usada para establecer dichas consecuencias fue el diagrama de decisión de RCM.

Por ser la primera vez que se analiza la gestión del mantenimiento con base en los principios de RCM, se ubica cada modo de falla en una sola categoría de consecuencia, es decir, si el modo de falla tiene consecuencia a nivel ambiental no se evaluará a nivel operacional, esto para todos los modos de falla identificados.

Una vez evaluadas las consecuencias de las fallas, se procedió a revisar el tipo de tareas que deben aplicarse a los mismos de acuerdo a lo establecido deben ser de por condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o rediseño. Así mismo, para cada tarea se establece un intervalo inicial de ejecución de la misma,

de acuerdo a la categorización de las fallas y se sugiere el responsable de la ejecución de las actividades, todo esto establece el total de la hoja de decisión para los sistemas clasificados como críticos (ver Anexo 4).

CONCLUSIONES

La clasificación de criticidad establecida con base en la eficiencia total de la planta, analizado mediante un Pareto, permitió definir que los activos más críticos en la planta Popetas son: Popper, Enfriador y Evaporador de Caramelo.

Definiendo la taxonomía a través de los sistemas, subsistemas y equipos, facilita tener una identificación estándar, donde interrelaciona de manera efectiva la ubicación y proceso al cual pertenece cada activo. Esta actividad puede ser replicada a todos los activos de la compañía para estandarizar el total de las plantas de Quala S.A.

Al establecer las funciones principales y secundarias, de los sistemas clasificados como críticos dentro de la planta, aporta que sea de conocimiento general de las áreas involucradas en el proceso de producción y mantenimiento, con el fin de entender los parámetros de funcionamiento asociados y el estado en que se deben preservar los activos, aportando de manera complementaria a la implementación de TPM que se adelanta en la Compañía.

Dentro de las actividades sugeridas en el Enfriador es el cambio de los ejes del tambor, para lo cual se sugiere hacer la planificación adecuada de la actividad donde involucre la consecución de los recursos económicos requeridos, gestión con terceros y capacitación y suministro de herramientas necesarias para el personal de mantenimiento.

El resultado de las hojas de decisión, sugieren actividades complementarias a las realizadas hoy en día por el departamento de mantenimiento y reorganización de las actualmente ejecutadas, permitiendo llevarlas a cabo con el personal actual del área.

BIBLIOGRAFÍA

ACADEMIA. (s.f.). Mantenimiento. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/4597702/Tipos_de_mantenimiento_y_RCM

ACIEM, M. Normatividad aplicada a construcción taxonómica y árbol de equipos para mantenimiento. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: https://issuu.com/memorias_conferencias_aciem/docs/memorias_conf_int_fim_07_feb_2017

ANONIMO. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: https://www.academia.edu/21150000/UNIVERSIDAD_VERACRUZANA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_MECANICA_ELCTRICA_FUNDAMENTOS_DE_MANTENIMIENTO_CENTRADO_EN_CONFIABILIDAD_MONOGRAFIA_QUE_PARA_OBTENER_EL_TITULO_DE_INGENIERO_MECANICO_ELECTRICISTA_PRESENTA

ANONIMO. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/37071909/Libro_Mantenimiento_Alberto_Mora_1ed_1_

CRAFT, R. and LEAKE, C. (2002). The Pareto principle in organizational decision making. Management Decision, 40(8). Minnessota: MCP UP Ltd 2002 pp.729-733

CRETORS. Cretors- Home Page. [En Línea] [Consultado el 15 Julio de 2019]
Disponible en: <http://www.cretors.com/>

GASCA, Maira C, CAMARGO, Luis L, & MEDINA, Byron. [En Línea] [Consultado el 07 Julio de 2019]. Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. Información tecnológica, 28(4), 111-124. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400014>

GOOGLE BOOKS. Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods. [En Línea] [Consultado el 07 Julio de 2019] Disponible en: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=IkL8CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=reliability+centered+maintenance&ots=Jlj5cc9Hpx&sig=t83zUIDpFUsEdgm_zs8gJxT_WRc&redir_esc=y#v=onepage&q=reliability%20centered%20maintenance&f=false

GOOGLE. The basics of FMEA - Google Search. [En Línea] [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <https://www.google.com/search?q=The+basics+of+FMEA&oq=The+basics+of+FMEA&aqs=chrome..69i57j0l4.569j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>:

MORA, Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Medellín: Alfaomega, 2009.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Lutterworth: Aladon, 2004

QUALA. Nuestra Gente | Quala. [En Línea] [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <http://www.quala.com.co/colombia/nuestra-gente/>

QUALA. Popetas | Quala. . [En Línea] [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <http://www.quala.com.co/colombia/nuestras-marcas/snacks/popetas/>

RAUSAND, Marvin. Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications. Hoboken: Wiley, (2014)

RELIABILITYWEB. El Camino hacia el RCM - Reliabilityweb. [En Línea] [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>

RELIABILITYWEB. Análisis ISO 14224 /OREDA - Reliabilityweb. [En Línea] [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/analisis-iso-14224-oreda> [Accessed 25 Aug. 2019].

RELIABILITYWEB. Manejo de la Información. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: https://reliabilityweb.com/assets/uploads/art/PDF/manejo_de_la_informacion.pdf

YOUTUBE. Diagrama de Pareto: Qué es y cómo se hace. Ejemplo práctico paso a paso. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=vd7QVKpW27Q>

ZAPATA, J. M. [En Línea]. [Consultado el 25 Agosto de 2019] Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4220/JoseMiguel_Zapata_2011.pdf;jsessionid=CB2125A019D53BB95A7DA55CC1BF66E1?sequence=1