

**DISEÑO DE LOS PILARES “MEJORA ENFOCADA” Y “MANTENIMIENTO
AUTÓNOMO” EN EL ÁREA DE EMPACADERO DEL INGENIO RIOPAILA
CASTILLA**

**AURA MARÍA MARTÍNEZ PINEDA
JOSÉ LUIS CHACÓN AGUIRRE**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2018**

**DISEÑO DE LOS PILARES “MEJORA ENFOCADA” Y “MANTENIMIENTO
AUTÓNOMO” EN EL ÁREA DE EMPACADERO DEL INGENIO RIOPAILA
CASTILLA**

AURA MARÍA MARTÍNEZ PINEDA

JOSÉ LUIS CHACÓN AGUIRRE

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial

Director: Msc. Raúl Antonio Díaz Pacheco

UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2018

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Palmira, febrero de 2018

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. METODOLOGÍA	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. MARCO REFERENCIAL	16
6. MARCO TEÓRICO.....	18
6.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	18
6.1.1 Definición:	18
6.1.2 Objetivos del mantenimiento:	18
6.1.3 Tipos de mantenimiento	19
6.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	19
6.2.1 Definición:	19
6.2.2 Objetivos del TPM:	20
6.2.3 Pilares del TPM	20
6.3 MANTENIMIENTO AUTONOMO	22
6.4 MEJORA ENFOCADA.....	23
6.4.1 EFICIENCIA GLOBAL DEL EQUIPO (OEE):	24
6.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS.....	24
7. GRUPO AGROINDUSTRIAL RIOPAILA CASTILLA S.A	25
7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	25
7.2 PROCESO PRODUCTIVO	26
7.3 LINEAS DE PRODUCCIÓN	28
7.4 PROCESO DE EMPAQUE DE AZÚCAR	29
8. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	30
8.1 PROBLEMAS COMUNES DEL ÁREA DEL EMPACADERO	30
8.2 IDENTIFICACIÓN DE LA LÍNEA A ESTUDIAR	32
8.3 FALLAS Y AVERÍAS DE LA LÍNEA FAMILIAR.....	36
8.4 PRODUCIDO (EMPACADO) VS PLANEADO	39
8.4.1 Identificación de causas	40
8.5 VARIACIÓN DEL PESO DE LAS REFERENCIAS	41
9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTONOMO	46
9.1 FASE I. LOGRAR LAS CONDICIONES BÁSICAS DEL EQUIPO	46
9.1.1 Limpieza inicial	47
9.1.2 Eliminar fuentes de contaminación y lugares inaccesibles	50
9.1.3 Establecer estándares de limpieza, lubricación, ajuste e inspección	50
9.2 FASE II. IMPLANTACIÓN TOTAL DE INSPECCIONES	52
9.3 FASE III. KAIZEN EN MÉTODOS DE TRABAJO	52
10. MEJORA ENFOCADA.....	54

10.1	PRODUCCIÓN NIVELADA	60
10.2	AUTOMATIZACIÓN CON ENFARDADORAS	65
10.2.1	<i>Modelo de programación lineal entera mixta (MILP)</i>	66
10.2.2	<i>Elección de la mejor alternativa</i>	75
11.	SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA ENFOCADA	77
11.1	ESTRUCTURA DE LA SIMULACIÓN.....	78
11.2	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	82
12.	CONCLUSIONES.....	87
	REFERENCIAS.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cumplimiento de la producción de azúcar planeada - Semestre I/2017..	32
Tabla 2. Escala de puntuación para las calificaciones del AHP	34
Tabla 3. Calificación de las alternativas en cuanto al criterio Indisponibilidad	34
Tabla 4. Comparación entre los criterios de evaluación del AHP	35
Tabla 5. Resumen de los resultados del AHP para cada uno de los expertos por línea	35
Tabla 6. Cantidades empacadas y planeadas para la línea familiar en el I Semestre de 2017	39
Tabla 7. Resumen estadístico para la presentación de 1 Kg	42
Tabla 8. Resumen Estadístico para Presentación 1 kg (Eliminando el valor atípico)	43
Tabla 9. Costo por exceso de azúcar para cada presentación	45
Tabla 10. Tipos de actividades que deben realizar los departamentos de producción y mantenimiento	51
Tabla 11. Takt time por proceso y por referencia para la línea familiar	62
Tabla 12. Tiempos de ocupación de cada recurso del empacadero	63
Tabla 13. Origen de los parámetros utilizados para el desarrollo de los escenarios de los modelos de programación lineal (Fuente: Elaboración propia)	66
Tabla 14. Justificación de las restricciones utilizadas en el MIPL	68
Tabla 15. Comparación entre los resultados obtenidos y la realidad del primer semestre de 2017	69
Tabla 16. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario 1 y escenario 2 del MIPL I - semestre de 2017 (Fuente: Elaboración propia)	72
Tabla 17. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario 2 y escenario 3 del MIPL I - semestre de 2017 (Fuente: Elaboración propia)	75
Tabla 18. Entidades utilizadas en el modelo de simulación	79
Tabla 19. Variables utilizadas en el modelo de simulación	80
Tabla 20. Atributos utilizados en el modelo de simulación	80
Tabla 21. Resultados de la simulación	82
Tabla 22. Cumplimiento de la demanda Real Vs Simulación	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos del departamento de mantenimiento.	18
Figura 2. Pilares de TPM.	21
Figura 3. Incidencia geográfica de Riopaila Castilla S.A.	25
Figura 4. Proceso productivo de azúcar en Riopaila Castilla S.A.	27
Figura 5. Productos fabricados en Riopaila-Castilla S.A - Planta Castilla.....	28
Figura 6. Diagrama del área del empacadero Planta Castilla.....	28
Figura 7. Proceso de empaque de azúcar de la línea familiar.	29
Figura 8. Árbol de jerarquías para el AHP.....	33
Figura 9. Técnica 5W-2H para los problemas de la línea familiar del empacadero.	40
Figura 10. Diagrama Ishikawa de los problemas de la línea familiar del empacadero.	41
Figura 11. Histograma de frecuencias para la presentación de 1 Kg.	43
Figura 12. Histograma de frecuencias para la presentación de 1 Kg eliminando el valor atípico.....	44
Figura 13. Pasos para implementar el mantenimiento autónomo	47
Figura 14. Socialización inicial sobre TPM y 5's.....	48
Figura 15. Tarjeteo de elementos de poco uso o en desuso.....	49
Figura 16. Jornada de limpieza del entorno de trabajo.....	49
Figura 17. Preguntas para la evaluación de los estándares.....	53
Figura 18. Pasos para implementar la mejora enfocada	54
Figura 19. Equipo de mejoramiento.....	56
Figura 20. Evaluación de las dificultades o problemas.....	57
Figura 21. Celdas de manufactura, escenario inicial.....	60
Figura 22. Celdas de manufactura, escenario propuesto.....	61
Figura 23. Diseño espacial de la propuesta de enfardadoras.....	79
Figura 24. Cantidad de azúcar empacada.....	82
Figura 25. Unidades (Fardos) procesados en cada máquina.....	83
Figura 26. Utilización (%) de las máquinas.....	84

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. FORMATO DE REGISTRO DE ANOMALÍAS ACTUAL	91
ANEXO B. CAUSAS PERTENECIENTES A LA CATEGORÍA "OTROS"	93
ANEXO C. FORMATO DE TARJETA ROJA TPM	94
ANEXO D. PROPUESTA DE ESTÁNDAR DE LIMPIEZA, INSPECCIÓN Y LUBRICACIÓN	95
ANEXO E. TARJETAS TPM PARA DEMARCACIÓN DE ANOMALÍAS.....	96
ANEXO F. REGISTRO DEL TEMA DE MEJORA	97
ANEXO G. KNOW-WHY PARA EL EMPACADERO	98
ANEXO H. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO ACTUAL.....	99
ANEXO I. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO 2	101
ANEXO J. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO 2	103
ANEXO K. FORMATO DE SEGUIMIENTO AL PLAN DE MEJORA ENFOCADA.....	105

GLOSARIO

AHP: Significa en español “Proceso Analítico Jerárquico” es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas

Confiabilidad: Es la probabilidad que el equipo o proceso funcione bajo ciertos parámetros establecidos.

Disponibilidad: Tiempo total durante el cual el equipo está operando sin contratiempos.

Indisponibilidad: Contrario a la disponibilidad, es el tiempo durante el cual el equipo no está disponible para la correcta operación.

JIPM: Instituto Japonés de Mantenimiento en Plantas, es el creador del TPM

MIPL: Sus siglas traducen en español “Modelo de programación lineal entera mixta”. Es una técnica que permite modelar y resolver problemas cuya característica principal es que los resultados factibles arrojan variables tanto discretas como continuas.

TPM: Sus siglas significan en español “Mantenimiento Total Productivo”, es una metodología japonesa orientada a crear un sistema organizacional orientado a la maximización de la eficiencia total del sistema productivo.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento se define generalmente como una serie de actividades técnicas que garantizan que los equipos puedan hacer su trabajo en el momento que se requiera, además están orientadas a reducir y corregir las fallas que estos presentan. Inicialmente, los operarios eran quienes se encargaban de todas las tareas de mantenimiento de los equipos, pero conforme pasó el tiempo, la complejidad de los equipos aumentó y los tiempos dedicados a estas actividades de mantenimiento también aumentaron, razón por la cual, decidieron crear departamentos de mantenimiento que en un comienzo se encargaban solo de la prevención de fallas, pero luego evolucionaron para empezar a prevenirlas.

Por otra parte, mientras unas industrias se preocupaban por el mantenimiento preventivo, habían otras que se esforzaban por ser menos intensivas en mano de obra, es decir, se automatizaron con la inversión en nuevos equipos más sofisticados, esta tendencia hacia la automatización estimuló el interés en la gestión del mantenimiento en las industrias que aún no estaban a la vanguardia, a partir de ahí nace el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y toma fuerza, ya que se desarrolla como una estrategia de mantenimiento orientada a la mejora continua y al aumento de la efectividad de los equipos a partir de la eliminación de sus pérdidas, fallos y paros imprevistos; esto se logra gracias a la participación de todos los empleados desde la operación hasta la alta gerencia, quienes aportan ideas y conocimientos en la medida de sus capacidades.

El ingenio Riopaila Castilla, una empresa dedicada a la producción y comercialización de azúcar, particularmente en el empacadero de la planta Castilla, las máquinas presentan problemas de disponibilidad debido a las fallas y a sus tiempos de identificación y solución, lo que no le ha permitido alcanzar las metas de producción propuestas, por esta razón, se decide diseñar una propuesta de mejora basada en los pilares de TPM mejora enfocada y mantenimiento autónomo que de ser implementada les permita acercarse al cumplimiento de sus objetivos de productividad y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos con productos de calidad. En el presente documento se realiza un análisis del área del empacadero de la Planta Castilla utilizando herramientas de la ingeniería industrial, con el fin de detectar las falencias que se presentan y a partir de ahí generar propuestas de cambios que permitan mejorar los indicadores del área. Para el pilar de mantenimiento autónomo, se diseñará un programa que servirá como base para la posible posterior implementación de parte de los directivos de la empresa. Por su parte, para el pilar de mejora enfocada se generan propuestas a partir de conceptos de la ingeniería industrial y se evaluará la mejor alternativa mediante un análisis financiero básico para posteriormente simularla mediante un software con el objetivo de tener los resultados potenciales de la implementación de la propuesta.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas que se proponen ser competitivas en su mercado, deben tener disponible al máximo todos sus recursos e insumos, de manera que se pueda satisfacer las demandas cambiantes y tener una productividad elevada. Sin embargo, la situación del ingenio Riopaila Castilla, en cuanto a la disponibilidad y confiabilidad de todos los recursos e insumos en el área del empacadero de la planta Castilla no es la deseada; el área carece de actividades estandarizadas de mantenimiento básico que deben realizar los operarios, como actividades de limpieza e inspección, orden y desalojo, además tienen una tasa de ausentismo laboral del 21%, lo que genera pérdida de la productividad por falta de disponibilidad, tanto de las máquinas e insumos como de la mano de obra. El indicador de disponibilidad es de 86,52%, una cifra que a simple vista es alta, pero que al utilizarlo como uno de los tres componentes para calcular la Eficiencia Global del Equipo (OEE), es significativamente bajo, puesto que para obtener un OEE mínimo de 85% de acuerdo con el indicador de clase mundial planteado por Seiichi Nakajima, se requiere que mínimo cada uno de los componentes (disponibilidad, rendimiento y calidad) alcancen un 95%.

Los operarios realizan su función bajo su experiencia, no se les han asignado labores básicas de mantenimiento para prestar “primeros auxilios” a la máquina en caso de que tenga una falla mínima, sino que deben esperar a que alguien del personal de mantenimiento se acerque al área para dar solución. Las fallas y/o averías de las máquinas se generan por desconocimiento del equipo o por un estado indeseado del entorno de las máquinas. Adicionalmente, el tiempo medio de reparación, conocido como MTTR, se incrementa debido a que el operario no sabe en la mayoría de ocasiones qué fue lo que ocurrió, y el personal de mantenimiento debido a su función no cuenta con el tiempo suficiente para revisar y atender todas las fallas que se presentan, por lo que dentro de este indicador no se incluye solo el tiempo que dura la reparación sino también lo que tarda el mecánico en llegar a solucionarla. La identificación, análisis, y seguimiento de las fallas y sus causas, se hacen indispensables para establecer acciones de mejora, pero en el área del empacadero, no se lleva un registro y control eficaz de las fallas, solo se llena un formato (anexo A) en el que se escribe qué falló y un aproximado del tiempo que estuvo la máquina averiada, generando incapacidad de establecer acciones que eliminen las fallas de raíz.

La confiabilidad de los equipos, que según Modarres y otros en 1998, se puede definir como la capacidad que tienen los equipos de continuar operando hasta que se alcance la meta propuesta, tampoco es la esperada en esta área, de acuerdo

con lo expresado por Laura Franco, coordinadora del empacadero, se espera una confiabilidad del 95% y actualmente se encuentra en 88,3%.

Al no disponer el tiempo completo de las máquinas empacadoras y del personal, esta situación se convierte en una restricción al momento de lograr la producción planeada, la cual en el primer semestre de 2017 alcanzó solo el 71,3% trayendo como consecuencia la imposibilidad de suplir las necesidades de algunos clientes, que se convierte en una mala imagen de la organización, es por tal motivo que se debe aumentar la disponibilidad de los recursos permitiendo el alcance de los objetivos de producción y así, satisfacer las necesidades de los clientes en las cantidades solicitadas.

A partir de este planteamiento surge la siguiente pregunta ¿Qué estrategia se debe diseñar con el fin de aumentar la disponibilidad de los equipos y a su vez la productividad del área del empacadero?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar los pilares “Mejorada enfocada” y “Mantenimiento autónomo” del Mantenimiento Productivo Total (TPM) con el fin aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos del área del empacadero del ingenio Riopaila Castilla S.A.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual de los equipos críticos del área del empacadero, de acuerdo a los requisitos de los pilares mejora enfocada y mantenimiento autónomo.
- Elaborar propuestas para la estructuración del programa de los pilares mejora enfocada y mantenimiento autónomo para el área del empacadero.
- Evaluar la eficacia del programa propuesto mediante la simulación de las mejoras en el área del empacadero del ingenio Riopaila Castilla.

3. METODOLOGÍA

Para desarrollar el diagnóstico de la situación actual del empacadero se realizaron reuniones presenciales con los directivos a cargo de esta área, con el fin de obtener los datos que permitieron el cálculo de indicadores como disponibilidad y confiabilidad de los equipos, así como los tipos de fallas que se presentan, el MTTR, el MTBF; con esta información se determinaron los equipos críticos mediante un proceso analítico jerárquico (AHP) que se ejecutó en conjunto con el personal implicado en el proceso. Se elige el método AHP debido a que permite la participación de varias personas interesadas y expertas en el proceso (coordinador de empacadero, supervisor del área, jefe de mantenimiento, etc.), además captura aspectos subjetivos y objetivos de una decisión, y verifica la consistencia de las puntuaciones dadas por cada interesado, reduciendo el error en la decisión final (índice de consistencia). Adicional a las reuniones, se realizaron visitas con el fin de conocer el proceso, evidenciar la problemática personalmente y saber los puntos de vista de los colaboradores del área, teniendo en cuenta que son ellos quienes están en constante contacto con la operación.

Para la elaboración de las propuestas de los programas se partió de un análisis del diagnóstico realizado mediante la aplicación de diferentes herramientas como diagramas de Pareto, espina de pescado, entre otras, y se utilizaron conceptos estadísticos que en conjunto con la búsqueda de bibliografía relacionada con modelos TPM aplicados, contribuyeron a la estructuración del programa de los pilares mejora enfocada y mantenimiento autónomo para el área de empacadero.

Particularmente, para la propuesta de diseño del pilar de mantenimiento autónomo, se exponen las sugerencias para llevar a cabo cada uno de los pasos del pilar, de acuerdo con la metodología de Seiichi Nakajima, el fundador y pionero en el TPM; por su parte, para el pilar de mejora enfocada, se revisaron temas propios de la ingeniería industrial como el Takt Time y la automatización y se decidirá la mejor opción a partir de la aplicación de las propuestas en un modelo de programación lineal y posteriormente un análisis financiero.

Finalmente, para la evaluación de la eficacia del programa se realiza una simulación de la mejora propuesta mediante la utilización del software Arena Master Development; se recurre a la simulación debido a que las propuestas de mejora tienen un grado de complejidad alto para implementarlas y medir sus resultados. Se simula el mismo periodo de tiempo que se analizó para así poder hacer una comparación adecuada de los resultados obtenidos.

4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surge de la necesidad del área del empacadero del ingenio Riopaila Castilla de diseñar un programa de mantenimiento con características que incluyan a toda la organización ya que las condiciones actuales no cumplen con las necesidades y metas del área. Se pretende que la empresa a partir de este proyecto pueda implementar posteriormente los dos primeros pilares del TPM. Es importante que la empresa logre materializar el proyecto puesto que se espera que luego de una inversión en tiempo y recursos humanos y financieros, el área pueda disminuir las fallas y averías que actualmente presentan, elevando la productividad y consiguiendo así alcanzar las metas de producción propuestas. Además pueden tener estructurado un plan de mantenimiento que involucre el personal de la operación y los mecánicos bajo estándares claramente definidos que permitirán un control sobre la cantidad y calidad de mantenimiento tanto preventivo como correctivo realizado; finalmente permitirá que los trabajadores estén motivados con sus funciones y empiecen a adquirir habilidades que les permitan sugerir mejoras en el área y a comprometerse con mantener los equipos a cargo bajo condiciones óptimas de operación

Se decide utilizar TPM en lugar de otras herramientas de la ingeniería, ya que esta se considera una herramienta integral, que con su aplicación no solo mejora el área productiva en aspectos como la fiabilidad de los equipos, o reducción de costes por mantenimientos, inventarios o mejora de la tecnología, sino que también trae consigo beneficios organizacionales y de seguridad. Organizacionales puesto que mejora la calidad del ambiente de trabajo al incrementar la moral y motivación de los colaboradores, se crea una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto para con la empresa y las herramientas y equipos de trabajo, además de un ambiente de participación y colaboración con redes de comunicación eficaces desde la gerencia hasta los técnicos y operadores. Finalmente, en cuanto a la seguridad, se crea una cultura de prevención de incidentes dentro del lugar de trabajo, se incrementa la capacidad de identificación de problemas y los operadores y técnicos logran entender la razón de ser de ciertas normas ya que se hacen partícipes en su creación.

En conclusión, si el empacadero de la planta Castilla logra implementar los dos primeros pilares del TPM, no solo conseguirá la base para implementar el resto de los pilares TPM sino que se suplirán las necesidades en cuanto a productividad, efectividad, menores costos de mantenimiento, colaboradores comprometidos y por supuesto, una buena imagen de la organización, teniendo en cuenta que el área de empaque es la encargada de entregar el producto final.

5. MARCO REFERENCIAL

Jorge Luis Ávila Vázquez, Juan Bautista de León Benítez, Erenio González Suárez en su artículo Valoración del impacto del mantenimiento-reparación, calidad y medio ambiente para la extracción del azúcar crudo en un complejo agroindustrial en el 2012, concluyen que con una implementación de tecnología de mantenimiento-reparación, se incrementa la cantidad de azúcar crudo extraída y el número de producto final elaborado, además de lograr un ambiente que garantiza la integridad física y mental de los colaboradores. Todo lo anterior se traduce en mayor productividad por parte de las máquinas y trabajadores, respondiendo en una mayor proporción a la demanda de los clientes, reducción de costes asociados a reparaciones y no disponibilidad de máquinas, e incremento de los ingresos asociados a una mayor elaboración de productos terminados.

Yeiny Jiménez Ruiz en su trabajo de grado presentado en el año 2012, presenta una propuesta de mejora bajo la filosofía TPM, utilizando diferentes herramientas ingenieriles, como la metodología de las 5'S, Sistemas Andon, entre otros, como base y soporte de la propuesta, por lo que podría servir de referencia y de base para la realización del primer pilar "Mejora enfocada", la conveniencia de aplicar ciertas herramientas, y las ventajas de utilizarlas.

Diego Alejandro Sánchez Pérez y July Andrea Lozada Arias en su trabajo de grado titulado "Estructuración del mantenimiento productivo total (TPM) como herramienta de mejoramiento continuo en la línea de inyección de aluminio fábrica de motores y ventiladores Siemens S.A." en el año 2013, proponen una metodología para la implementación de un programa de TPM, que sirve de referencia para conocer más sobre los procesos y pasos que se deben de realizar para llevar a cabo una buena implementación de las bases de los pilares "Mejora enfocada" y "Mantenimiento Autónomo". Por otra parte, concluyen que el factor humano es la base para que sea exitosa la implementación del TPM, por lo que generación de motivación será fundamental para el cumplimiento de nuestros objetivos establecidos.

Francisco Javier Cárcel Carrasco en su artículo "La incidencia del factor humano en el mantenimiento" en el año 2016, evidencia por qué el factor humano es tan importante en el entorno del mantenimiento y cómo puede afectar el correcto funcionamiento de los equipos y máquinas, además de perjudicar superficies y trabajadores al propiciar accidentes. Es un elemento clave para que el sistema y/o programa de mantenimiento sea exitoso y cumpla con sus objetivos planteados. Agrega que a este factor no se le ha dado el peso relativo que se merece, especialmente en las pequeñas y medianas empresas, en esta investigación sirve de base, para realizar el análisis de los trabajadores, de sus acciones y la causa de estas, aumentando potencialmente la disponibilidad de los equipos.

Francisco J. Cárcel C. en su artículo “Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento” en el año 2016, concluye que las estrategias de mantenimiento deben de perdurar en el tiempo, por lo que la disciplina por parte de toda la organización es indispensable; por otra parte, para que estos sistemas tengan los efectos deseados se requiere una gran implicación especialmente del área de mantenimiento y producción. Este artículo, es una guía para la descripción general de las actividades que se deben llevar a cabo en para que el programa de mantenimiento autónomo permanezca en el tiempo.

Dionicio N. Reinaldo, John Willmer E., Rafael G. García C y Fabricio A. Niebles A, en su artículo “A mathematical model for the producto mixing and lot-sizing problema by considering stochastic demand” del año 2016, desarrollan un modelo de dos etapas, la primera para escoger las referencias a producir y las unidades a producir de éstas referencias, en la segunda etapa para asignar referencia y cantidad de ella a máquinas, según su tiempo de operación, disponibilidad, defectuosos, entre otros. Por lo tanto, este modelo es útil para identificar parámetros y variables que integren la propuesta modelo, y analizar a priori el posible impacto que pueden tener en el mismo.

Toskano Hurtado, en su artículo “El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores” muestra todo el procedimiento para la utilización de esta herramienta, el cumplimiento de los estándares de consistencia, explicando las razones por las cuáles se deben hacer, las conclusiones de la selección de la alternativa y el análisis de sensibilidad que se puede generar de este método. Este es un aporte para el desarrollo del AHP para la selección de la línea a la cual se debe enfocar este trabajo, y generar comentarios sobre la ponderación de alternativas y criterios y sus impactos en el resultado final.

Juan Duanmu y Kevin Taaffe, en su artículo “Measuring manufacturing throughput using takt time analysis and simulation” muestra el procedimiento de calcular el takt time por estación de trabajo, del cual se puede calcular el de los productos, y los beneficios que trae consigo operar al ritmo del takt time; por lo tanto, este artículo nos sirve de guía para el cálculo del takt time de las estaciones y presentaciones a analizar, además, de determinar qué tan lejos se está de lo esperado, que en este caso, es operar al ritmo de la demanda.

Panagiotis H. Tsarouhas, en su artículo “Equipment performance evaluation in a production plant of traditional Italian cheese”, muestra la teoría del Overall Equipment Effectiveness (OEE), las fórmulas para hallar cada uno de los factores: disponibilidad, desempeño y calidad, y su aplicación en una línea de producción de mozzarella. Además, calculan los indicadores MTTR y MTBF para cada máquina y el correspondiente a la línea, se muestran conclusiones correspondientes a estos indicadores. Por lo tanto, este artículo sirve de base para realizar los cálculos e interpretaciones de los indicadores a utilizar en este trabajo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

6.1.1 Definición:

Francisco Rey Sacristán en su libro “Manual de mantenimiento integral en la empresa” define el mantenimiento como “el conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas, instalaciones y organización de una línea de producción pueden desarrollar el trabajo que tienen previsto en un determinado plan de producción”; además menciona que “las actividades de mantenimiento deben orientarse a reducir al mínimo posible la indisponibilidad de las instalaciones y a eliminar sus disfuncionamientos que, aunque sean breves, distorsionan la continuidad del proceso productivo y la calidad de los productos”. Por esta misma línea, Rey, Souris y Dixon, afirman que “el mantenimiento industrial es una actividad estratégica dentro de los órganos tácticos de las empresas”.

6.1.2 Objetivos del mantenimiento:

El principal objetivo del mantenimiento no es reparar una falla lo más rápido posible, por el contrario, es evitar a toda costa que esta falla suceda. Según Santiago García Garrido en su manual sobre ingeniería de mantenimiento los objetivos que debe tener un departamento de mantenimiento en una empresa se pueden resumir en la figura 1.



Figura 1. Objetivos del departamento de mantenimiento.
Fuente: Modificado de (García, 2009)

6.1.3 Tipos de mantenimiento ¹

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

- *Mantenimiento correctivo*: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento.
- *Mantenimiento preventivo*: Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.
- *Mantenimiento predictivo*: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.
- *Mantenimiento en uso*: es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

6.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

6.2.1 Definición:

Según Mónica Gómez Santos en su libro “mantenimiento productivo total. Una visión global”, el TPM “es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda

¹ (Garrido, 2003)

a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costes, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministro, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales”

Inicialmente, el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) planteó el TPM únicamente para la parte productiva de la organización, sin embargo, según Tokutaro Suzuki en su libro “TPM en industrial del proceso” menciona que en 1989 el JIPM introdujo los siguientes componentes estratégicos en la definición de TPM:

- Crear una organización corporativa que maximice la eficacia de los sistemas de producción.
- Gestionar la planta con una organización que evite todo tipo de pérdidas (asegurando cero accidentes, cero defectos y cero averías) en la vida entera del sistema de producción.
- Involucrar a todos los departamentos en la implantación del TPM, incluyendo desarrollo, ventas y administración.
- Orientar decididamente las acciones hacia las “cero pérdidas” apoyándose en las actividades de los pequeños grupos.

6.2.2 Objetivos del TPM:

Francisco Rey Sacristán menciona en su libro “Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo” que el TPM tiene como finalidad “El mantenimiento de estándares y la búsqueda permanente de la mejora de los mismos con el fin de mejorar los comportamientos técnicos de un proceso, a través de una implicación concreta y una participación diaria de todos los miembros y funciones de la organización en particular de todas las relacionadas con el proceso productivo”

6.2.3 Pilares del TPM²

El TPM contaba inicialmente con seis pilares que sirven de apoyo para la construcción de un sistema productivo bajo esta metodología, estos pilares se pueden observar en la figura 2.

² (Garrido, 2003)

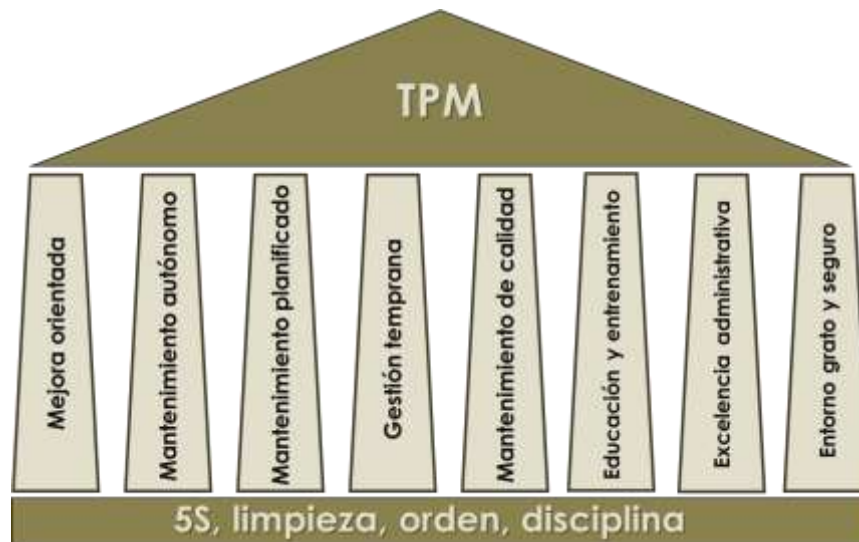


Figura 2. Pilares de TPM. (Fuente: Modificado de Sacristán, Francisco))

Hoy en día, la gestión temprana y la excelencia administrativa también son consideradas como pilares del TPM.

- *Mejora orientada*: Se basa en la realización de actividades que maximicen la eficacia global de los equipos a través de una eliminación radical de pérdidas.
- *Mantenimiento autónomo*: Son todas las actividades de mantenimiento realizadas por el departamento de producción que pretenden mantener la planta operando de forma eficiente.
- *Mantenimiento planificado*: Es una actividad metódicamente estructurada y desarrollada entre los equipos de mantenimiento autónomo (producción) y los pertenecientes al departamento de mantenimiento con el fin de mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costes.
- *Gestión temprana*: Incluye las actividades que aseguran que el equipo de producción sea fácil de usar y mantener, altamente fiable y con óptima ingeniería. Con tales equipos, es más fácil asegurar la calidad de los productos.
- *Mantenimiento de calidad*: “Consiste en realizar sistemáticamente y paso a paso actividades que garantizan en los equipos las condiciones para que no se produzcan defectos de calidad”

- *Educación y entrenamiento:* Son actividades basadas en la creación de entornos capaces de responder positivamente a los cambios del negocio, en cuanto a tecnología, equipos y todo tipo de innovaciones.
- *Excelencia administrativa:* Son actividades que incluyen únicamente a los departamentos administrativos de la empresa, quienes a través de la mejora de las actividades contribuyen a la eficacia del sistema de producción.
- *Entorno grato y seguro:* Actividades encaminadas a asegurar la fiabilidad del equipo, evitar los errores humanos, y eliminar los accidentes y polución son algunos de los pilares básicos del TPM.

6.3 MANTENIMIENTO AUTONOMO

El mantenimiento autónomo es uno de los 8 pilares del TPM, está compuesto por una serie de actividades que deben ser realizadas por los operarios como por ejemplo, mantenimientos de rutina que evitan el deterioro acelerado de los equipos, ayudando a mejorar las condiciones básicas de este. Dentro de las actividades están la limpieza, inspección, lubricación, reparaciones menores y análisis de fallas y averías que permitan mantener el equipo trabajando bajo las mejores condiciones.

De acuerdo a la literatura consultada se definen como los objetivos principales del mantenimiento autónomo los siguientes:

- Prevenir el deterioro acelerado de los equipos mediante la operación e inspección correcta de estos.
- Establecer estándares y mantenerlos para que el equipo opere bajo las condiciones básicas y no se requieran mantenimientos de emergencia.
- Generar en los operarios nuevos conocimientos y habilidades para el análisis y solución de problemas de la operación.
- Lograr en los operarios un sentido de pertenencia hacia los equipos, que cada quien realice las actividades correspondientes motivados para ser mejores.

De acuerdo con Seiichi Nakajima en su libro “Introducción al TPM”, los pasos para llevar a cabo el mantenimiento autónomo se resumen como sigue:

Limpieza inicial: Limpiar para eliminar el polvo y la suciedad, lubricar y apretar pernos, descubrir problemas y corregirlos.

Contramedidas causadas por las causas y efectos de la suciedad y el polvo: Prevenir las causas del polvo, suciedad y polución, mejorar las áreas difíciles de limpiar y lubricar.

Estándares de limpieza y lubricación: Establecer estándares que permitan la ejecución en menor tiempo de los procesos de limpieza, inspección, lubricación y apretado de pernos.

Inspección general: Con esta inspección se generan instrucciones para establecer las condiciones básicas del equipo encontradas en los pasos anteriores.

Inspección autónoma: Desarrollar e implementar listas de chequeo para el mantenimiento autónomo.

Organización: Evaluar los estándares propuestos con el fin de tener sistematizado todo el mantenimiento.

Mantenimiento autónomo pleno: Desarrollos de políticas de mejora continua del programa de mantenimiento autónomo establecido.

6.4 MEJORA ENFOCADA

De acuerdo con Suzuki en su libro “TPM en industrias del proceso”: “La mejora orientada incluye todas las actividades que maximizan la eficacia global de equipos, procesos y plantas a través de una intransigente eliminación de pérdidas y la mejora de rendimientos.” “...Finalmente, es importante entender que en las industrias de proceso la actividad de mejora orientada no se dirige exclusivamente a los elementos individuales del equipo, sino que más bien los grupos de mejora deben dar prioridad a los problemas que elevan la eficacia del conjunto de la planta o proceso.”

El objetivo principal de la mejora enfocada es identificar y cuantificar toda clase de pérdidas para eliminarlas y reducirlas, dando prioridad a todos los problemas que incrementen la eficiencia global del equipo.

6.4.1 Eficiencia Global del Equipo (OEE):

La Eficiencia Global del Equipo (OEE) es un índice que se utiliza para medir la eficiencia productiva de los recursos implicados en un proceso industrial. Su cálculo se establece con la ecuación desarrollada por Seichi Nakajima y presentada de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia Global de Producción} = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia} \times \text{Calidad}$$

Nakajima también establece que el mínimo esperado de OEE para una industria TPM se establece en 85%, por lo que para lograrlo el resultado de sus componentes debe estar como mínimo en 95%

6.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS

Según José F. Puche F., Juan J. Andrés C., Joaquín Gómez G., Ricardo López V., Sebastián Santa V., Jesús Sanz P. en su trabajo denominada “Guía práctica para la simulación de procesos industriales”, expresa que la simulación es “una herramienta de gran ayuda a la hora de disminuir los riesgos y optimizar la toma de decisiones empresariales, la evaluación de inversiones en tecnología, personal e instalaciones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos de la empresa. En concreto, presenta importantes posibilidades en su aplicación a instalaciones y procesos industriales, logísticos, de transporte o de servicios”.

VENTAJAS EN LOS TRABAJOS DE INGENIERÍA

José F. Puche F. et al., mencionan que las ventajas en los trabajos de ingeniería son:

- Es un sistema cómodo y sencillo para estudiar sistemas complejos.
- Se pueden controlar mejor las diferentes acciones a tomar que en la realidad.
- Representa la incertidumbre dentro del sistema.
- Los tiempos de análisis son reducidos.
- El sistema real no es interrumpido para el análisis de los cambios propuestos.
- Es un estudio rápido de muchos "¿qué pasaría si...?"

7. GRUPO AGROINDUSTRIAL RIOPAILA CASTILLA S.A

Riopaila Castilla S.A. es una empresa agroindustrial fundada hace 98 años, que se dedica a la producción y comercialización de azúcar, miel, alcohol, energía y palma.

Este proyecto se desarrollará en la planta Castilla, particularmente en el área del empacadero.

7.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La empresa cuenta con dos plantas fabriles, una ubicada en el Km1 vía La Paila, Zarzal (Planta Riopaila) y la otra en el KM 30 vía Cali- Florida (Planta Castilla).

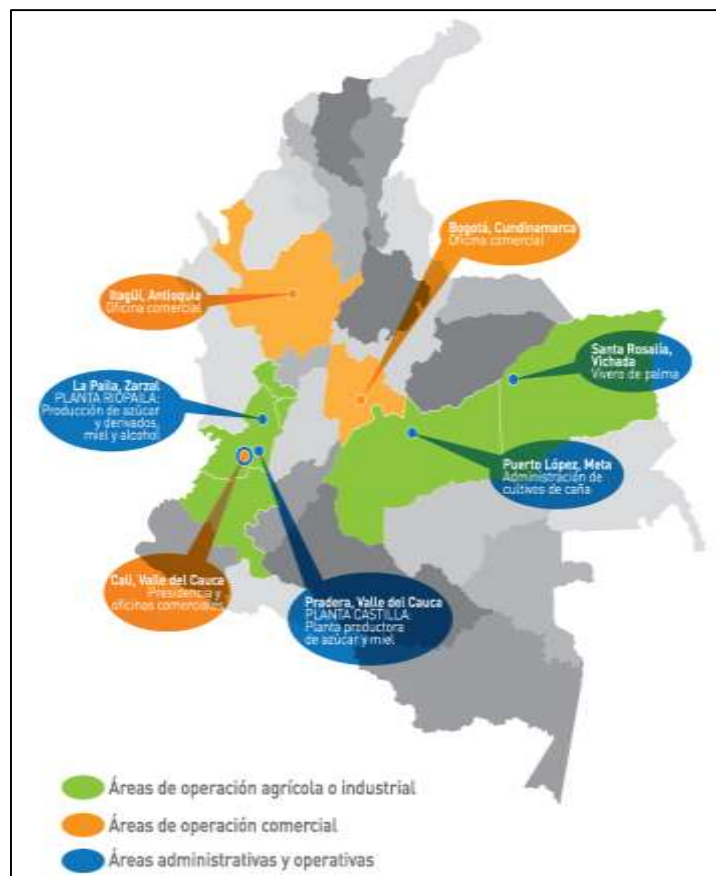


Figura 3. Incidencia geográfica de Riopaila Castilla S.A (Fuente: www.riopaila-castilla.com)

7.2 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de producción de la caña de azúcar inicia en el campo, lugar en el que se adecúa el suelo para la posterior siembra de la semilla de caña, la cual mediante labores como fertilización y aplicación de madurantes genera la caña de azúcar. El crecimiento y maduración de la caña dura aproximadamente un año, después de este tiempo la caña está lista para ser cosechada ya sea manual o mecánicamente, y ser enviada a la planta de producción.

Dentro de la planta, la caña es transportada a través de mesas conductoras hacia una serie de molinos los cuales se encargan de extraer el jugo de caña que posteriormente será utilizado para obtener el azúcar y un subproducto denominado bagazo mediante el cual se alimentan las calderas que generan energía para el funcionamiento del proceso. El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores que se encargan, mediante altas temperaturas de bajar el PH para producir azúcar blanco; el siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores con el fin de separar los lodos provenientes del cultivo del jugo claro, a partir de este proceso se genera cachaza, que es el residuo del lodo y el jugo que continúa procesándose.

El jugo se evapora con el fin de extraer la mayor cantidad de agua posible y obtener un subproducto denominado meladura de caña, esta meladura pasa por un proceso de cocimiento y cristalización en tachos al vacío, dentro de los cuales se forman cristales de azúcar a partir de la sacarosa de la caña de acuerdo con las especificaciones dadas, en esta etapa se genera azúcar crudo. Los cristales de azúcar se separan de la meladura, en las centrifugas y luego se lavan con agua, las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en la destilería u otros procesos que requieran melaza de caña.

Si se requiere azúcar blanca refinada, el siguiente proceso es la refinería, ahí, se disuelve el azúcar crudo nuevamente y se filtra hasta obtener licor de azúcar claro, este licor es evaporado y empieza nuevamente la cristalización de los granos. Una vez obtenido el azúcar refinado o el azúcar blanco se pasa por un proceso de secado para disminuir el porcentaje de humedad generado en el centrifugado.

Finalmente, el azúcar blanco o refinado se lleva a las tolvas de almacenamiento para su posterior empaque, distribución y consumo.



Figura 4. Proceso productivo de azúcar en Riopaila Castilla S.A. (Fuente: Informe de sostenibilidad, 2011)

7.3 LINEAS DE PRODUCCIÓN

En el área de empackadero de la planta Castilla (ver figura 6), se tienen tres líneas de empaque, la industrial conformada a su vez por tres básculas, la cual empacka sacos de azúcar blanco y refino de 25 Kg y 50 kg, la línea Big Bag en la que se empacka azúcar blanco o refino en presentaciones de 600 kg y 1000 kg y la línea familiar que cuenta con 7 máquinas, esta tiene la capacidad de empackar azúcar refino en presentaciones de 1lb, 1lb americana (450g), 1 Kg, 2,5 Kg y 5 Kg pero las que se empackan con mayor frecuencia son las de 500g, 450g y 1Kg y muy esporádicamente la de 2,5Kg.



Figura 5. Productos fabricados en Riopaila-Castilla S.A - Planta Castilla (Fuente: Elaboración propia)

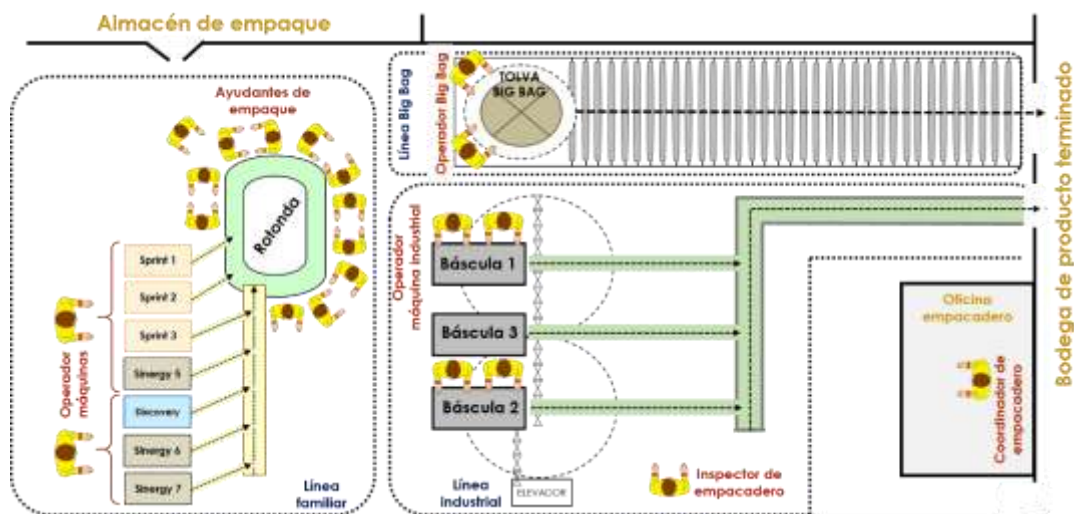


Figura 6. Diagrama del área del empackadero Planta Castilla (Fuente: Elaboración propia)

7.4 PROCESO DE EMPAQUE DE AZÚCAR

Las líneas de empaque Industrial y Big Bag tienen un proceso de empaque sencillo, en el cual se pone el saco correspondiente debajo de la máquina dispensadora, se espera que se llene y para el caso de la línea industrial un operario cose el saco, mientras que, para la Big Bag, dos operarios se encargan de cerrar el saco con nudos, y posteriormente pasan a la bodega de almacenamiento.

Por su parte la línea familiar, tiene un proceso con más cantidad de elementos puesto que cuenta con 7 máquinas, las cuales se encargan de pre empacar el azúcar en pequeñas presentaciones, estas pasan por una banda transportadora hacia una rotunda donde se encuentran los ayudantes encargados de empacar las pequeñas presentaciones en sacos de azúcar de mayor peso y posteriormente son cosidos para finalmente ser almacenados en la bodega de producto terminado; este último proceso se puede evidenciar mejor en la figura 7

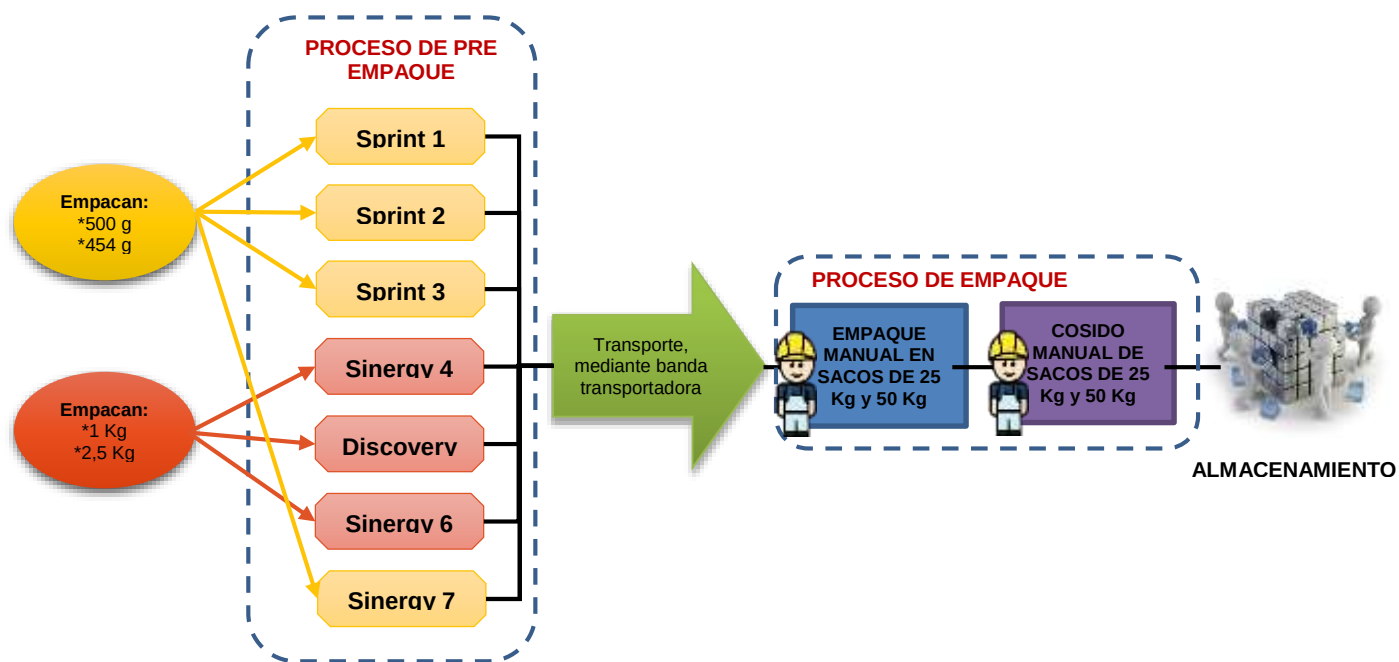


Figura 7. Proceso de empaque de azúcar de la línea familiar.

(Fuente: Elaboración propia)

8. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

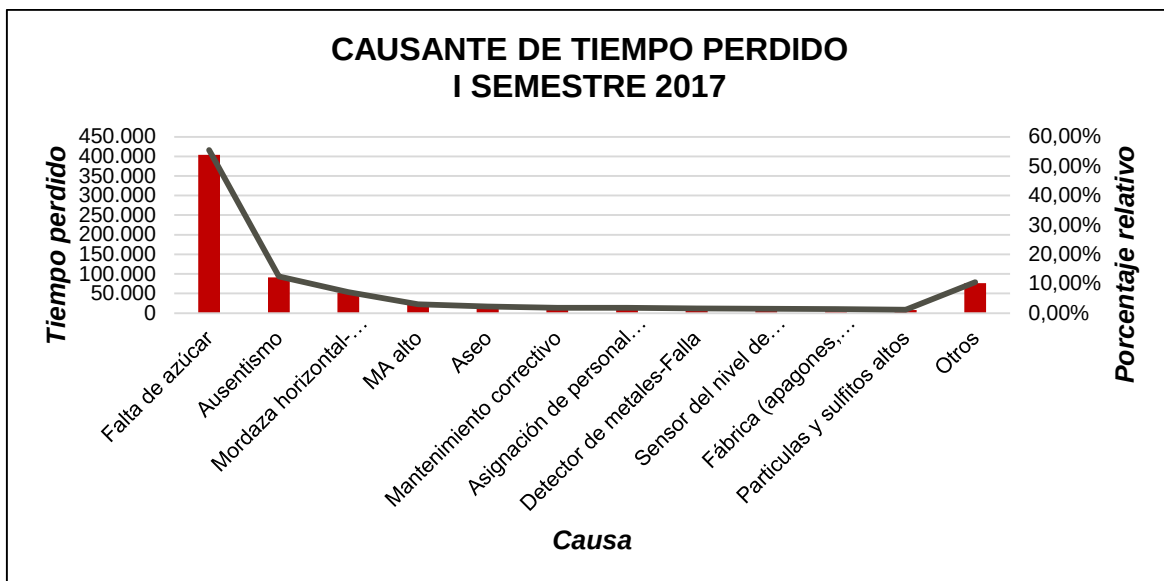
Para realizar un diagnóstico y análisis de la situación actual de acuerdo con los pilares mejora enfocada y mantenimiento autónomo se tuvo en cuenta la experiencia del JIPM y la literatura de Nakajima en 1989.

8.1 PROBLEMAS COMUNES DEL ÁREA DEL EMPACADERO

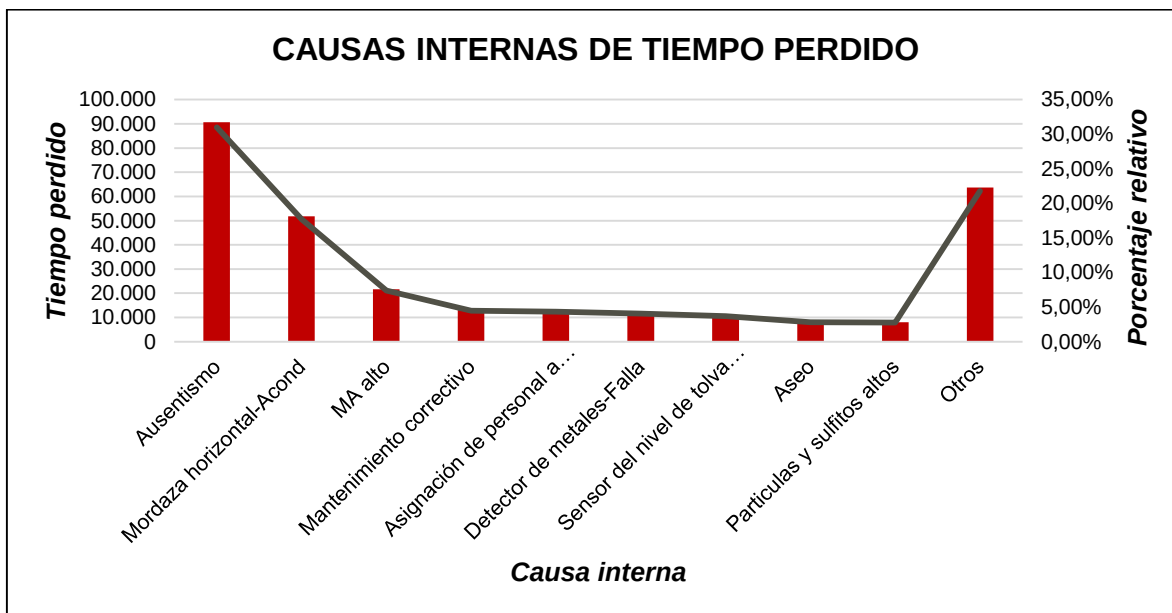
Actualmente en el empacadero se realizan actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, pero sin ningún tipo de estandarización, además de jornadas de limpieza al comienzo de cada turno que permiten tener un ambiente adecuado para las actividades que se realizan en esta área, sin embargo, estas jornadas detienen el proceso de empaque de azúcar en todas sus especificaciones.

Por otra parte, las averías que presentan las máquinas de la línea familiar pueden ser resueltas por los operarios de las mismas, quienes gracias a su experiencia laboral han logrado tener los conocimientos suficientes para identificar fácilmente la falla y resolverla, sin embargo, ellos no cuentan con las herramientas necesarias a su disposición ni con el permiso de la gerencia para realizar esta función, por esta razón deben esperar a que alguien del personal de mantenimiento se dirija al área y dé una solución al problema, pero el área de mantenimiento, por su función, no tiene disponibilidad de tiempo y se termina deteniendo el proceso de empaque. Además de las averías que presentan las máquinas del empacadero, la disponibilidad de estas también se ve afectada por el ausentismo del personal. Para tener un mejor panorama de los causantes de la falta de disponibilidad de las máquinas se puede ver la gráfica 1, la cual se realizó mediante el seguimiento, organización y análisis de los formatos diligenciados por los operarios del área en el primer semestre de 2017; en esta se identifica que la principal causa es la falta de azúcar por escases de caña de azúcar y azúcar refino, pero estas son causas externas a las labores del empacadero; por esta razón se procede con la eliminación de estos factores en la gráfica para realizar una mejor observación y análisis de las causas (ver gráfica 2).

En la gráfica 2, se puede evidenciar que la principal causa interna por la que se ve afectada la disponibilidad de las máquinas, es el ausentismo laboral, por lo que tratar de mitigar este factor podría ser determinante para la mejora de la capacidad productiva.



Gráfica 1. Causas de tiempo perdido en el área del empacadero durante el I semestre del año 2017
(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)



Gráfica 2. Causas de tiempo perdido en el área del empacadero durante el I semestre del año 2017
(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)

Del análisis de las gráficas 1 y 2 se puede evidenciar que la ausencia de azúcar representa el 52,90%, los problemas mecánicos de las máquinas que hacen parte de la línea familiar contribuyen con el 23,71% y el ausentismo representa un 13,12%

de los tiempos muertos de las máquinas que no tienen en cuenta la falta de azúcar. Las causas pertenecientes al grupo “otros” se pueden observar en el anexo B.

La consecuencia de todos esos tiempos muertos son bajos niveles de producto terminado de acuerdo a los requerimientos por parte del departamento de mercadeo. Tal como se observa en la tabla 1, en el primer semestre del presente año, se evidencia que se cumple en promedio con un 71,31% de la producción planeada; cabe aclarar que este porcentaje no incluye los periodos en los que se tuvo exceso de azúcar (Se produjo más de lo planeado) sino únicamente las cantidades realizadas bajo la planeación del área comercial puesto que tener sobreproducción, de acuerdo con Minardi en el 2017, significa un desequilibrio entre los factores hombre-máquina, además este de ser la peor de todas las 7 mudas o desperdicios ya que producir más de lo planeado, genera todos los demás desperdicios.

ÁREA	PLANEADO	REALIZADO	CUMPLIMIENTO
Big bag	156.308	105.289	67,4%
Industrial	1.828.105	1.307.054	71,5%
Familiar	464.015	333.728	71,9%
TOTAL	2.448.428	1.746.071	71,31%

Tabla 1. Cumplimiento de la producción de azúcar planeada - Semestre I/2017

(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)

8.2 IDENTIFICACIÓN DE LA LÍNEA A ESTUDIAR

Antes de proceder con un análisis de toda el área, primero se va a utilizar la metodología de proceso de análisis jerárquico (AHP) con el fin de definir cuáles son los equipos críticos del área de acuerdo con la opinión del personal administrativo del área y así orientar la investigación y propuesta de mejora a una sola línea para obtener mejores resultados.

Según la estructuración del modelo jerárquico, propuesta por Toskano y Bruno en su artículo “El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores” se identifica el problema, se define el objetivo y se identifican los criterios y alternativas.

Problema: ¿En cuál línea del área del empacadero se debe enfocar este estudio?

Objetivo: Se define como el aumento del porcentaje de cumplimiento de la demanda.

Criterios: De acuerdo al objetivo anteriormente identificado y definido, se eligen las características de las líneas del empacadero que afectan significativamente el objetivo y/o expresan las preferencias de los expertos. Los criterios son: indisponibilidad (tiempo que no está disponible), producción planeada (cantidad planeada para empaclar) y utilidad (utilidad promedio de las referencias que se manejan en cada línea).

Alternativa: De acuerdo al problema se determina que las alternativas, son las líneas que integran el área de empacadero, es decir, la línea BIG BAG, industrial y familiar.

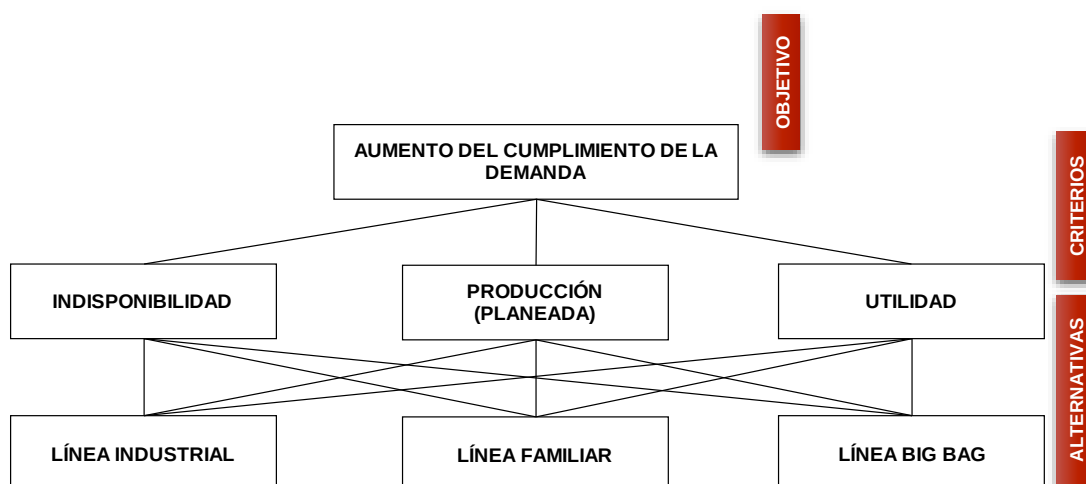


Figura 8. Árbol de jerarquías para el AHP
Fuente: Elaboración propia

El árbol de jerarquías (figura 8) se construyó de abajo hacia arriba porque desde el inicio de la elaboración se tenían definidas las alternativas, luego se generaron las características que permitían diferenciar a éstas y finalmente se estableció el objetivo.

Este proceso de análisis jerárquico se hace con cuatro expertos: supervisor del empacadero, coordinadora del empacadero, jefe de mantenimiento mecánico y jefe de planeación del mantenimiento.

Cada uno de éstos, compara por pares cada alternativa en base a cada criterio, y también evalúa cada criterio mediante la comparación por pares. La escala de puntuación utilizada se puede ver en la tabla 2.

JUICIO DE PREFERENCIA	VALOR NUMÉRICO
Preferencia igual	1
Preferencia igual a moderada	2
Preferencia moderada	3
Preferencia moderada a fuerte	4
Preferencia fuerte	5
Preferencia fuerte a muy fuerte	6
Preferencia muy fuerte	7
Preferencia muy fuerte a extrema	8
Preferencia extrema	9

Tabla 2. Escala de puntuación para las calificaciones del AHP

A continuación, en la tabla 3 se muestran las calificaciones de las alternativas dadas por parte de los expertos, en cuanto al criterio de indisponibilidad.

EXPERTO 1				EXPERTO 2			
MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	1	1/7	1/3	A1	1	1/9	1/3
A2	7	1	5	A2	9	1	6
A3	3	1/5	1	A3	3	1/6	1

EXPERTO 3				EXPERTO 4			
MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
A1	1	1/6	1/3	A1	1	1/9	1/3
A2	6	1	4	A2	9	1	6
A3	3	1/4	1	A3	3	1/6	1

Tabla 3. Calificación de las alternativas en cuanto al criterio Indisponibilidad

En la tabla 4, se puede observar que las comparaciones de pares entre alternativas para el criterio indisponibilidad fueron similares, variaron en la criticidad de la relevancia, más no en el sentido de ésta, es decir, todos concordaron que, por ejemplo, la indisponibilidad de la línea familiar es mucho mayor que la de la línea industrial, y por ende su relevancia es apreciable, sin embargo, uno calificó esta diferencia de preferencia con un 6, uno 7 y los otros con un 9. Este comportamiento se dio de igual manera en las comparaciones de pares entre alternativas para los otros dos criterios.

Por otra parte, en la tabla 5, se muestran las calificaciones de la comparación entre los criterios por parte de los expertos.

EXPERTO 1				EXPERTO 2			
MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	1	5	7	C1	1	6	9
C2	1/5	1	3	C2	1/6	1	3
C3	1/7	1/3	1	C3	1/9	1/3	1

EXPERTO 3				EXPERTO 4			
MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	C1	C2	C3		C1	C2	C3
C1	1	6	9	C1	1	1/3	4
C2	1/6	1	3	C2	3	1	7
C3	1/9	1/3	1	C3	1/4	1/7	1

Tabla 4. Comparación entre los criterios de evaluación del AHP

De la tabla 4, se puede observar que para tres expertos el criterio más relevante es la indisponibilidad, mientras que para un experto es la cantidad producida. Entre los tres expertos, las comparaciones fueron similares en su grado de criticidad de la importancia. Para todos los expertos el criterio menos importante es la utilidad.

Cada evaluación por pares de los expertos se corrobora mediante el cálculo del coeficiente de consistencia, el cual no puede ser mayor al 10%. Cada calificación de los expertos estuvo dentro de los estándares del proceso AHP, por lo cual no se necesitó reevaluar ninguna comparación.

RESULTADOS				
	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4
LÍNEA INDUSTRIAL	22,81%	19,00%	21,05%	53,54%
LÍNEA FAMILIAR	61,18%	66,64%	60,42%	36,97%
LÍNEA BIG BAG	16,01%	14,36%	18,53%	9,49%

Tabla 5. Resumen de los resultados del AHP para cada uno de los expertos por línea

En la tabla 5, que resume los resultados de los expertos, se puede observar claramente que según las comparaciones por pares de los expertos 1, 2 y 3, la línea familiar debe ser la elegida, mientras que para el experto 4 debe de ser la línea industrial. Por lo anterior, se elige la línea familiar como la línea en la que se enfocará el siguiente trabajo.

A pesar de que las comparaciones entre alternativas para cada criterio fueron semejantes, la diferencia entre el resultado del experto 4 y los otros tres expertos, se debió a la importancia que le dio a los criterios, puesto que éste le asignó mayor

relevancia a la cantidad producida mientras que los tres expertos restantes a la indisponibilidad. En concordancia con lo anterior, en la comparación por pares de las alternativas para el criterio indisponibilidad, la línea familiar es claramente más relevante que las demás, mientras que, para el criterio de producción, la línea industrial es evidentemente más relevante que el resto. En efecto, un cambio de percepción en la criticidad de los criterios, afectará radicalmente el resultado.

8.3 FALLAS Y AVERÍAS DE LA LÍNEA FAMILIAR

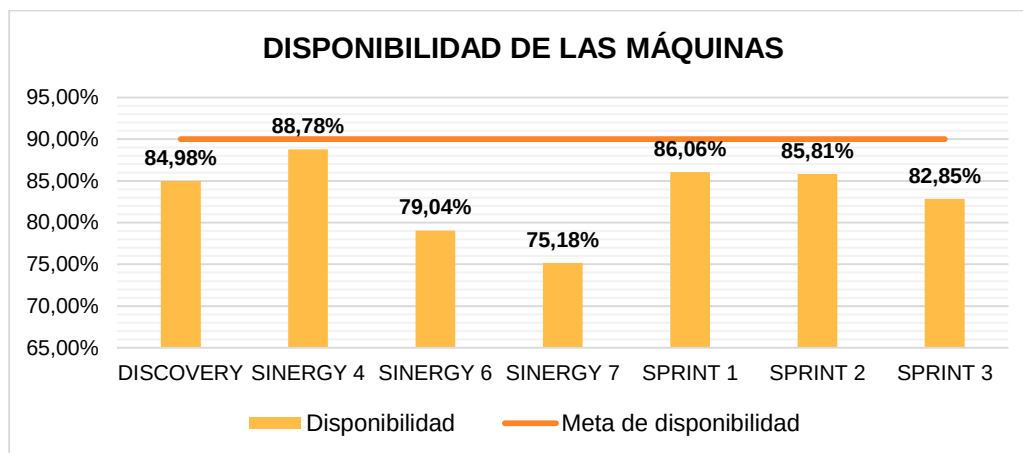
Los operarios de las máquinas familiares manejan un formato de registro de anomalías (anexo A) que, a pesar de no permitir una buena identificación de las fallas, si permitió recopilar información sobre estas para realizar un seguimiento al comportamiento de los datos registrados en el primer semestre del año 2017.

Las máquinas de la línea familiar regularmente presentan averías y fallas mecánicas y operativas que afectan considerablemente la disponibilidad de las máquinas, esto se debe a que las máquinas tienen una alta carga de trabajo (operan 24 horas al día) y no se llevan a cabo revisiones ni alistamientos previos estandarizados; además en su mayoría de veces, aproximadamente 69%, tienen un mantenimiento tipo correctivo, lo que implica que el tiempo de operación de la máquina reduzca no solo por el tiempo que demore en ser solucionado el problema sino por el tiempo adicional que se debe esperar a que el operario de la máquina vaya en busca de alguien de mantenimiento, quien en muchas ocasiones no está disponible en el momento que se requiere.

Por otra parte, los operarios de las máquinas en compañía de Laura Franco, coordinadora del área, mencionan que los colaboradores del área cuentan con la experiencia para identificar y resolver cierto tipo de fallas inmediatamente cuando ocurren pero que no cuentan, con las herramientas ni el permiso del área de seguridad por falta de capacitación de expertos para realizarlas; por esta razón, finalmente deben esperar al personal de mantenimiento lo que representa pérdidas para la empresa por tener una máquina sin funcionar durante mucho tiempo.

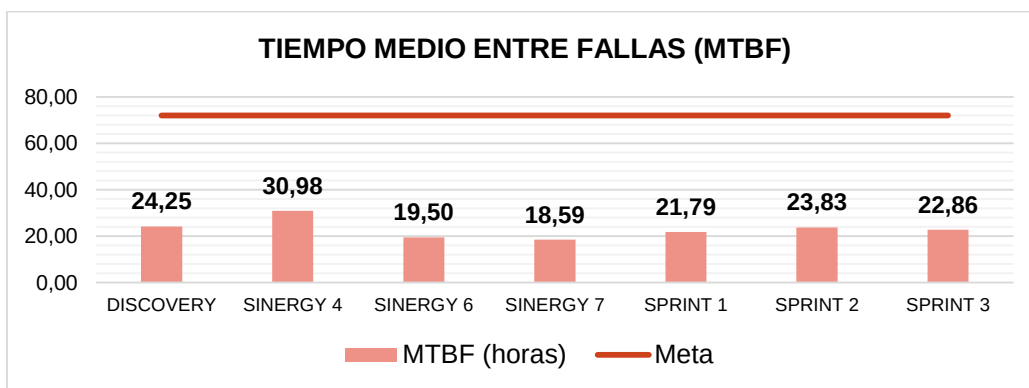
Al procesar los registros de anomalías se obtiene la gráfica 3, en la que se muestra el promedio de disponibilidad de cada una de las máquinas y el de la línea familiar en general que equivale a un 83,24%. Como se mencionaba anteriormente y de acuerdo con la literatura consultada, la disponibilidad es uno de los elementos utilizados para calcular la eficiencia global del equipo y un porcentaje inferior al 90% no permitirá alcanzar el mínimo requerido para clasificar la línea de producción como una de clase mundial, por lo tanto la disponibilidad actual de la maquinaria y el personal de la línea familiar del empacadero no cumple con lo esperado de 90%

para la jefe del área ni con los estándares de mantenimiento planteados por Seiichi Nakajima.

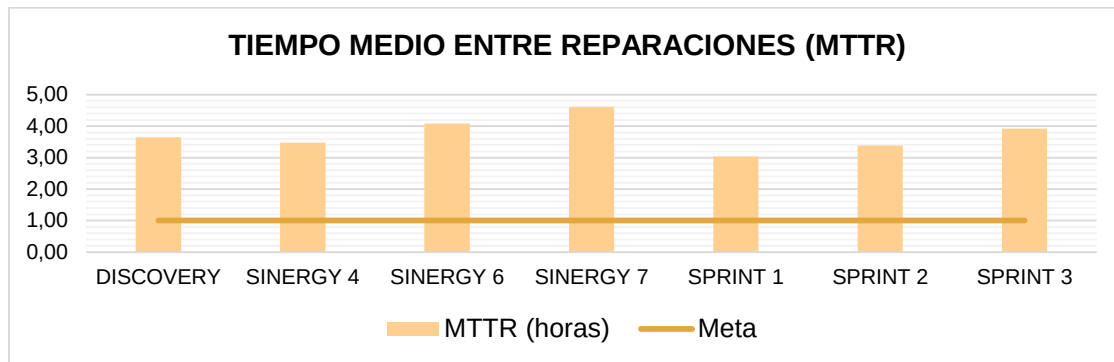


Gráfica 3. Disponibilidad individual y meta propuesta de las máquinas de la línea familiar
(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)

Cabe resaltar que los tiempos que se toman referentes a la duración de las fallas (tiempos muertos) para el cálculo de los indicadores, no sólo incluyen el tiempo neto de reparación de estas, sino también el tiempo inactivo que se espera a que el personal de mantenimiento responda al llamado de solicitud, esto se debe a que, en los registros realizados por los operarios, se pone únicamente el tiempo total sin discriminación de la espera y la reparación. Todo esto genera que el tiempo medio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés) disminuya y el tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) se eleve con respecto a la meta planteada por el personal del área de 1 hora y 72 horas respectivamente. (Ver gráficas 4 y 5).



Gráfica 4. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR) de la línea familiar para el I-Semestre de 2017



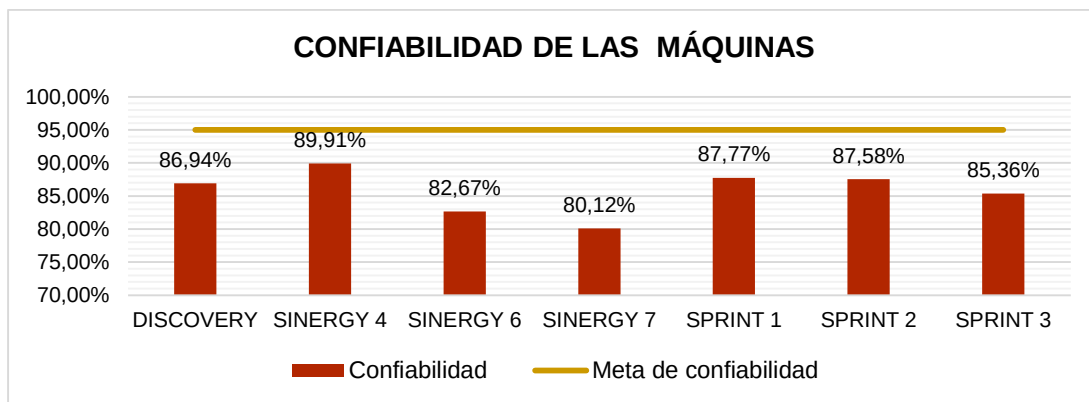
Gráfica 5. Tiempo medio entre reparaciones (MTTR) de la línea familiar para el I-Semestre de 2017

Finalmente, si se afectan los indicadores MTTR y MTBF se afecta directamente la confiabilidad de los equipos, puesto que estos son los elementos utilizados para su cálculo. En ese orden de ideas, un no cumplimiento de las metas de MTTR y MTBF generan también incumplimiento en la meta de disponibilidad, que para el caso del empacadero está en un 95% y actualmente se encuentra en aproximadamente 85,7%, tal y como se observa en la gráfica 6.

Por otra parte, para los operarios de empaque se calcula la disponibilidad, MTBF, MTTR y confiabilidad de la zona (zona de empaque), teniendo en cuenta que los colaboradores trabajan en paralelo, por ejemplo para el cálculo del MTBF, se halla la tasa de fallos, sumando todas las fallas generadas por los 18 operarios de empaque para luego dividirlo sobre seis veces el tiempo de carga de la línea familiar (6 veces = 18 operarios/3 turnos); finalmente se calcula el inverso de este resultado obteniendo el MTBF.

$$Tasa\ de\ fallos = \frac{Cantidad\ de\ fallos\ de\ los\ 18\ operarios}{6 * Tiempo\ de\ carga\ para\ la\ línea\ familiar} = \frac{171\ fallas}{1'003.860\ min}$$

$$MTBF = \frac{1}{Tasa\ de\ fallos} = \frac{1'003.860\ min}{171\ fallas} = 5.871\ min/falla$$



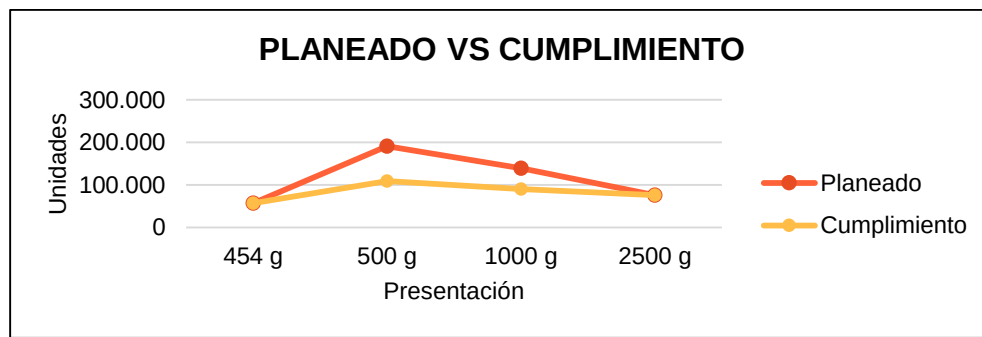
Gráfica 6. Confiabilidad individual y meta propuesta de las máquinas de la línea familiar para el I-Semestre de 2017

8.4 PRODUCIDO (EMPACADO) VS PLANEADO

Al realizar una comparación entre los requerimientos del área comercial y lo producido por el área en estudio, no se obtienen los resultados esperados; pues en ocasiones no se cumple con lo planeado o se produce más de esto, lo que en términos productivos y económicos no es rentable para la empresa. En la tabla 6 se muestra el resumen de la información suministrada por la organización en cuanto a producido y planeado para el primer semestre del año 2017, además en la gráfica 5 se puede observar y concluir que se cumple sólo con lo pronosticado para las presentaciones de 454 g y 2,5 kg, presentaciones que claramente son la de menor venta, incumpliendo en un 42,65% y 35,02% las presentaciones de 500 g y 1 kg, respectivamente.

PRESENTACIÓN	PLANEADO	FALTANTE	EXCESO	REALIZADO	% DE CUMPLIMIENTO
454 g	57.148		65.869	123.017	100,00%
500 g	190.960	81.450		109.510	57,35%
1000 g	139.457	48.837		90.620	64,98%
2500 g	76.450		1246	77.696	100,00%
FAMILIAR	464.015	130.287	67.115	400.844	

Tabla 6. Cantidades empacadas y planeadas para la línea familiar en el I Semestre de 2017
(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)



Gráfica 7. Producción planeada vs cantidad cumplida para la línea familiar en el I Semestre de 2017
(Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)

8.4.1 Identificación de causas

Para identificar las causas que generan las averías e inconvenientes con el desarrollo normal de las actividades de las máquinas y el incumplimiento de la meta de producción se recurre a la utilización del diagrama Ishikawa o Causa-Efecto, además, se trabaja con la técnica 5W2H (ver figura 9) con el fin de especificar la manera como debe ser desarrollado el problema y mostrar un panorama de los elementos que lo conforman.

EL PROBLEMA	QUÉ (WHAT)	CUANDO (WHEN)	DÓNDE (WHERE)	QUIEN (WHO)
Incumplimiento de la meta de producción	La disponibilidad de las máquinas se encuentra por debajo del 90%	En cualquier momento de la operación de empaque	Máquinas de la línea (Sinergy, Discovery y Sprint)	A todos los líderes de máquina
	POR QUE (WHY)		COMO (HOW)	CUANTO (HOW MUCH)
	Por demora en el personal de mantenimiento para arreglar la avería. No prever una falla. No tener autorización para que los operarios realicen arreglos menores.		Ocurre de manera frecuente y continua	Se incumplió con el 28,08% de lo planeado (1er semestre)

Figura 9. Técnica 5W-2H para los problemas de la línea familiar del empacadero. (Fuente: Elaboración propia)

Las causas generales que traen como consecuencia la no operatividad de las máquinas y por tanto el incumplimiento de la producción planeada por el área comercial se muestran en el diagrama Ishikawa ilustrado en la figura 10.

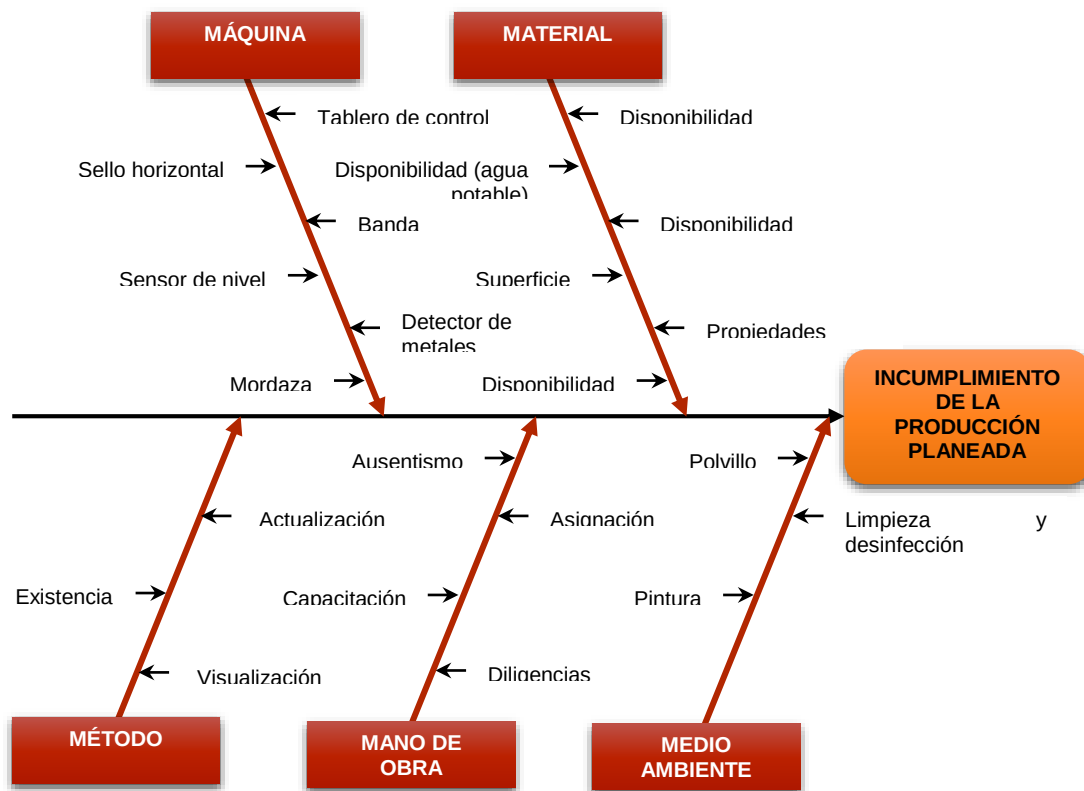


Figura 10. Diagrama Ishikawa de los problemas de la línea familiar del empacadero.
(Fuente: Elaboración propia)

8.5 VARIACIÓN DEL PESO DE LAS REFERENCIAS

Un problema de calidad que ocurre comúnmente es estar fuera de las especificaciones establecidas. Una de estas especificaciones establecidas es el rango de peso del producto (contenido); si el contenido es menor que el límite inferior del rango de especificación, el cliente se sentirá defraudado y en muchas ocasiones lo devolverá, incurriendo en el detrimento de la imagen y en costos por devoluciones; por otra parte, si el contenido es mayor, no habría problema alguno con el cliente, sin embargo, la organización incurrirá en costos de materia prima, mano de obra, energía, entre otros. Por lo anterior, se determina el número de muestras que permitan establecer con cierto grado de fiabilidad, las medidas de tendencia central para cada presentación.

$$n = \frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2}$$

- n = Tamaño de la muestra requerido

- $p = 0.05$, el cual es el margen de error máximo admisible
- $e = 0.02$,
- $z = 2.575$ para un nivel de confianza del 99%.

Reemplazando estos valores, se tiene que:

$$n = \frac{2,575^2 * 0,05(1 - 0,05)}{0,02^2} = 787,3867188 \cong 788$$

Según, Badii, M.H., A. Guillen y J.L. Abreu (2014), el tamaño óptimo de muestra depende tres aspectos fundamentales: cantidad de recursos, grado de precisión deseado y tipo de distribución de los datos. En este caso, los recursos como el capital, energía, estructura y tiempo, no proveen una limitación, excepto que el número sea tan grande que no se pueda tomar en el tiempo del proyecto; por otra parte, el tipo de distribución de los datos es aleatorio de tipo normal, es decir, la varianza no depende de la media. La ecuación para este caso es la siguiente:

$$TOM = \frac{Z^2 * (p * q)}{e^2} = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2}$$

El proceso que se realiza en el empacadero para la toma de muestras es el siguiente: Se toman lotes de cinco bolsas de la misma referencia al azar (cada lote proviene de una misma máquina), cada cierto tiempo no definido, y se anotan los pesos de las cinco bolsas. Lo anterior se realiza para cada presentación (teniendo en cuenta todas las máquinas que empaican esa referencia), por lo que se puede catalogar como un muestreo probabilístico estratificado desproporcionado ya que la población se subdivide en estratos, segmentos homogéneos (cada una de las máquinas que empaican una misma referencia), y se toman para este caso lotes de cinco muestras, para luego combinarlas en una sola muestra y así calcular el promedio y la desviación de la variable deseada (peso de cada referencia). Para el muestreo de la referencia de 1 Kg, se toman 788 muestras de dosificación de las bolsas de 1000 gramos, correspondientes a las máquinas Sinergy 4, Sinergy 6 y Discovery. Los valores de la estadística descriptiva obtenida con las 788 muestras se muestran en la tabla 7.

Recuento	788
Promedio	1010,14
Mediana	1009,0
Moda	1009,0
Desviación Estándar	7,13398
Mínimo	1000,0
Máximo	1099,1
Rango	99,1
Sesgo	6,57297
Curtosis	55,7395

Tabla 7. Resumen estadístico para la presentación de 1 Kg

Se realiza un histograma de frecuencias, con un número de clases y/o intervalos de 11, el cual se obtuvo con la regla de Sturges.

$$k = 1 + \log_2(N) = 1 + 9,62 = 10,62 \cong 11$$

Siendo k el número de intervalos y N el tamaño de la muestra

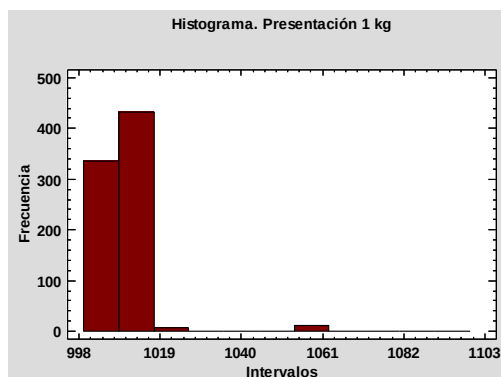


Figura 11. Histograma de frecuencias para la presentación de 1 Kg (Obtenido en Statgraphics)

Al observar la medida del sesgo, la curtosis, la gráfica y los datos recolectados, se encuentran doce bolsas con un valor atípico, las cuales están afectando fuertemente a las medidas de estadística descriptiva. Se eliminan estos valores, ya que fueron causados por el operario, al momento de calibración electrónica del pesaje en la máquina Sinergy 6, aumentándole de manera considerable el peso a empacar, posteriormente, se fue a atender otra máquina y cuando regresó a ésta se dio cuenta que varias bolsas terminaron con más gramos de azúcar de lo indicado. La eliminación de los valores atípicos genera nuevos resultados estadísticos que se pueden observar en la tabla 8.

Recuento	776
Promedio	1009,35
Mediana	1009,0
Moda	1009,0
Desviación Estándar	2,97593
Mínimo	1000,0
Máximo	1020,0
Rango	20,0
Sesgo	0,395159
Curtosis	0,987434

Tabla 8. Resumen Estadístico para Presentación 1 kg (Eliminando el valor atípico)

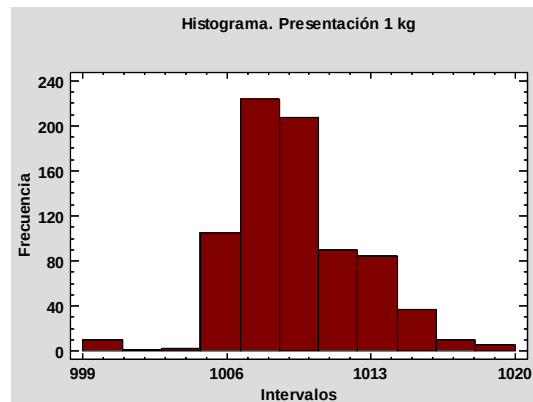


Figura 12. Histograma de frecuencias para la presentación de 1 Kg eliminando el valor atípico (Obtenido en Statgraphics)

A partir de la figura 12, se puede deducir que la distribución es simétrica a la derecha o tiene sesgo positivo porque la minoría de datos se encuentran en la parte derecha de la media, en este caso se tiene aproximadamente un 36,60% de los datos; del intervalo que contiene el valor promedio tanto hacia su izquierda como hacia su derecha tiene cinco intervalos; adicionalmente, la media (1009,35) es mayor que la mediana (1009,0) y ésta es igual a la moda (1009,0).

Por otra parte, la distribución es leptocúrtica, es decir, tiene una alta concentración de valores en la región central de la distribución.

A continuación, se halla la probabilidad de que una bolsa de libra de azúcar esté por debajo del límite inferior permitido (996 g).

$$z = \frac{996 \text{ g} - 1009,350 \text{ g}}{2,97593} \cong -4,49$$

De acuerdo a la tabla de distribución de probabilidad normal estándar, la probabilidad de que las bolsas contengan menos de 996 g es aproximadamente nula (0%).

Por otra parte, se calcula la probabilidad de que la bolsa contenga más de 1005 g (límite superior permitido).

$$z = \frac{1005 \text{ g} - 1009,350 \text{ g}}{2,97593} \cong -1,46$$

De acuerdo a la tabla de distribución de probabilidad normal estándar, la probabilidad de que las bolsas contengan menos de 1005 g es de 7,21%, lo que corresponde a afirmar que existe un 92,79% de que las bolsas de kilo contengan más de 1005 g.

Con lo anterior, se puede concluir que las bolsas de azúcar de kilo se encuentran dentro de las especificaciones en un 7,21%.

$$\%dentro de especificaciones = 1 - (0,0000) - (0,9279) = 0,0721 = 7,21\%$$

Posteriormente, se calcula los costos asociados al exceso de azúcar en el empaque de kilo, iniciando con la identificación de la cantidad de bolsas de kilo producidas en el primer semestre del año 2017.

Se tiene que se produjo 90.620 quintales de azúcar de esa presentación (kilo).

$$\#bolsaskilo = 90.620 \text{ QQ} * \frac{50 \text{ bolsaskilo}}{1 \text{ QQ}} = 4'.531.000$$

Este valor se multiplica con la probabilidad de que contenga más de los 1005 g, el cual es el límite superior aceptado, por el peso que en promedio se está empacando de más.

$$4'531.000 * (92,79\%) * 4,350 \text{ g} = 18'288.769,82 \text{ g} = 18.288,76982 \text{ kg}$$

$$\text{Costo de 1 kg de azúcar} = \$1.500$$

Costo exceso de azúcar en presentación de kilo:

$$\text{Costo} = 18.288,76982 \text{ kg} * \$1.500/\text{kg} = \$27'433.154,72$$

Este procedimiento se realiza para las otras tres referencias, los cuales se pueden observar en la tabla 9.

Presentación	Costo por exceso de azúcar
454 g	\$ 1.399.052
500 g	\$ 3.190.946
1 kg	\$ 27.433.155
2,5 kg	\$ 20.428.289

Tabla 9. Costo por exceso de azúcar para cada presentación

De la tabla 9 se deduce que el costo por exceso de azúcar es mayor en las referencias de kilo y 2,5 kilos, porque el promedio de sus bolsas es mucho mayor al límite superior de especificaciones para cada caso, lo que aumenta tanto lo que se está dando de más en promedio por bolsa, como la probabilidad de que el peso de una bolsa de estas referencias este por fuera de los límites de especificación.

9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTONOMO

De acuerdo con la literatura consultada se decide basar el diseño del programa de mantenimiento autónomo en los siete pasos propuestos por los líderes del JIPM, siendo estos los autores más citados en el tema. Según Nakajima en su libro “Introducción al TPM”, el JIPM recomienda que las compañías adopten la metodología de las 5s con el fin de evitar un mantenimiento autónomo superficial.

El JIPM divide los 7 pasos en tres fases, tal como lo muestra la figura 13; los primeros tres pasos componen la primera fase para la detección, prevención y mantenimiento de las condiciones básicas para que el equipo opere y tienen como objetivo que los operarios se interesen y responsabilicen por el equipo que tienen a su cargo; en los pasos cuatro y cinco que forman la fase dos, se implantan los estándares de las inspecciones desarrolladas en la primera fase bajo procesos normativos y de capacitación, es decir, los líderes de los equipos de mantenimiento autónomo enseñan los procedimientos de inspección a sus miembros, esto con el fin de reducir las fallas y que hayan operarios que comprendan y dominen sus equipos y procesos y la fase final compuesta por los pasos seis y siete permite evaluar las actividades y metodologías propuestas y mejorar continuamente para mantener el sistema diseñado. Sin embargo, es de gran importancia tener una etapa previa de preparación para esta nueva metodología, en esta se deben realizar los anuncios formales de inicio del proyecto TPM a todos los implicados, además se deben realizar campañas educativas de promoción y divulgación y estructurar los equipos de trabajo con sus respectivos roles y responsabilidades desde el comité de TPM hasta los pequeños grupos de mejoramiento para que finalmente se pueda definir el principal objetivo a lograr y su respectivo plan de acción.

Para el proyecto se realizaron acercamientos con el personal del área del empacadero, en cada una de las etapas se mencionarán las actividades ejecutadas con el fin de ejemplificar cada uno de estos pasos; estas actividades permitieron que los colaboradores, entendieran lo que es el mantenimiento autónomo.

9.1 FASE I. LOGRAR LAS CONDICIONES BÁSICAS DEL EQUIPO

Para lograr las condiciones básicas del equipo, se deben llevar a cabo los pasos uno, dos tres del mantenimiento autónomo propuesto por JIPM. Esta primera fase se puede trabajar en conjunto con la metodología de las 5's puesto que para ambos los pasos son limpieza, desalojo y orden.

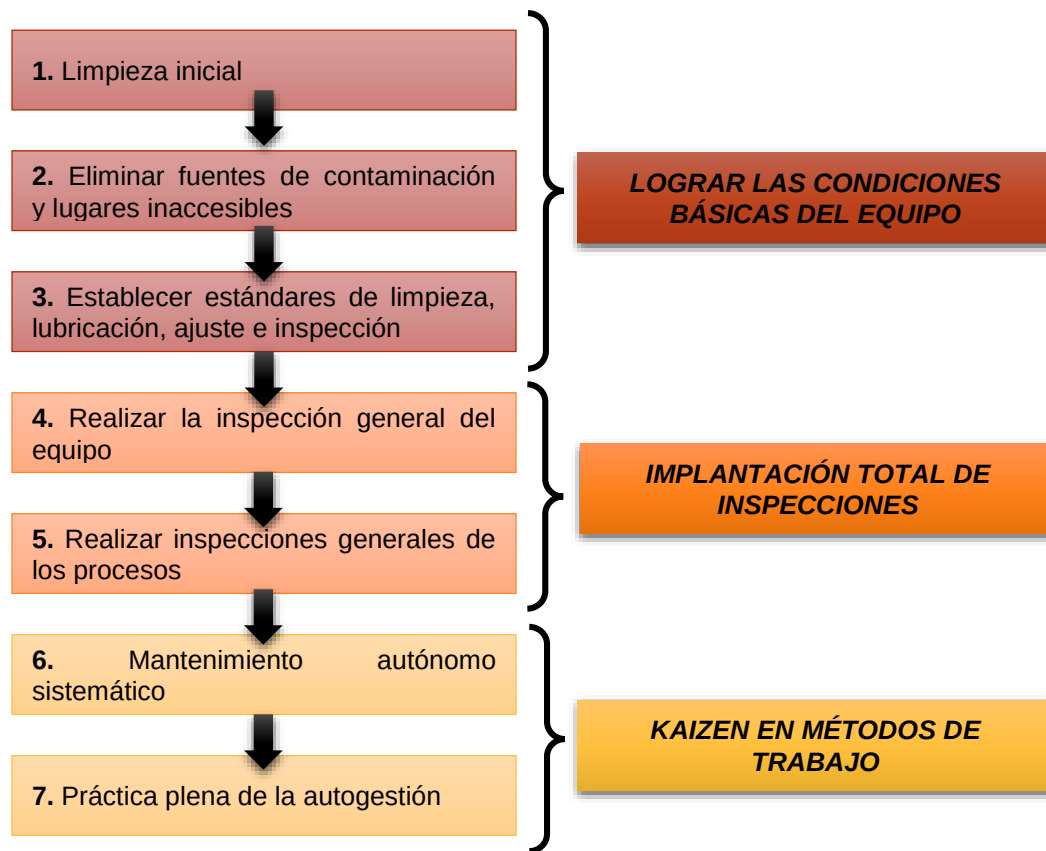


Figura 13. Pasos para implementar el mantenimiento autónomo
(Fuente: Modificado de Paredes (2009))

9.1.1 Limpieza inicial

La limpieza significa eliminar la suciedad y todo tipo de materia extraña del equipo, herramientas y el entorno en general. Este procedimiento además de remover el polvo, permite identificar pequeños defectos, lugares de difícil acceso y fuentes de contaminación.

Al realizar la limpieza los operadores tendrán la posibilidad de familiarizarse más con el equipo y esto generará en ellos mayor sentido de pertenencia hacia sus equipos; el proceso de reconocimiento de la máquina al limpiar cada pieza genera nuevas experiencias, y les servirá no solo para evitar el deterioro de la máquina sino también para que identifiquen fácilmente los defectos ocultos y enseñar a los compañeros a reconocerlos.

Para lograr el primer paso, se debe organizar una campaña de orden y limpieza inicial, en la cual se eliminarán los elementos que rara vez se usan y se reorganizarán los que se usan con mayor frecuencia, también se deben limpiar los equipos minuciosamente, pisos, techos paredes y todo el entorno de trabajo; la limpieza debe ser realizada por los operarios del empacadero y los del área de mantenimiento, en acompañamiento de la coordinadora y supervisor del área.

El proceso de identificación de los elementos y equipos de acuerdo a su frecuencia de uso se debe realizar mediante la demarcación con las tarjetas rojas TPM (anexo C), estas son herramientas de apoyo visual que permitirán detectar a simple vista los objetos que deben ser eliminados o reubicados.

La limpieza inicial es el punto de partida para los procesos de limpieza que se efectuarán diariamente, además, mediante el resultado de esta se debe establecer un estándar de cómo deben estar los equipos permanentemente.

La jornada de limpieza crea motivación gracias a sus resultados para que se siga efectuando este proceso diariamente.

Como muestra inicial de lo que sería la implementación del programa de mantenimiento autónomo se realizó un acercamiento inicial en el que se les socializó al personal operativo (ver figura 14) los conceptos de TPM y 5's y se obtuvieron retroalimentaciones positivas en cuanto al proyecto, ellos planteaban su interés y motivación por apersonarse de sus máquinas y equipos a cargo y realizarle los procedimientos necesarios para que tuvieran un mayor porcentaje de disponibilidad. Además, se realizó el proceso de identificación y posterior tarjeteo de algunos de los elementos que no necesitaban o no usaban con frecuencia para que tuvieran un mayor acercamiento con este proceso (ver figura 15)



Figura 14. Socialización inicial sobre TPM y 5's



Figura 15. Tarjeteo de elementos de poco uso o en desuso

Se realizó también un proceso de limpieza que incluyera la participación de todos (ver figura 16), sin la minuciosidad que requiere la limpieza inicial, con el fin de que ellos tuvieran un panorama de lo que sería la jornada de limpieza; de este proceso también se obtuvo un buen resultado, se contó con un equipo de operarios motivados y comprometidos por la limpieza de su lugar de trabajo.



Figura 16. Jornada de limpieza del entorno de trabajo

9.1.2 Eliminar fuentes de contaminación y lugares inaccesibles

Después de realizar la jornada de limpieza inicial y que los colaboradores se encuentren motivados y estén conscientes de la importancia de este proceso se deben buscar acciones que reduzcan el tiempo dedicado a la limpieza, es decir que disminuyan y eliminen las fuentes de contaminación y polvo y mejorando los elementos que sean de difícil manipulación para su respectiva limpieza, calibración, apretado o cualquier otra función.

En esta etapa la idea es que sean los mismos operarios quienes a través de su experiencia tanto laboral como al realizar la limpieza, propongan ideas de mejora. Como parte del diseño del programa de mantenimiento autónomo, para este paso se sugiere lo siguiente:

- Los líderes del proyecto TPM brindan asesoría técnica a los operarios sobre metodologías de análisis como el de los 5 Por qué, Causa-Efecto, Controles visuales, etc.
- Hacer reuniones con el equipo de líderes de los pequeños grupos de mantenimiento para la planeación de actividades que promuevan la generación de ideas de los operarios.
- Recolección de ideas de mejora dadas escrita o verbalmente por los operarios y someterlas al debido proceso de revisión por el comité primario de TPM.
- Premiar las mejores ideas y dar pequeños reconocimientos a todos los que aportaron alguna mediante reconocimientos grupales.

9.1.3 Establecer estándares de limpieza, lubricación, ajuste e inspección

El desarrollo de los dos pasos anteriores les permite a los operarios determinar el estándar de las condiciones ideales de limpieza lo que permite que las actividades de limpieza, y mantenimiento básico sean más simples de ejecutar.

El objetivo de este paso es mantener las condiciones básicas del equipo planteadas en el primer paso y realizar inspecciones en los lugares precisos y en el menor tiempo posible con el fin de prevenir el deterioro.

Una de las causas por las que el desarrollo de estándares es un proceso complejo, es porque generalmente quienes los elaboran no son quienes los van a utilizar y se convierten para los operarios en un conjunto de reglas y normas que deben cumplir, pero no tienen conocimiento sobre su importancia ni tienen herramientas básicas para darle seguimiento a estos, además los llevarán a cabo sin la motivación requerida para hacerlo.

Para establecer los estándares de limpieza, lubricación, ajuste e inspección se requiere un trabajo conjunto del personal del área de mantenimiento y el de producción, por esta razón, se propone que sean los operarios de las máquinas quienes en compañía del comité de TPM y el personal de mantenimiento que son quienes cuentan con la capacitación para tal fin diseñen los estándares. Para este proceso se sugiere lo siguiente:

- Realizar capacitaciones desde el área de mantenimiento hacia el área de producción para que los operarios adquieran los conocimientos necesarios sobre cada uno de los procedimientos a estandarizar.
- Brindar asistencia técnica al personal operativo y de mantenimiento en el diseño y mejoramiento de estándares.
- Asignar a los operarios las responsabilidades de los estándares básicos de limpieza, lubricación, ajuste e inspección.
- Crear espacios con actividades didácticas dirigidos por el personal administrativo de mantenimiento para que los operadores y técnicos de mantenimiento bajo su supervisión y directrices creen los estándares.
- Definir las actividades que realizará el departamento de mantenimiento y el de producción, además que cada uno se comprometa a cumplirlas de acuerdo con las siguientes bases:
-

ACTIVIDADES DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN	ACTIVIDADES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO
Actividades para prevenir el deterioro • Operar el equipo de forma correcta • Mantener las condiciones de limpieza, orden y lubricación básicas. Actividades para medir el deterioro • Registrar los datos de averías y fallas • Realizar inspecciones básicas diarias. Actividades para corregir el deterioro • Reparar averías esporádicas y sustituciones menores.	• Actividades de mantenimiento tradicional • Apoyo en las actividades de mantenimiento autónomo • Registro de los mantenimientos y evaluación de los resultados de los mismos • Técnicas de investigación de las fallas y de mantenimiento preventivo • Control sobre los repuestos, herramientas y documentos de mantenimiento

Tabla 10. Tipos de actividades que deben realizar los departamentos de producción y mantenimiento

- Evaluar los modelos de estándares diseñados por los técnicos y operadores para revisar que los tiempos de realización no afecten negativamente la

producción y de ser así, buscar las alternativas para su disminución sin verse afectado ninguno de estos.

Para las actividades de diseño de estándares mencionadas en esta sección se sugiere usar el formato de estándar de limpieza y lubricación mostrado en el anexo D.

9.2 FASE II. IMPLANTACIÓN TOTAL DE INSPECCIONES

Dentro de esta fase se encuentran los pasos cuatro y cinco del mantenimiento autónomo, se trata de realizar correctamente los procesos de inspección de los equipos y procesos con el objetivo de mejorar la fiabilidad global de los equipos y procesos y prevenir el deterioro.

El proceso de inspección debe tener como resultado las solicitudes de mantenimiento y ordenes de trabajo de acuerdo con las anomalías identificadas; para esto se requiere que los operarios tengan pleno conocimiento de las máquinas. Para el desarrollo de esta fase se sugiere lo siguiente:

- Capacitar a los operarios para que lleven a cabo chequeos generales del equipo
- Los operadores y el equipo de mantenimiento realizan los manuales y listas de chequeo para inspeccionar cada una de las máquinas del empacadero en conjunto con los líderes de mantenimiento.
- Realizar en el sitio de trabajo los manuales y listas planteados para evaluar su veracidad en cuanto a tiempo de ejecución y el resultado obtenido e ir respondiendo a las anomalías presentadas
- Implementación de controles visuales como por ejemplo las tarjetas TPM (anexo E) para la identificación de anomalías. Mediante estas tarjetas cada quien (producción o mantenimiento) deberá reconocer si la solución le corresponde o no y el estado en que se encuentra.
- Tener operarios capaces de identificar anomalías basándose en su propio concepto sin necesidad de ceñirse a una lista de chequeo, además de poder realizar propuestas de mejora a las inspecciones existentes con el fin de hacer este proceso menos tedioso y que finalmente lo incorporen a su rutina de trabajo.

9.3 FASE III. KAIZEN EN MÉTODOS DE TRABAJO

En esta fase se incluyen los pasos seis y siete del mantenimiento autónomo; el primero de ellos es el mantenimiento autónomo sistemático; en esta etapa se deben reevaluar todos los estándares y procedimientos definidos mediante una

comparación con la realidad, con el fin de asegurar todas las actividades del mantenimiento autónomo. Para llevar a cabo esta fase, es necesario que los operarios y el personal de mantenimiento estén completamente calificados para realizar los procesos de inspección y así mismo poder realizar propuestas de mejoramiento continuo de los estándares; para ello se sugiere lo siguiente:

- Evaluar los lineamientos de los estándares existentes con la participación de los líderes de producción y de mantenimiento, quienes deben contar con una capacitación en el diseño de estándares. Como metodología para la evaluación de los estándares, se sugiere la utilización de un modelo similar al 5W-2H, el cual se puede detallar en la figura 17. En el contenido de cada estándar deben estar las respuestas a las preguntas, de lo contrario, estos deben ser mejorados

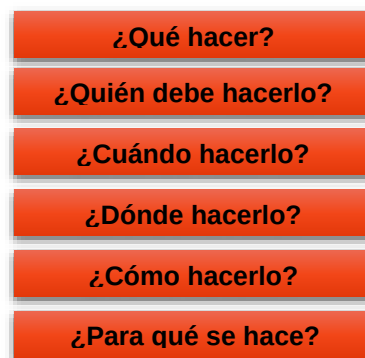


Figura 17. Preguntas para la evaluación de los estándares

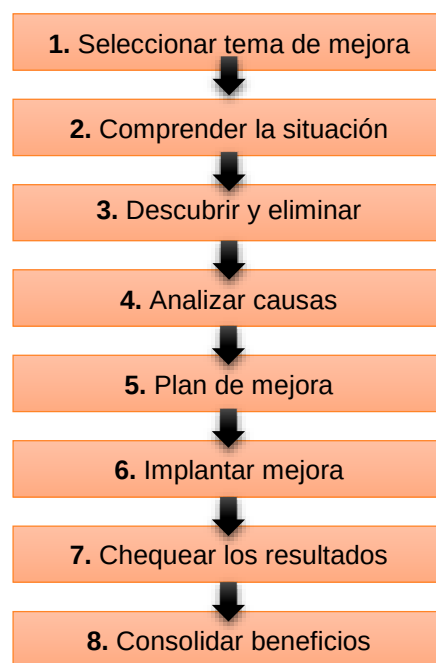
- Redactar claramente el nuevo estándar o la modificación para que todas las partes involucradas lo entiendan, además se debe definir la fecha en la que se empezará a aplicar el estándar.
- Divulgar mediante las carteleras o medios electrónicos de la empresa la creación o modificación de los estándares con el fin de que todos los involucrados tengan conocimiento de los cambios.
- El comité de TPM deberá revisar periódicamente los estándares con el objetivo de que estos no entren en obsolescencia y sigan cumpliendo su función dentro del programa.

El paso final, denominado práctica plena de la autogestión se basa en mejorar continuamente mediante el registro y análisis de los datos de mantenimiento obtenidos. Para llevar a cabo este último paso, se debe contar con operarios capaces de resolver reparaciones simples y con habilidades para registrar y analizar los datos y así identificar las debilidades de los procesos.

10. PROGRAMA DE MEJORA ENFOCADA

Como proyecto de mejora enfocada se tiene en cuenta la productividad y capacidad de empaque. Como se mencionó inicialmente, en el empacadero se presenta actualmente una situación preocupante sobre el ausentismo, lo que afecta directamente la disponibilidad del proceso de empaque (operación que realiza los operarios de la rotonda) e indirectamente, el uso de las máquinas, ya que las máquinas empacadoras no pueden pre empacar más de lo que los operarios pueden empacar y generalmente se apagan o se reducen su velocidad, incumpliendo las solicitudes generadas por el área de mercadeo.

De acuerdo con la literatura consultada se decide basar el diseño del programa de mejora enfocada en los ocho pasos propuestos por Tokutaro Suzuki en su libro “TPM en industrias de proceso”, tal como lo muestra la figura 18.



*Figura 18. Pasos para implementar la mejora enfocada
(Fuente: Modificado de Paredes (2009))*

Para el proyecto se realizaron acercamientos con el personal del área del empacadero, en cada una de las etapas se mencionarán las actividades ejecutadas con el fin de ejemplificar cada uno de estos pasos; estas actividades permitieron que los colaboradores, entendieran lo que es la mejora enfocada.

Dentro de este capítulo se mencionan dos ideas de mejora, una es la nivelación de la producción y otra es la automatización del proceso de empaque, estas mejoras se plantean de acuerdo con la consulta de la literatura y la visita a empresas donde realizan proyectos de TPM.

Paso 1. Seleccionar tema de mejora

Para la selección del tema de mejora, los directivos en conjunto con el equipo TPM deben visitar constantemente el área del empacadero con el fin de observar y determinar en conjunto con los colaboradores las dificultades que se presentan tanto operativas como de la estructura y mano de obra. Se sugiere que para esta etapa de observación se conformen equipos de mejoramiento que vayan alineados con la estrategia del área y de la compañía en general, la idea de estos grupos es que estén conformados por el personal operativo y administrativo con un líder. La finalidad de estos equipos es que surjan varias ideas de mejoramiento a partir de actividades dinámicas como la creación de logo, misión, visión y valores para cada uno de los grupos y actividades de capacitación en temas sobre TPM.

Para que los colaboradores tuvieran un acercamiento con los equipos de mejoramiento, en conjunto con el jefe de área se realizó un grupo dentro del cual se hicieron partícipes al personal operativo y en conjunto se logró construir, la misión, visión, y valores del equipo de trabajo, además se realizó una cartelera TPM en la que se muestran los principales indicadores del área y algunos temas TPM importantes para que ellos tengan en cuenta.



Figura 19. Equipo de mejoramiento (Fuente: Elaboración propia)

A partir de este proceso se debe identificar los problemas y oportunidades de mejora de acuerdo con los objetivos de la compañía, problemas de calidad y entrega al cliente, criterios organizacionales, mejoras significativas para construir capacidades competitivas desde la planta, entre otros.

Después de realizar las observaciones, cada equipo debe definir el tema de mejora y a partir de ahí planear una serie de actividades que de acuerdo a los niveles de dificultad deben tener a los responsables de la ejecución ya sea el personal de mantenimiento, los líderes del proyecto o los equipos de mantenimiento autónomo ya conformados. De acuerdo con Tokutaru, cada problema o dificultad debe ser evaluado con una calificación de A, B o C, para los proyectos de mejora con un grado de dificultad A, el responsable debe ser un líder del proyecto; para los de grado de dificultad B, el responsable debe ser el departamento de mantenimiento; y para los de grado de dificultad C, los equipos de mantenimiento autónomo. (Ver figura 20)

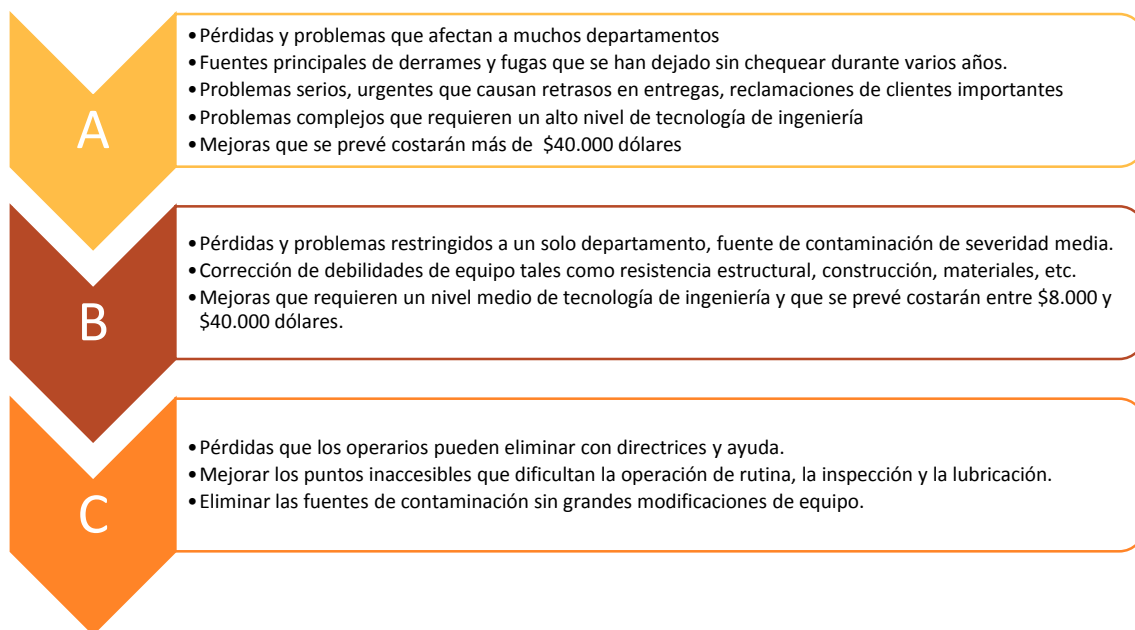


Figura 20. Evaluación de las dificultades o problemas (Fuente: Suzuki, 1996)

Una vez definido el tema y establecidos los equipos con sus respectivos roles y responsabilidades se debe registrar el tema de forma clara y precisa, para esto se sugiere la utilización del formato del anexo F, el cual permite una presentación clara y entendible para todos los niveles de la empresa.

Paso 2. Comprender la situación

En este paso, se realiza un análisis de la capacidad del proceso, se mide tiempos de operación de empaque de las máquinas operarios, se analiza información sobre el control de defectuosos, el registro de fallas y/o averías, su periodicidad y su tiempo medio de reparación con el fin de identificar los cuellos de botella y las pérdidas principales del proceso. Con base a estos factores encontrados, se plantean los objetivos medibles y alcanzables; entre el objetivo sea más grande será más productivo siempre y cuando se pueda alcanzar.

Dentro de la realización de este proyecto, se efectuaron algunos de estos procedimientos con el fin de que el personal del área y los directivos comprendieran con cifras la situación presentada. Esta tarea consiste en la recolección y análisis constante de toda la información en cuanto a fallas y anomalías de la operación, esta recopilación se utilizó para definir el análisis de la situación actual evidenciada en ese capítulo; a partir de esa identificación se plantearon los objetivos del proyecto, sin embargo, se espera que el personal del área haya adquirido las

habilidades para definir cada uno sus objetivos con planes de acción ejecutables a corto y mediano plazo.

Paso 3. Descubrir y eliminar anomalías

Para el desarrollo del paso tres de la mejora enfocada se debe partir de la información recolectada en el paso anterior, esto permite establecer las cuales son las condiciones en las que deben operar los equipos y así mismo descubrir la forma de eliminar estas anomalías. Las sugerencias propuestas para llevar a cabo este paso son las especificadas en el plan de mantenimiento autónomo, en la Fase I, es decir que al ser aplicadas son una herramienta que no sirve solo para la ejecución del mantenimiento autónomo sino también de la mejora enfocada.

Paso 4. Analizar las causas

Para analizar las causas de debe tener definidas y estratificadas las pérdidas y el principal problema presentado dentro del área y definido por cada uno de los equipos de mejoramiento, en este paso se sugiere la utilización de herramientas como el análisis de Know-Why, también denominado ¿Por qué? ¿Por qué?, esto permite ir más allá de las situaciones e identificar causas raíces para el problema central.

Para el análisis de las causas se realizó en conjunto con el personal del área la construcción del diagrama Ishikawa observado en el capítulo de análisis de la situación actual, además se ejecutó también el análisis Know-Why a partir de una lluvia de ideas de los colaboradores. (Ver anexo G) Se sugiere que este análisis sea realizado por cada uno de los equipos de mejoramiento con el fin de encontrar más causas asociadas al problema principal y así mismo más ideas de mejora.

Paso 5. Planificar la mejora

En este paso se realiza un bosquejo y se proponen varias alternativas de mejora, con el fin de no excluir ninguna idea y se compara la eficacia de las propuestas. Se debe de generar una participación por parte de diferentes partes con el fin de tener una visión más amplia, y no dejar la responsabilidad a otros entes (fabricantes, expertos externos, etc.). Además, se debe de evitar las mejoras que impacten negativamente en otro sector de la empresa, generando un problema.

Para la planificación de la mejora se tuvieron en cuenta sugerencias del personal operativo como por ejemplo la modificación de los formatos de registro de anomalías

que permitieron realizar un mejor análisis de la situación, además la propuesta para la adquisición de herramientas de trabajo que les permitan a ellos prestar primeros auxilios a las máquinas. Además, se realizaron visitas a empresas que tienen implementado TPM para observar la estructura de las instalaciones y la forma de trabajo de estas, a partir de ahí, en compañía con el personal administrativo y teniendo en cuenta que la principal pérdida identificada dentro de la operación es la pérdida de trabajo manual, se definieron dos alternativas de mejora, una es la nivelación de la producción y la otra es la automatización del proceso de empaque.

Paso 6. Implantación de la mejora

En este paso, se realiza el plan de mejora y se implanta, se socializa en cada fase de implementación de la mejora a las personas en sus lugares de trabajo, para que tengan conocimiento y acepten las mejoras. Se procede si se da el caso, a una expansión horizontal o despliegue lateral, es decir, si se va a realizar una misma mejora para dos máquinas iguales, primero se realiza en una y con base a los resultados, se procede a ejecutarla en la otra. Cabe resaltar que la organización no debe centrarse totalmente por la mejora enfocada y dejar de lado las actividades y las propuestas de mejoras de los pequeños grupos formados para la realización del mantenimiento autónomo, dado que generaría un efecto negativo y perjudicaría el programa de TPM en su conjunto.

Paso 7. Chequear los resultados

En este paso, se realiza un seguimiento de los resultados generados por la mejora desde la fase de implantación en adelante, especificando y/o detallando las mejoras más eficaces y lo que ha conllevado que sea de esta forma. Esta información se coloca en tableros por toda la empresa con el fin de que cada área tenga conocimiento de las mejoras implantadas y el progreso de cada uno. Se verifica el cumplimiento de los objetivos, de no cumplirlos, se regresa al paso 4, de análisis de causas. El comité debe de realizar un gráfico donde se listen los proyectos de mejora para supervisar su progreso y su factibilidad económica durante su desarrollo. Se sugiere la utilización del formato del anexo K para registrar el seguimiento de las mejoras enfocadas.

Paso 8. Consolidación de logros

En este paso, se estandariza los métodos de trabajo mejorados y se crean manuales, con el fin de que las personas realicen el procedimiento nuevo; de igual manera, se debe de chequear periódicamente su cumplimiento.

Además, se debe de realizar auditorías siempre que se culmine cada paso y planear y ejecutar acciones que cercioren los logros alcanzados en cada fase. Estas auditorías también se realizan con la intención de que los equipos reflexionen sobre el progreso de las mejoras y determinen las nuevas acciones a realizar antes de seguir con la siguiente fase.

10.1 PRODUCCIÓN NIVELADA

Para encontrar una solución mediante la metodología de producción nivelada, se propone un flujo de planta, es decir, que las máquinas y/o personal se dispongan de acuerdo al flujo de los productos (ver figura 22). En este caso, a pesar de tener cuatro referencias, se cuentan con dos secuencias de producción (empaques), la de las presentaciones de libra y libra americana, y la de kilo y 2.5 kilos. A continuación, se muestra como se encuentra distribuida la línea familiar y posteriormente, como se propone para la evaluación de la implementación del heijunka.

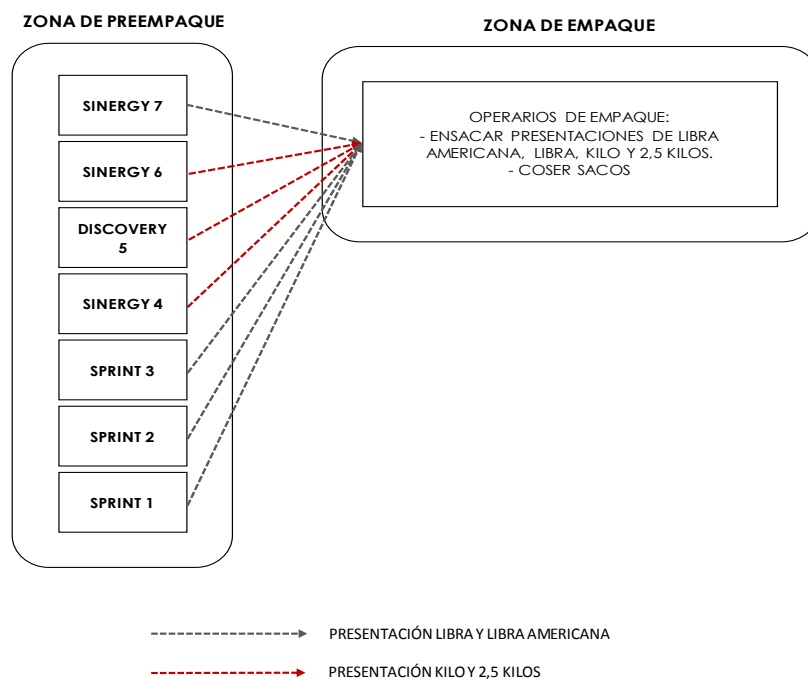


Figura 21. Celdas de manufactura, escenario inicial

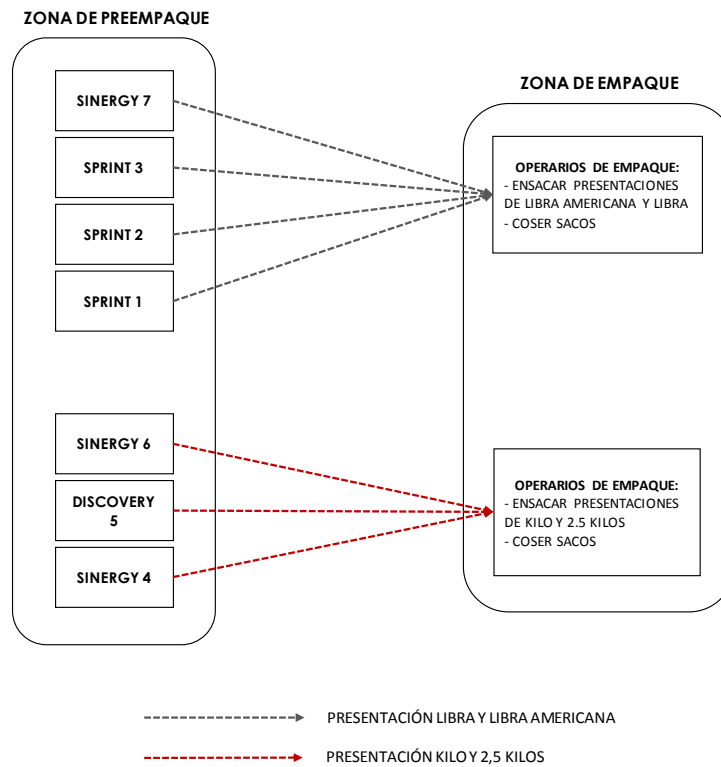


Figura 22. Celdas de manufactura, escenario propuesto

Aunque el uso de células de trabajo generalmente genera más cambios de referencia, en este caso no aplica ya que las máquinas antes y después de la organización propuesta se utilizan para dos referencias.

Luego de la utilización de las células de trabajo, se propone un flujo pieza a pieza, es decir, que no se empacará más de lo solicitado. Se asume que se configura toda la cadena logística a este modelo, en las que entran acciones como estrategias colaborativas con proveedores, eficiencia máxima en el flujo de la información, entre otras.

Por otra parte, la implementación del sistema Kanban sería ideal, sin embargo, es una herramienta compleja de introducir en los procesos del empacadero puesto que no solamente necesita de la participación y responsabilidad al interior de la organización, sino también de los proveedores.

La demanda de todos los clientes al mes, se toma como la demanda de un solo cliente (área de mercadeo), por lo tanto, cuando se produce la demanda de un mes (entrega), se recibe la del siguiente mes y se empieza a empacar ésta, y así sucesivamente.

Luego, se calcula el takt time con el fin de encontrar el ritmo de producción de la línea familiar del empacadero. A continuación, se muestra el cálculo del takt time para el caso de la referencia de libra y libra americana (454 g) en el mes de enero (mes 1), se realiza juntos porque no se encuentra definido qué máquina va a empacar una referencia y cuál máquina empacará la otra, por lo tanto, se suma la demanda mensual, mientras que el tiempo disponible es el mismo debido a que si una máquina empaca una presentación, no puede empacar la otra al mismo tiempo. Se halla el takt time mensual, ya que como la demanda es variable para los diferentes meses, hay uno para cada uno de estos.

$$Takt\ time_{libra\ y\ libra\ americana - mes1} = \frac{Tiempo\ disponible\ (min/mes1)}{Demanda\ (QQ/mes1)}$$

$$Takt\ time_{libra\ y\ libra\ americana - mes1} = \frac{28.630\ (min/mes1)}{40.400\ (QQ/mes1)} = 0,71min/QQ$$

A partir de este cálculo, se halla el takt time para las demás referencias, el resultado se puede observar en la tabla 11

Mes	Estación	Tiempo disponible mensual (min)	Demanda mensual (QQ)	Takt time del mes(min)	Lista de ítem
1	Preempaque	28.630	40.400	0,71	454 g y 500 g
			43.028	0,67	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		83.428	0,34	Todas las referencias
2	Preempaque	32.670	44.400	0,64	454 g y 500 g
			43.629	0,66	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		88.029	0,33	Todas las referencias
3	Preempaque	21.100	46.500	0,62	454 g y 500 g
			41.250	0,69	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		87.750	0,33	Todas las referencias
4	Preempaque	20.344	44.800	0,64	454 g y 500 g
			46.200	0,62	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		91.000	0,31	Todas las referencias
5	Preempaque	9.420	15.300	1,87	454 g y 500 g
			11.000	2,60	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		26.300	1,09	Todas las referencias
6	Preempaque	29.925	56.708	0,50	454 g y 500 g
			30.800	0,93	1 kg y 2,5 kg
	Empaque		87.508	0,33	Todas las referencias

Tabla 11. Takt time por proceso y por referencia para la línea familiar
(Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos de Riopaila Castilla S.A)

Luego, se calcula el tiempo de ocupación, se ejemplificará con la máquina Sprint 1, del mes de enero (mes 1), de la siguiente manera:

$$Tiempo\ ocup_{\text{Sprint 1-Mes 1}} = Tiempo\ preemp_{\text{libra americana}} + Tiempo\ preemp_{\text{libra}}$$

Se tiene en cuenta sólo el tiempo de preempaque de las referencias libra y libra americana, porque la máquina Sprint 1, no puede preempacar las presentaciones de kilo y 2,5 kilos.

Para hallar el tiempo de preempaque de las referencias, se realiza lo siguiente (ejemplo: presentación de libra).

$$Tiempo\ preemp_{\text{libra}} = Demanda\ libra\ asig_{\text{Sprint 1}} * Tiempo\ preemp_{\text{Sprint 1 - libra}}$$

El tiempo de preempaque de la referencia de libra es el inverso de la velocidad de la máquina en las unidades necesarias, en este caso, (min/QQ). En cuanto a la demanda, dado el caso actual, en que las máquinas preempacadoras de las referencias libra y libra americana tienen la misma velocidad para ambas presentaciones, las demandas de éstas, se distribuyen de manera equitativa entre la Sprint 1, 2 y 3 y Sinergy 7.

Por lo cual, la fórmula está dada por (ejemplificación, del caso de asignación de demanda de libra, para el mes de enero):

$$Demanda\ libra\ asig_{\text{Máq preempac.}} = \frac{Demanda\ libra\ mes\ 1}{4}$$

Con la información anterior y dado que la demanda de libra y libra americana asignada a la Sprint 1 para el mes de enero es de 7.400 QQ y 2.700 QQ, respectivamente, y de que el tiempo de pre empaque de estas referencias es de 2,083 min y 2,294 min, respectivamente, entonces:

$$Tiempo\ preemp_{\text{libra}} = 7.400QQ * 2,083\ min/QQ = 15.414,2\ min$$

$$Tiempo\ preemp_{\text{libraamericana}} = 2.700QQ * 2,294\ min/QQ = 6.193,8\ min$$

$$Tiempo\ ocup_{\text{Sprint 1-Mes 1}} = 6.193,8\ min + 15.414,2\ min = 21.608\ min$$

Máquina	Tiempo uso (min/mes1)	Tiempo uso (min/mes2)	Tiempo uso (min/mes3)	Tiempo uso (min/mes4)	Tiempo uso (min/mes5)	Tiempo uso (min/mes6)
Sprint 1	21.611,60	23.716,04	24.788,68	23.924,38	7.968,75	30.229,26
Sprint 2	21.611,60	23.716,04	24.788,68	23.924,38	7.968,75	30.229,26
Sprint 3	21.611,60	23.716,04	24.788,68	23.924,38	7.968,75	30.229,26
Sinergy 4	22.873,33	23.695,34	20.032,38	32.994,50	0,00	0,00
Discovery 5	8.800,00	8.360,00	10.560,00	0,00	8.800,00	24.640,00
Sinergy 6	22.246,12	23.045,58	19.483,06	32.089,75	0,00	0,00
Sinergy 7	21.611,60	23.716,04	24.788,68	23.924,38	7.968,75	30.229,26
Operario n	27.598,08	29.528,78	29.688,01	30.956,78	8.608,67	30.635,50

Tabla 12. Tiempos de ocupación de cada recurso del empacadero

En la tabla 12, se muestran los tiempos de ocupación de cada recurso del empacadero, los resaltados en color rojo, significan que son mayores al tiempo disponible del recurso para ese periodo de tiempo, por ejemplo, el tiempo de uso necesario de la máquina Sprint 1 en el mes de Marzo para cumplir con la demanda correspondiente, sobrepasa el tiempo disponible ($24.788,68 \text{ min} > 21.100 \text{ min}$), esto significa que para ese periodo de tiempo, la máquina Sprint 1 no puede cumplir con la demanda asignada, resaltando que las asignaciones se hacen de acuerdo a la velocidad de empaque, es decir, si se necesita 1000 unidades de libra y de las cuatro máquinas que la pueden pre empacar, una es más eficiente que las demás, a ésta se le asigna la mayor cantidad de unidades posible (sin que se pase del tiempo disponible); cuando lo anterior sucede, es porque no hay otra máquina a la cual asignar las unidades restantes.

En la tabla 12, también se puede observar que los tiempos de uso para los seis periodos de las máquinas Sprint 1, 2 y 3 y Sinergy 7, son iguales. Lo anterior se debe a dos cosas: el tiempo disponible para estas máquinas en todos los periodos y la velocidad de empaque para cualquiera de las dos posibles referencias (libra y libra americana) son iguales, lo que genera una asignación equitativa de las demandas. Por otra parte, las máquinas Sinergy 4 y 6 y Discovery 5, a pesar de tener el mismo tiempo disponible en todos los periodos, las velocidades de empaque de las dos referencias posibles (1 kilogramo y 2,5 kilogramos) son diferentes, trayendo consigo una asignación no equitativa.

Para el caso de los colaboradores del área de empaque, se muestra el resultado para el “operario n”, generalizando el tiempo de uso para cualquier de los 18 operarios de empaque, 6/turno. Como el tiempo disponible de todos los operarios es igual en todos los periodos, tienen la capacidad de empacar cualquier presentación y la velocidad de empaque de éstas se supone igual (promedio), la asignación de la demanda se hace de manera equitativa para todos los colaboradores de empaque. La demanda asignada de cada presentación es la sexta parte de la necesidad total de esta referencia para cada periodo de tiempo, dado que se toma el caso en paralelo, de que son seis operarios que trabajan todo el día (tres turnos) todos los días.

Se puede concluir que, dado que el tiempo que las máquinas y operarios están en uso no siempre son menores al tiempo disponible para el proceso, la capacidad de los recursos con los que se cuenta actualmente no satisface totalmente la demanda de las referencias en los seis periodos. Adicionalmente, cabe resaltar que, al tiempo disponible determinado para las máquinas y operarios, no se ha tenido en cuenta los tiempos muertos generados por las averías en el caso de las máquinas, y por el ausentismo en el caso de los operarios, tiempos que afectan la disponibilidad de los recursos.

Por otra parte, la nivelación de la cantidad de producción se hace compleja debido a la estacionalidad de la demanda (área de mercadeo), ya que la producción se

detiene cuando se presentan inviernos fuertes y extensos, y la nivelación de la producción por SKUs, se hace imposible mientras que no se nivele la cantidad de producción. Sin embargo, en la propuesta de introducción de enfardadoras a la línea, se mantiene la célula de trabajo, flujo continuo pieza a pieza (unidad de tiempo = mes) y se espera alcanzar a operar bajo el takt time, dependiendo de la nueva capacidad.

10.2 AUTOMATIZACIÓN CON ENFARDADORAS

Se evaluará la inclusión de una y/o dos enfardadoras que reemplacen los operarios de empaque y así se pueda alcanzar la demanda generada y reducir el efecto del ausentismo. En la actualidad, el área de empaque de la línea familiar, cuenta con 14 operarios por turno, lo que se traduce en un total de 42 colaboradores por día, de los cuales 36 son operarios de la rotonda (12 por turno). De esos 12 operarios de la rotonda por turno, seis se dedican a empacar y los otros seis a coser los sacos. Se plantea adquirir enfardadoras que realicen el trabajo de los colaboradores de la rotonda, manteniendo así a un trabajador por cada enfardadora que se adquiera, cada uno de estos asignados para el manejo y cuidado de esta. Como resultado se obtiene que, de los 42 operarios por día, si se adquiere una enfardadora se mantendrían sólo 27, por otra parte, si se adquiere dos enfardadoras se mantendría 12 operarios por día, reduciendo más del 70% y por ende un 70% de probabilidad de que falten los operarios, ya sea por motivo de ausentismo, capacitaciones o diligencias laborales.

Lo anterior se introducirá en un modelo matemático con el fin de optimizar la cantidad de producto empacado en cada escenario y así mismo el porcentaje de cumplimiento de la demanda. Los escenarios son los siguientes: escenario inicial (42 operarios, 7 máquinas), escenario 1 (27 operarios, 8 máquinas) y escenario 2 (12 operarios, 9 máquinas)

De acuerdo con la literatura consultada, se opta por la creación de escenarios a partir del modelo inicial en lugar de realizar un análisis de sensibilidad, dado que no solamente se modifican parámetros, sino que también se elimina una variable al modelo.

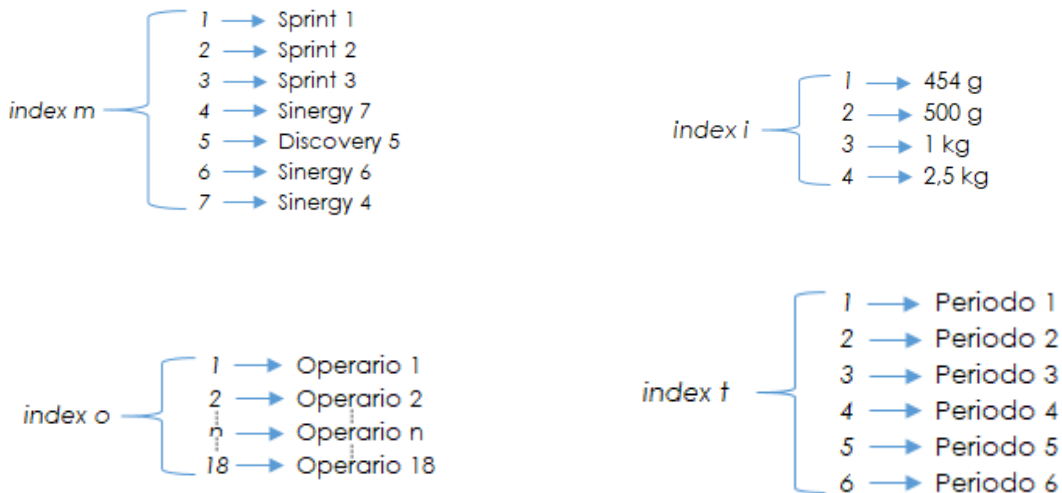
10.2.1 Modelo de programación lineal entera mixta (MILP)

Los parámetros y el origen de éstos se muestran a continuación en la tabla 22.

PARÁMETRO	ORIGEN
T_{im}	Capacidad nominal de diseño, obtenido de la coordinadora del empacadero
T_{io}	Toma de tiempos a operarios empacando sacos de cada una de las presentaciones, obtenido de la practicante del empacadero
T_{ie}	Capacidad nominal de diseño, obtenido del fabricante
D_{mt}	Calculado a partir de información dada de la coordinadora del empacadero sobre tiempos muertos de las máquinas
D_{ot}	Calculado a partir de información dada de la coordinadora del empacadero sobre ausentismo, entre otros, de los operarios
D_{et}	Obtenido a partir de un caso similar en un ingenio
P_{im}	Conteo de defectuosos de cada máquina al empacar cada producto, obtenido de la practicante del empacadero
P_{io}	Conteo de defectuosos de cada operario al empacar un saco de cada producto, obtenido de la practicante del empacadero
Dem_{it}	Obtenido a partir de un caso similar en un ingenio
P_{ie}	Obtenido de la coordinadora del empacadero

Tabla 13. Origen de los parámetros utilizados para el desarrollo de los escenarios de los modelos de

Escenario 1. Situación actual



Parámetros

T_{im} = Tiempo que necesita la máquina m para preempacar el producto i [s]

T_{io} = Tiempo que necesita el operario o para empaacar el producto i [s]

D_{mt} = Disponibilidad que tiene la máquina m para preempacar en el periodo t [h]

D_{ot} = Disponibilidad que tiene el operario o para empaacar en el periodo t [h]

P_{im} = Proporción de defectuosos que la máquina m genera al preempacar el producto i

P_{io} = Proporción de defectuosos que el operario o genera al empaacar el producto i

Dem_{it} = Demanda del producto i para el periodo t [unid]

Variables

X_{imt} = Cantidad del producto i que preempaca la máquina m en el periodo t [unid]

Y_{iot} = Cantidad del producto i que empaca el operario o en el periodo t [unid]

Función objetivo (F.O.)

$$\text{Máx } W = \sum_{i=1}^4 \sum_{o=1}^{36} \sum_{t=1}^6 Y_{iot}$$

Restricciones

Capacidad de las máquinas

$$\sum_{i=1}^4 (T_{im} * X_{imt}) \leq (D_{mt}) * 3600 \quad \forall m, t$$

Capacidad de los operarios

$$\sum_{i=1}^4 (T_{io} * Y_{iot}) \leq (D_{ot}) * 3600 \quad \forall o, t$$

Balanceo pre-empaque y empaque

$$\sum_{m=1}^7 X_{imt} * (1 - P_{im}) = \sum_{o=1}^{18} Y_{iot} \quad \forall i, t$$

Cumplimiento de la demanda

$$\sum_{o=1}^{18} (Y_{iot} * (1 - P_{io})) \leq Dem_{it} \quad \forall i, t$$

Relación máquina-referencia

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \geq 5$$

$$\sum_{i=3}^4 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \leq 4$$

El modelo tiene en cuenta parámetros como tiempo de procesamiento (empaquete), disponibilidad de recursos, proporción de defectuosos y demanda de las referencias para los seis meses, con el fin de encontrar la solución óptima de empaque por parte de los operarios, quienes son los que al final terminan todo el proceso (empaquete y cosido). La función objetivo está dada por la suma de todas las unidades empaçadas de todas las referencias en los seis meses. Las restricciones utilizadas se justifican en la tabla 14.

RESTRICCIÓN	JUSTIFICACIÓN
Capacidad de las máquinas	Verifica que el tiempo que lleva pre empaçar por la máquina en el periodo t, la cantidad asignada de todos los productos no sobrepase su disponibilidad en ese periodo. Lo anterior se realiza para cada máquina, y para cada periodo.
Capacidad de los operarios	Verifica que el tiempo que lleva empaçar por el operario en el periodo t, la cantidad asignada de todos los sacos de productos no sobrepase su disponibilidad en ese periodo. Lo anterior se realiza para cada operario, y para cada periodo.
Capacidad de las enfardadoras	Verifica que el tiempo que lleva empaçar por la enfardadora en el periodo t, la cantidad asignada de todos los sacos de productos no sobrepase su disponibilidad en el periodo t. Lo anterior se realiza para cada enfardadora, y para cada periodo.
Balanceo pre-empaquete y empaquete	Verifica que la cantidad empaçada por los operarios y/o enfardadoras sea la cantidad que las máquinas han pre empaçado, ya que no puede haber un almacén de producto en proceso, ni se puede empaçar más de lo que se ha pre empaçado.
Cumplimiento de la demanda	Verifica que la cantidad que se haya empaçado en el periodo t de todos los productos, no exceda la cantidad demandada, y al maximizar la cantidad empaçada de los productos, se trata de cumplir con la demanda de cada referencia en cada periodo de tiempo.
Relación máquina-referencia	Asegura que las máquinas pre empaçadoras no puedan pre empaçar ciertas referencias en ningún periodo de tiempo (la máquina no tiene la capacidad para pre empaçar ciertas referencias por su diseño).

Tabla 14. Justificación de las restricciones utilizadas en el MIPL

Solución del modelo MILP. Escenario 1

El modelo de la situación actual se programa en AMPL (anexo H), y se resuelve mediante el servidor NEOS-SERVER en el solver Gurobi. La solución arroja que, en el primer semestre, no se cumplió con 93.505 QQ, del cual el 83,74% son de las referencias de 500 g y 1 kg. La solución muestra semejanza a lo que sucedió en la

realidad en este periodo de tiempo, ya que en el ingenio Riopaila Castilla, no se cumplió con 130.287 QQ, del cual el 100% son de las referencias de 500 g y 1 kg. El modelo arroja un resultado mejor, debido a que optimiza la producción y los parámetros son constantes, mientras que, en la realidad, éstos varían.

	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	Real	Modelo	Real	Modelo	Real	Modelo	Real	Modelo	Real	Modelo	Real	Modelo
454 g	8.043	10.793	10.465	11.191	7.417	10.793	5.430	11.182	39.789	-	51.873	12.759
500 g	20.065	29.591	20.595	29.122	12.122	23.892	13.330	26.976	9.174	14.691	34.226	34.850
1 kg	29.240	32.016	24.644	33.174	12.934	14.451	20.564	13.353	955	-	2.285	-
2,5 kg	10.088	9.481	11.423	10.429	11.620	-	802	-	9.073	10.978	34.691	30.788

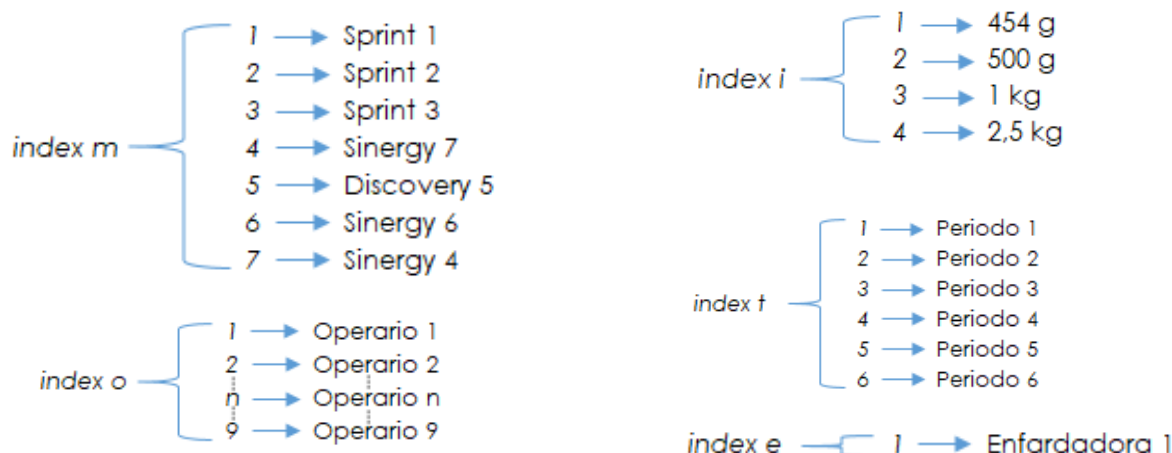
Tabla 15. Comparación entre los resultados obtenidos y la realidad del primer semestre de 2017

En la tabla 15, se puede observar que las cantidades empacadas son mayores en la mayoría de los casos, sin embargo, se mantiene cierta similitud con la realidad, el hecho de que el modelo sea de optimización hace que sea imposible que las cantidades sean iguales. Además, se evidencia que, en el resultado del modelo, cuando no existe demanda de alguna referencia en algún mes, no empaca, en la realidad sí.

Escenario 2. Implementación de una enfardadora

El modelo MILP para el escenario 2, varía respecto del escenario 1 en la inclusión de una enfardadora en vez de 18 operarios (6/turno, de los cuales, 3 de estos empaca y los otros 3 cosen).

MILP. Escenario 2



Parámetros

T_{im} = Tiempo que necesita la máquina m para preempacar el producto i [s]

T_{io} = Tiempo que necesita el operario o para empacar el producto i [s]

T_{ie} = Tiempo que necesita la enfardadora e para empacar el producto i [s]

D_{mt} = Disponibilidad que tiene la máquina m para preempacar en el periodo t [h]

D_{ot} = Disponibilidad que tiene el operario o para empacar en el periodo t [h]

D_{et} = Disponibilidad que tiene la enfardadora e para empacar en el periodo t [h]

P_{im}
= Proporción de defectuosos que la máquina m genera al preempacar el producto i

P_{io}
= Proporción de defectuosos que el operario o genera al empacar el producto i

P_{ie}
= Proporción de defectuosos que la enfardadora e genera al empacar el producto i

Dem_{it} = Demanda del producto i para el periodo t [unid]

Variables

X_{imt}
= Cantidad del producto i que preempaca la máquina m en el periodo t [unid]

Y_{iot} = Cantidad del producto i que empaca el operario o en el periodo t [unid]

Z_{iet}
= Cantidad del producto i que empaca la enfardadora e en el periodo t [unid]

Función objetivo (F.O.)

$$\text{Máx } W = \sum_{i=1}^4 \sum_{o=1}^9 \sum_{e=1}^1 \sum_{t=1}^6 (Y_{iot} + Z_{iet})$$

Restricciones

Capacidad de las máquinas

$$\sum_{i=1}^4 (T_{im} * X_{imt}) \leq (D_{mt}) * 3600 \quad \forall m, t$$

Capacidad de los operarios

$$\sum_{i=1}^4 (T_{io} * Y_{iot}) \leq (D_{ot}) * 3600 \quad \forall o, t$$

Capacidad de las enfardadoras

$$\sum_{i=1}^4 (T_{ie} * Z_{iet}) \leq (D_{et}) * 3600 \quad \forall e, t$$

Balanceo pre-empaque y empaque

$$\sum_{m=1}^7 X_{imt} * (1 - P_{im}) = \sum_{o=1}^9 Y_{iot} + Z_{iet} \quad \forall i, t$$

Cumplimiento de la demanda

$$\sum_{o=1}^9 (Y_{iot} * (1 - P_{io})) + (Z_{iet} * (1 - P_{ie})) \leq Dem_{it} \quad \forall i, t$$

Relación máquina-referencia

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \geq 5$$

$$\sum_{i=3}^4 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \leq 4$$

En este modelo, se agrega la restricción de capacidad de las enfardadoras ya que se tiene una nueva variable, se modifican las restricciones de balanceo de empaque y cumplimiento de la demanda puesto que el proceso de empaque final no depende

de los operarios solamente sino también de la enfardadora. La explicación de las restricciones utilizadas se encuentra en la tabla 14.

Solución del modelo MILP. Escenario 2

El modelo del escenario 2 se programa en AMPL (anexo I), y se resuelve mediante el servidor NEOS-SERVER en el solver Gurobi. La solución muestra que, en el primer semestre, no se cumplió con 76.575 QQ de lo planeado, de los cuales el 79,47% son de las referencias de 500 g y 1 kg. La solución muestra una reducción con base a lo evidenciado con el escenario 1, produciendo 16.930 QQ de más.

	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2	Esc. 1	Esc. 2
454 g	10.793	10.793	11.191	11.191	10.793	9.479	11.182	10.104	-	-	12.759	13.140
500 g	29.591	29.591	29.122	29.122	23.892	25.339	26.976	28.164	14.691	14.691	34.850	34.431
1 kg	32.016	32.016	33.174	33.174	14.451	20.818	13.353	22.216	-	-	-	-
2,5 kg	9.481	10.978	10.429	10.429	-	-	-	-	10.978	10.978	30.788	30.788

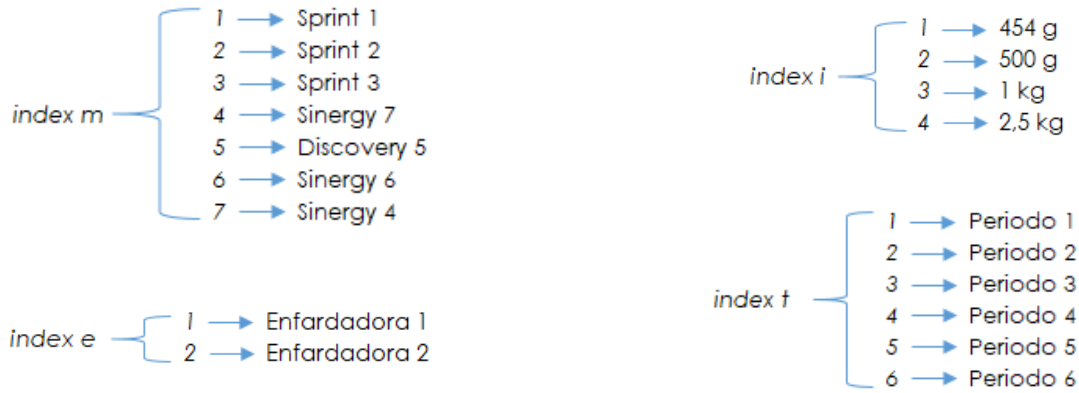
Tabla 16. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario 1 y escenario 2 del MIPL I - semestre de 2017 (Fuente: Elaboración propia)

En la tabla 16, se puede observar que con la inclusión de una enfardadora que reemplaza en la función de empaque a 18 operarios (en total, tres turnos) en el proceso de empaque, existe un aumento de la capacidad de empaque en diferentes periodos de tiempo (meses). Particularmente se evidencia el aumento del empaque de la referencia de libra y kilo, por ejemplo, en marzo aumentó en 1.447 y 6367, respetivamente, en abril incrementó en 1.188 y 8.862, respetivamente; en cuanto a las demás referencias, se destaca el aumento del empaque de la referencia de 2,5 kg en enero, el cual es de 1.497, y 381 de libra americana en junio.

Escenario 3. Implementación de dos enfardadoras

El modelo MILP para el escenario 3, varía respecto del escenario 1 en la inclusión de dos enfardadoras en vez de 36 operarios (12/turno, de los cuales, 6 de estos empaca y los otros 6 cosen).

MILP. Escenario 3



Parámetros

T_{im} = Tiempo que necesita la máquina m para preempacar el producto i [s]

T_{ie} = Tiempo que necesita la enfardadora e para empacar el producto i [s]

D_{mt} = Disponibilidad que tiene la máquina m para preempacar en el periodo t [h]

D_{et} = Disponibilidad que tiene la enfardadora e para empacar en el periodo t [h]

P_{im} = Proporción de defectuosos que la máquina m genera al preempacar el producto i

P_{ie} = Proporción de defectuosos que la enfardadora e genera al empacar el producto i

Dem_{it} = Demanda del producto i para el periodo t [unid]

Variables

X_{imt} = Cantidad del producto i que preempaca la máquina m en el periodo t [unid]

Z_{iet} = Cantidad del producto i que empaca la enfardadora e en el periodo t [unid]

Función objetivo (F.O.)

$$\text{Máx } W = \sum_{i=1}^4 \sum_{e=1}^2 \sum_{t=1}^6 Z_{iet}$$

Restricciones

Capacidad de las máquinas

$$\sum_{i=1}^4 (T_{im} * X_{imt}) \leq (D_{mt}) * 3600 \quad \forall m, t$$

Capacidad de las enfardadoras

$$\sum_{i=1}^4 (T_{ie} * Z_{iet}) \leq (D_{et}) * 3600 \quad \forall e, t$$

Balanceo pre-empaque y empaque

$$\sum_{m=1}^7 X_{imt} * (1 - P_{im}) = \sum_{e=1}^2 Z_{iet} \quad \forall i, t$$

Cumplimiento de la demanda

$$\sum_{e=1}^2 (Z_{iet} * (1 - P_{ie})) \leq Dem_{it} \quad \forall i, t$$

Relación máquina-referencia

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \geq 5$$

$$\sum_{i=3}^4 \sum_{t=1}^6 X_{imt} = 0 \quad \forall m \leq 4$$

En este modelo, se agrega la restricción de capacidad de las enfardadoras ya que se tiene una nueva variable, se modifican las restricciones de balanceo de empaque y cumplimiento de la demanda puesto que el proceso de empaque final ya no depende de los operarios sino sólo de las enfardadoras. La explicación de las restricciones utilizadas se encuentra en la tabla 14.

Solución del modelo MILP. Escenario 3

El modelo del escenario 3 se programa en AMPL (anexo J), y se resuelve mediante el servidor NEOS-SERVER en el solver Gurobi arroja una solución que muestra que, en el primer semestre, no se cumplió con 66.013 QQ de la producción planeada, de los cuales el 70,33% pertenecen a las referencias de 500 g y 1 kg. La solución muestra una reducción con base a lo evidenciado en el escenario 1, produciendo 27.492 QQ de más.

Con la inclusión de una enfardadora más, que reemplaza en la función de empaque de 18 operarios (en total, tres turnos) en el proceso, se puede observar un aumento de la capacidad de empaque. En diferentes periodos de tiempo (meses) se evidencia el aumento del empaque de la referencia de libra, por ejemplo, en febrero y marzo aumentó en 4.072 y 1.377, respectivamente, el empaque de la referencia de libra americana aumentó en 1.087 el mes de abril; por otra parte, de la referencia de kilo, en los meses de marzo y abril se aumentó su empaque en 4.012 y 6.168, respectivamente; por último, las cantidades empacadas para la referencia de 2,5 kg se mantiene intacta (Ver tabla 17)

	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 2	Esc. 3	Esc. 2	Esc. 3
454 g	10.793	10.793	11.191	7.494	9.479	8.219	10.104	11.191	-	-	13.140	13.140
500 g	29.591	29.591	29.122	33.194	25.339	26.716	28.164	26.966	14.691	14.691	34.431	34.431
1 kg	32.016	32.016	33.174	33.174	20.818	24.830	22.216	28.383	-	-	-	-
2,5 kg	10.978	10.978	10.429	10.429	-	-	-	-	10.978	10.978	30.788	30.788

Tabla 17. Comparación entre los resultados obtenidos en el escenario 2 y escenario 3 del MIPL I - semestre de 2017 (Fuente: Elaboración propia)

10.2.2 Elección de la mejor alternativa

De acuerdo a lo consultado en la literatura de Degarmo, en su libro de Ingeniería Económica se realizará un análisis financiero para evaluar cuál es la mejor alternativa en términos económicos.

Para el análisis se tienen las siguientes alternativas:

A₁: Seguir con la capacidad y maquinaria actual

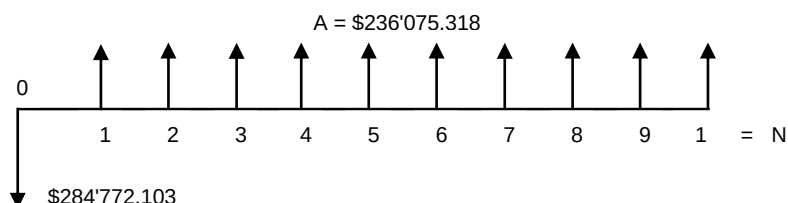
A₂: Adquirir una enfardadora

A₃: Adquirir dos enfardadoras

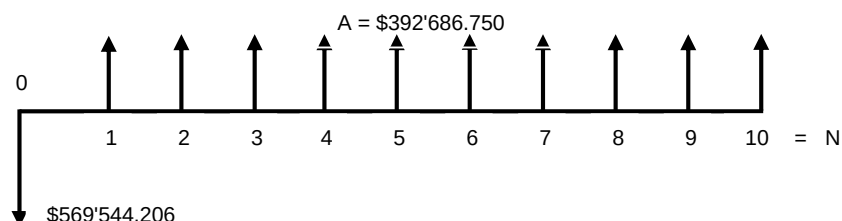
La inversión de la alternativa 1 es nula, mientras que para la alternativa 2 y 3, de acuerdo con una cotización de carácter confidencial realizada es \$284.772.103 y \$569.544.206, respectivamente.

En las gráficas 6 y 7 se pueden observar los diagramas de flujo de efectivo para las alternativas 2 y 3.

Se calcula el valor actual neto para las dos alternativas (2 y 3), sólo teniendo en cuenta la inversión en el periodo 0, el ahorro anual generado por el pago de nómina de 12 y 24 trabajadores respectivamente, y en cuanto a materiales, ya que la enfardadora trabaja con fardos y no sacos, los cuales son más económicos. El ciclo del proyecto es de 10 años, tiempo que se toma cuando el proyecto de inversión es de maquinaria y equipos. Se toma un TREMA del 10%.



Gráfica 8. Diagrama de flujo de efectivo de la alternativa 2



Gráfica 9. Diagrama de flujo de efectivo de la alternativa 3

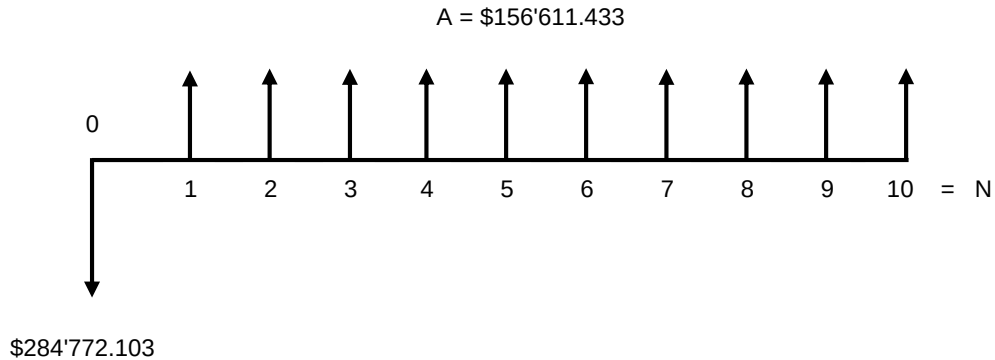
Cabe resaltar que, en este cálculo, no se tiene en cuenta el aumento de la utilidad al empacar más y poder satisfacer más la demanda. Tampoco se tiene en cuenta el ahorro en horas extras que se tienen en la actualidad para poder alivianar la problemática del ausentismo. Por otra parte, no se tiene en cuenta el aumento en los costos por energía, debido a que son máquinas que no se tienen en la actualidad y que incrementarían este ítem. Todos estos valores se dejan constantes o no se incluyen en el estudio, debido a falta de información de éstos.

A continuación, se muestra el valor presente de cada alternativa:

$$VP(10\%)_2 = -\$284'772.103 + \$236'075.318(P/A, 10\%, 10) = \$1.165'808.528$$

$$VP(10\%)_3 = -\$569'544.206 + \$392'686.750(P/A, 10\%, 10) = \$1.843'345.882$$

Como las dos tienen un VP mayor que cero, con la $i = \text{TREMA}$, las dos alternativas justifican su inversión. La alternativa 2 al necesitar una menor inversión se seleccionaría a menos que se justifique el capital adicional asociado a la alternativa 3.



Gráfica 10. Diagrama de flujo de efectivo de las alternativas 2 y 3

Al observar la gráfica 8, se determina que la mejor opción es la alternativa 3, los beneficios de invertir \$284.772.103 de más, tiene un valor presente de $\$1.843.345.882 - \$1.165.808.528 = 677'537.354$, lo que justifica el capital adicional a invertir en la alternativa 3.

$$VP(10\%)_{dif} = -\$284'772.103 + \$156'611.433(P/A, 10\%, 10) = \$677'537.354$$

11. SIMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA ENFOCADA

La simulación es una de las herramientas prácticas de la ingeniería industrial, que permite medir procesos o estimar los resultados de proyectos nuevos mediante la creación de un modelo bajo condiciones reales, pero en un escenario computacional irreal. Un modelo de simulación ayuda también a evaluar alternativas sin traer consigo sobrecostos o la incertidumbre de que cualquier error ocasionaría problemas en los procesos.

Por esta razón, se decide simular el escenario 3, el cual se eligió como la mejor alternativa, debido a su aumento de la productividad, utilidad, reducción de costos, entre otros, esto con el objetivo de evidenciar su mejoría aproximada y asemejada

a la realidad, ya que en el modelo optimiza el resultado, y en la vida cotidiana, es imposible hacerlo.

11.1 ESTRUCTURA DE LA SIMULACIÓN

Se cuenta con tres tolvas que suministran azúcar a las siete máquinas para el pre empaque de las presentaciones de 454 g, 500 g, 1 kg y 2.5 kg. La tolva familiar 4 surte a Sprint 1, Sprint 2 y Sprint 3, la tolva familiar 1 abastece a la Sinergy 6 y Sinergy 7, mientras que la tolva familiar 2 provee a la Sinergy 4 y Discovery 5. Se organiza las máquinas Sprint 1, Sprint 2, Sprint 3 y Sinergy 7 en una zona para surtir a la enfardadora 1, mientras que las máquinas Sinergy 4, Discovery 5 y Sinergy 6 se ubican en otra zona para suministrar a la enfardadora 2.

Las máquinas se distribuyen espacialmente como se muestra en la figura 20, aprovechando las características técnicas de las mismas, es decir, las máquinas que pueden pre empaquetar las referencias de libra y libra americana, en una misma zona con la enfardadora programada para empaquetar estas referencias; por otro lado, las máquinas que pueden pre empaquetar las referencias de kilo y 2.5 kilos con la enfardadora dispuesta para empaquetar estas referencias. Las máquinas que pre empaquetan se conectan con las enfardadoras correspondientes mediante bandas transportadoras.

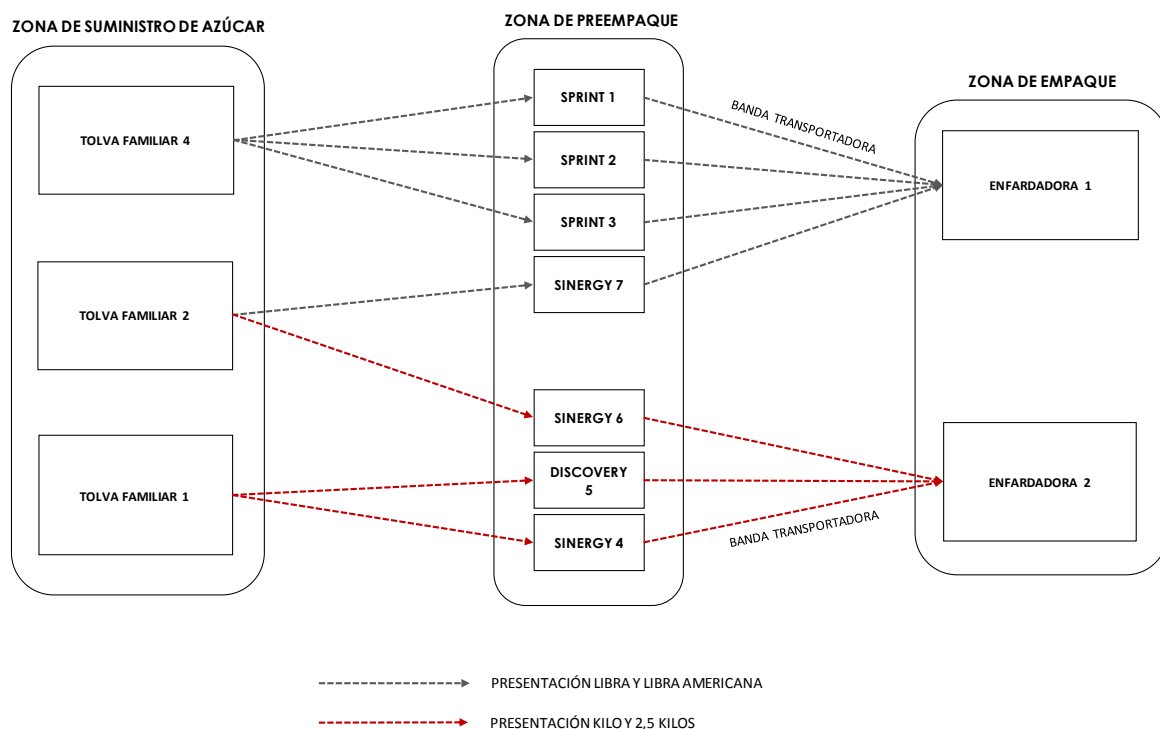


Figura 23. Diseño espacial de la propuesta de enfardadoras

Se simula este escenario en el programa Arena Master Development con la estructura mostrada en las tablas 18, 19 y 20.

			Tasa de llegada
Entidades	1	Tolva familiar 4	180 unid/h
	2	Tolva familiar 2	180 unid/h
	3	Tolva familiar 1	180 unid/h
	4	Cientes de libra americana	1 unid/mes
	5	Cientes de libra	1 unid/mes
	6	Cientes de kilo	1 unid/mes
	7	Cientes de 2,5 kilos	1 unid/mes

Tabla 18. Entidades utilizadas en el modelo de simulación

VARIABLES	JUSTIFICACIÓN
-----------	---------------

<i>Fardo libra americana</i>	Cuando la enfardadora empaca un fardo de la presentación libra americana, esta toma valor de 1. Además, sirve de insumo para el contador de fardos de esta presentación.
<i>Fardo libra</i>	Cuando la enfardadora empaca un fardo de la presentación libra, esta toma valor de 1. Además, sirve de insumo para el contador de fardos de esta presentación.
<i>Fardo kilo</i>	Cuando la enfardadora empaca un fardo de la presentación kilo, esta toma valor de 1. Además, sirve de insumo para el contador de fardos de esta presentación.
<i>Fardo súper kilos</i>	Cuando la enfardadora empaca un fardo de la presentación 2,5 kilos, esta toma valor de 1. Además, sirve de insumo para el contador de fardos de esta presentación.
<i>Demanda libra americana</i>	Sirve de insumo para la variable faltante de esta presentación, además para el contador de demanda de libra americana.
<i>Demanda libra</i>	Sirve de insumo para la variable faltante de esta presentación, además para el contador de demanda de libra.
<i>Demanda kilo</i>	Sirve de insumo para la variable faltante de esta presentación, además para el contador de demanda de kilo.
<i>Demanda súper kilos</i>	Sirve de insumo para la variable faltante de esta presentación, además para el contador de demanda de 2,5 kilos.
<i>Faltante libra americana</i>	Activa el proceso de empaque de la presentación libra americana
<i>Faltante libra</i>	Activa el proceso de empaque de la presentación libra
<i>Faltante kilo</i>	Activa el proceso de empaque de la presentación kilo
<i>Faltante súper kilos</i>	Activa el proceso de empaque de la presentación 2,5 kilos

Tabla 19. Variables utilizadas en el modelo de simulación

	VALOR	ASIGNACIÓN
Atributo: Reference	1	Unidad de libra americana
	2	Unidad de libra
	3	Unidad de kilo
	4	Unidad de 2,5 kilos

Tabla 20. Atributos utilizados en el modelo de simulación

- Cada tolva suministra azúcar (fardos de cualquier presentación) a razón de 180 unid/h a las máquinas asignadas; este valor surge de la necesidad de suplir la máxima cantidad de solicitudes, es decir, en el modelo, la tolva envía una unidad al sistema, este producto (fardo) puede tomar cualquier referencia, además de convertirse en varias referencias, si la planeación así lo indica. Por ejemplo, al inicio de la simulación, la demanda de cualquier presentación no está satisfecha en su totalidad, por eso cuando entra la primera unidad, aparece un decide, que identifica si se necesita producir una referencia, si se solicitan dos, tres o todas, dependiendo de la respuesta, ese producto se convierte en dos, tres o cuatro, por medio de un separate, y de ahí sale a las máquinas para el proceso de

empaque. Por lo tanto la cantidad mínima que la tolva debe enviar al sistema para que en algún instante de tiempo, las máquinas no estén detenidas por falta de producto (exceptuando fallas y paros por caña), es de una unidad cada 31,25 segundos (velocidad máxima de cualquiera de las máquinas pre empacadoras con cualquier referencia, en este caso, la Sprint 1 con la referencia de libra americana), lo que arroja un resultado de 115,2 unidades/h, sin embargo, se deja un tiempo de más por precaución. A cada unidad de azúcar (presentación) que entra al sistema se le identifica su demanda y su cantidad faltante para cumplir esta, mediante el valor de una variable denominada “Faltante de libra”, dando como ejemplo, la referencia de libra. La variable es modificada cada vez que llega una demanda (mensual) y cada vez que se empaqueta esa referencia.

Nota: Cabe resaltar que la idea inicial, era que la tolva suministrara azúcar, no como fardo sino como bolsita de cualquier presentación, sin embargo, la tasa de entrada de esta debía de ser mayor y al ejecutar la simulación, aparecía un problema de capacidad del software. Por lo tanto, se modificó lo anterior para generar unos resultados acordes a la realidad y en el periodo de tiempo deseado (semestre).

- La distribución de la cantidad de demanda mensual se obtiene del ajuste por medio del software Minitab, de las solicitudes realizadas en cada mes del primer semestre del presente año, dando como resultado una distribución normal, para todos los casos. Sin embargo, la llegada de cada demanda se introduce constante cada mes (2'106.000 segundos)
- Al identificar la necesidad de empaquetar alguna referencia, se identifica la máquina pre empacadora de la zona que se encuentre desocupada, cuando existe más de una en este estado, se envía a la primera que se haya agregado a la simulación. Por ejemplo, si la azúcar proviene de la tolva familiar 4, las máquinas disponibles y asignadas a satisfacer sus necesidades son la Sprint 1, 2 y 3; si todas se encuentran desocupadas, se envía a la Sprint 1, ya que fue la primera en adicionarse a la simulación.
- Cada máquina se le asigna un tiempo de operación dependiendo de la referencia a pre empaquetar y empaquetar, mediante el uso de atributos, ya que cuando es por ejemplo, la referencia de libra, se le asigna al atributo “Reference” un valor de 2.
- Se incluyen contadores de demanda y de fardos empacados para cada referencia, con el fin de obtener resultados de las variables a analizar.

La simulación se realiza para un periodo de 12.636.000 segundos, que se obtiene de multiplicar 180 días (6 meses de 30 días cada uno) por 1170 minutos (tiempo planeado de operación) y el resultado anterior se multiplica por 60 (segundos que contiene un minuto). Adicionalmente, se selecciona la opción del menú, Run – Run Control – Batch Run (No Animation), para poder obtener una solución en un lapso de tiempo corto, ya que se intentó simular a máxima velocidad con animación, pero ésta tenía una duración mayor a las 24 horas. Se escoge simular 6 meses ya que

ese fue el tiempo durante el cual se recopiló la información de las operaciones del empacadero.

11.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

La simulación del escenario 3, el cual consta del reemplazo de 36 operarios por dos máquinas enfardadoras, muestra resultados satisfactorios, que se pueden observar en la tabla 21.

	DEMANDA (QQ)	
	REAL	SIMULACIÓN
454 g	57.148	41.515
500 g	190.960	189.825
1 kg	139.457	227.416
2,5 kg	76.450	90.556

Tabla 21. Resultados de la simulación

La demanda semestral mostrada en la tabla 21 de la mayoría de referencias resultó semejante a la evidenciada en la realidad, en tres de los cuatro casos no supero una variación relativa del 30%, sin embargo, para el caso de la presentación de kilo se observa un aumento superior al 60%, debido a la desviación de la demanda real de esta referencia en los seis primeros meses de este año.



Figura 24. Cantidad de azúcar empacada (Resultado de la simulación)

La cantidad empacada al final del semestre en todos los casos fueron menores a la demanda, debido a la restricción de exceso de empaque (ver figura 24)

El cumplimiento de la demanda para las referencias libra americana, libra, kilo y 2.5 kilos fueron de 88.5%, 86.0%, 96.8% y 73.0%, respectivamente.

	EMPAQUE (QQ)	
	REAL	SIMULACIÓN
454 g	123.017	36.733
500 g	109.512	163.319
1 kg	90.622	220.071
2,5 kg	77.697	66.067
TOTAL	400.848	486.189

Tabla 22. Cumplimiento de la demanda Real Vs Simulación

En la tabla 22, se puede observar que la capacidad de empaque aumentó con referencia a la situación actual aproximadamente en un 21,29%, debido a que se empacó 486.189 QQ comparado con los 400.848 QQ que se empacaron en la realidad.



Figura 25. Unidades (Fardos) procesados en cada máquina (Resultado de la simulación)

De la figura 25, se puede deducir que las enfardadoras 1 y 2 son las máquinas que más tramitaron unidades, mientras que las restantes se muestran equilibradas. Esto sucede a que todo lo que tramiten las máquinas pre empacadoras (Sprint 1, 2 y 3, Sinergy 4, 6 y 7 y Discovery 5) tiene que ser procesadas por las máquinas empacadoras (Enfardadora 1 y 2).

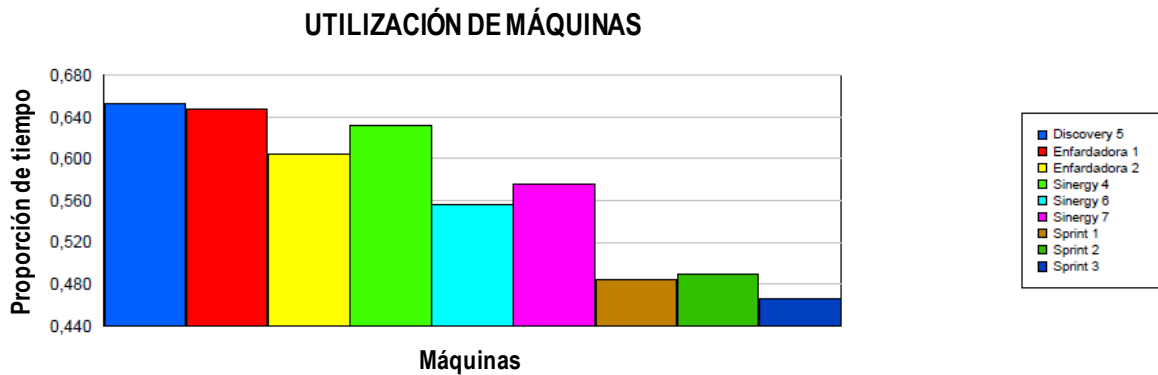


Figura 26. Utilización (%) de las máquinas (Resultado de la simulación)

La figura 26 muestra el porcentaje de utilización de las máquinas, en donde se puede observar que las máquinas Discovery 5, Sinergy 4 y Sinergy 6, son las que más tiempo están en operación, excluyendo las dos enfardadoras; y esto se explica porque la velocidad de estas comparada con la de la enfardadora 2, que es la que enfarda lo empacado por ellas, es relativamente baja, por lo tanto en algunos lapsos de tiempo, la enfardadora tiene tiempo ocioso mientras que cualquiera de estas tres máquinas empaquen las unidades. Caso contrario con el empaque de las referencias de libra y libra americana, que cuenta con cuatro máquinas pre empacadoras (Sprint 1, 2 y 3 y Sinergy 7) y una enfardadora empacadora (Enfardadora 1), en este caso, la velocidad de las máquinas pre empacadoras comparada con la enfardadora no es baja, y, por el contrario, la enfardadora mantiene ocupada.

En cuanto a tiempo promedio en cola, se obtiene del informe que la cola generada en las máquinas Discovery 5, Sinergy 4 y 6, y Enfardadora 1, son las de mayor tiempo, lo que se asocia a su tiempo de procesamiento y porcentaje de utilización, respectivamente.

De acuerdo a lo realizado durante todo el trabajo y al análisis de la situación actual del empacadero del ingenio Riopaila, se calcula el OEE teniendo en cuenta lo siguiente:

- Dado que los tiempos o las pérdidas de desempeño de las máquinas preempacadoras no se tienen en el área, este valor se supondrá del 100%, tanto para el estado actual, como para el futuro.
- Dado que no se cuenta con información sobre la cantidad de producto reprocesado, el factor de calidad del OEE se basará exclusivamente en el cálculo del cumplimiento de los límites de especificación de cada

presentación de azúcar. Por tal motivo, el porcentaje de producto que no se encuentre dentro de este intervalo, afectará el factor de calidad.

Cálculo del OEE de la situación actual de cada máquina:

Disponibilidad

$$Disp_{Sprint1} = 86,06\%$$

$$Disp_{Sprint2} = 85,81\%$$

$$Disp_{Sprint3} = 82,85\%$$

$$Disp_{Sinergy4} = 88,78\%$$

$$Disp_{Discovery5} = 84,98\%$$

$$Disp_{Sinergy6} = 79,04\%$$

$$Disp_{Sinergy7} = 75,18\%$$

Desempeño

$$Dese_{Sprint1} = 100\%$$

$$Dese_{Sprint2} = 100\%$$

$$Dese_{Sprint3} = 100\%$$

$$Dese_{Sinergy4} = 100\%$$

$$Dese_{Discovery5} = 100\%$$

$$Dese_{Sinergy6} = 100\%$$

$$Dese_{Sinergy7} = 100\%$$

Calidad

$$Cali_{Sprint1} = 64,5\%$$

$$Cali_{Sprint2} = 66,7\%$$

$$Cali_{Sprint3} = 62,8\%$$

$$Cali_{Sinergr4} = 10,1\%$$

$$Cali_{Discovery5} = 9,8\%$$

$$Cali_{Sinergr6} = 11,2\%$$

$$Cali_{Sinergr7} = 65,1\%$$

OEE

$$OEE_{Sprint1} = 86,06\% * 100\% * 64,5\% = 55,51\%$$

$$OEE_{Sprint2} = 85,81\% * 100\% * 66,7\% = 57,24\%$$

$$OEE_{Sprint3} = 82,85\% * 100\% * 62,8\% = 52,03\%$$

$$OEE_{Sinergr4} = 88,78\% * 100\% * 10,1\% = 8,97\%$$

$$OEE_{Discovery5} = 84,98\% * 100\% * 9,8\% = 8,33\%$$

$$OEE_{Sinergr6} = 79,04\% * 100\% * 11,2\% = 8,85\%$$

$$OEE_{Sinergr7} = 75,18\% * 100\% * 65,1\% = 48,94\%$$

Ya para el cálculo del OEE en cualquier momento que lo desee calcular la organización, se debe realizar lo siguiente:

Dado que en el cálculo del OEE en el momento actual, se registra los valores de la disponibilidad, desempeño y calidad en el lapso del semestre anterior, se tiene que:

Disponibilidad: Se calcula el tiempo planificado de producción (TPO), que es el tiempo total de trabajo (horas del turno de producción por los días en que se produce) menos las paradas planificadas (almuerzos, mantenimientos programados, por razones legales, etc.). Por otra parte, se registran las anomalías, averías, cambios y esperas de arranque, durante el semestre en curso, y se restan del tiempo planificado de producción calculado anteriormente, lo que corresponde al tiempo de operación (TO).

$$Disponibilidad = \left(\frac{TO}{TPO} \right) * 100\%$$

Desempeño: Se calcula el tiempo ideal de ciclo (TIC), que depende de la capacidad nominal, la cual es dada por el fabricante (velocidad máxima), sin embargo, se recomienda realizar ensayos calculando la velocidad máxima en condiciones normales de producción (humedad, calor, polvo, etc.); por lo tanto, el resultado será en número de unidades por hora. Posteriormente, se halla el número total de unidades producidas (NTUP) en el tiempo de operación (calculado en el paso anterior). Finalmente, se calcula el desempeño de la siguiente manera:

$$TIC = \frac{1}{Capacidad\ nominal}$$

$$Desempeño = \left[TIC / \left(\frac{TO}{NTUP} \right) \right] * 100\%$$

Calidad: Se calcula el porcentaje de unidades conformes (UC); se asume conforme, aquella unidad que se encuentra dentro de los límites de especificación de peso para cada presentación del número total de unidades producidas.

$$Calidad = \left(\frac{UC}{NTUP} \right) * 100\%$$

Finalmente, se calcula el OEE, multiplicando las tres razones porcentuales calculadas anteriormente, así:

$$OEE = Disponibilidad * Desempeño * Calidad$$

Con la implementación de las bases de los pilares de mantenimiento autónomo y mejora enfocada propuesta, se debe de tener una mejora del OEE.

12. CONCLUSIONES

- Con la inclusión de las dos enfardadoras en lugar de los 36 operarios de empaque, la confiabilidad y disponibilidad de este proceso se aumenta en un 1,76% y 1,91%, respectivamente.

- Con la solución de los tres escenarios propuestos en el modelo de programación lineal entera mixta, se obtiene que el escenario donde más se empaca quintales de azúcar es en el tercero, en el cual dos enfardadoras reemplazan a 36 operarios para la operación de empaque y sellado, aumentando su producción (empacado) en un 7,42%.
- El proyecto de inversión en el tercer escenario tiene un valor presente de \$1.843'345.882, teniendo en cuenta el capital invertido, los ahorros de coste de personal (36 operarios) y en material de empaque, por lo que además de aumentar productividad, baja costos y aumenta utilidades.
- La simulación del tercer escenario permite evidenciar un aumento de la cantidad de quintales empacados respecto de la situación experimentada en el primer semestre en el empacadero, el cual fue de aproximadamente 21,29%.
- La mejoría entre la simulación del tercer escenario y la situación experimentada en el primer semestre en el empacadero, y la optimización del primer y tercer escenario es favorable para la simulación, ya que se mejora un 21,29%, mientras que en la optimización sólo un 7,42%. Lo anterior se da a la regularidad de una máquina con respecto al operario, es decir, es más probable que una máquina pueda trabajar la mayor parte del tiempo a su nivel más alto, que un operario.
- Tener información organizada y estandarizada permite un mejor análisis de los procesos y las mejoras que se deben llevar a cabo dentro del área.
- La realización de pequeñas muestras de lo que sería el desarrollo de los programas de mejora enfocada y mantenimiento autónomo generó interés en el personal tanto operativo como administrativo.

REFERENCIAS

Cárcel Carrasco, F. J. (2015). Análisis del sector del mantenimiento en relación a estudios sectoriales, 4, 159–174.

Cárcel Carrasco, F. J. (2016a). Características de los sistemas TPM y RCM en la

- ingeniería del mantenimiento, 5(Edición 19), 68–75. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n3e19.68-75/>
- Cárcel Carrasco, F. J. (2016b). La incidencia del factor humano en el mantenimiento, 5, 1–12.
- Çay, S. B. (Enero de 2013). *Quick Tip: Comparison of Run Alternatives in ARENA*. Obtenido de OR Complete: <http://www.orcomplete.com/uncategorized/sertalpbilal/quick-tip-comparison-of-run-alternatives-in-arena>
- David, K., Randall, S., & David, S. (2006). Chapter 5. Modeling detailed operations. En *Simulation with Arena*.
- Garcia Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma* (2nd ed.). Mexico.
- Hurtado Toskano, G. B. (n.d.). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores.
- Jimenez Ruiz, Y. (2012). Propuesta de mejora bajo la filosofía TPM para la empresa Cummins de los Andes S.A.
- Jorge, A., Ávila, L., Bautista, J., Benítez, D. L., & González, E. (2012). Valoración del impacto del mantenimiento-reparación , calidad y medio ambiente para la extracción del azúcar crudo en un complejo agroindustrial, 39(4), 7–10.
- Linares Depestre, L. O. (2012). Del mantenimiento correctivo al mantenimiento centrado en la confiabilidad, 39(3), 7–14.
- Luis, J., & Rollé, C. (2004). Importancia del mantenimiento productivo total en la automatización de procesos.
- Marín-García, J. A., & Martínez, R. M. (2013). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. *Intangible Capital*, 9(3), 823–853. <https://doi.org/10.3926/ic.360>
- Modarres, Mohammad, Kaminskiy, Mark P. y Krivts, Vasiliy. 1998. *Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, Third Edition*. s.l. : CRC PRESS, 1998.

- Montoya Aguirre, J. A. (2009). Implementación del pilar de TPM mantenimiento autónomo en el pósito de Sertissage logan en la ensambladora Sofasa Envigado.
- Moyano, C., Piza, R., Zaruma, J., & Guadalupe, V. (n.d.). Implementación de un Plan de Mantenimiento Autónomo en un Taller Mecánico Industrial.
- Nakajima, S. (1991). *Introducción al TPM*.
- Neira, D., Willmer, J., García-cáceres, R. G., & Andrés, F. (2017). A mathematical model for the product mixing and lot-sizing problem by considering stochastic demand, 8, 237–250. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.9.003>
- Puche Forte, J. F. (2005). Guía práctica para la simulación de procesos industriales.
- R, I. F. P. (2009). Mantenimiento Autónomo: Pilar característico del TPM, 996330510.
- Riopaila Castilla S.A. (2011). Informe de sostenibilidad.
- Riopaila Castilla S.A. (2017). Informe diario de producción.
- Salgado López, L. M., & Díaz Pacheco, R. A. (2010). Diseño del mantenimiento preventivo (tercer pilar TPM) en el área de envase de la Refinería Incauca S.A. a través de un modelo de programación lineal entera binaria.
- Sanchez, D., & Lozada, J. (2013). Estructuración Del Mantenimiento Productivo Total (Tpm) Como Herramienta De Mejoramiento Continuo En La Línea De Inyección De Aluminio Fabrica De Motores Y Ventiladores Siemens S.a, 1–104.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Luxhoj, J. T. (2004). *Ingeniería económica de DeGarmo*.
- Suzuki, T. (1996). TPM en industrias de procesos, 404.
- Taaffe, K., & Duanmu, J. (2007). Measuring manufacturing throughput using takt time analysis and simulation, 1633–1640.
- Zafra Rodríguez, C. A., Méndez Martín, F. A., & Reyes Moreno, A. (2016). Sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) como herramienta en el mantenimiento industrial basadas en el proceso analítico jerárquico (AHP).

ANEXO A. FORMATO DE REGISTRO DE ANOMALÍAS ACTUAL

Fecha	Día:	Mes:	Año:
--------------	------	------	------

REGISTRAR EN EL SIGUIENTE FORMATO LAS ANOMALÍAS, SITUACIONES Y DEMÁS QUE NO PERMITAN CUMPLIR CON LA META DE PRODUCCIÓN PLANTEADA PARA EL DÍA

[illegible]

Fuente: Riopaila Castilla S.A

ANEXO B. CAUSAS PERTENECIENTES A LA CATEGORÍA "OTROS"

Otros	Tiempo perdido
Falta de masa	6.685
Banda transportadora-Falla	6.585
Baja presión de aire	6.235
Tolva-Terrones	5.165
Sello horizontal-Falla	3.850
Sellado- problema por arrastre de lámina	3.540
Rotonda Llena	3.250
Tablero de control-daño	3.060
Cosedora-Dañada	2.815
Señal de envíos del sistema oga a la tolva-Problema	2.590
Codificador-Falla	2.569
Celdas de carga-Acond	2.520
Lamina-Falta	1.998
Dosificador-Falla	1.920
Ajustes por variación de peso	1.725
Sin justificar	1.574
Conductor de máquina-Daño	1.520
Tubería-Taponamiento	1.230
Sello vertical-Falla	940
Cambio de referencia	865
Mantenimiento Preventivo	780
Cambio de cuchilla de corte	450
Cilindro del fuelle	420
Tanque de enfriamiento-Fuga	420
Mordaza vertical-Bobina	330
Fuga de aire	220
Motor-Sobrecalentamiento	190
Fechador-fallas	160
Desagüe-Taponamiento	50

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C. FORMATO DE TARJETA ROJA TPM

TARJETA ROJA			
DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	Folio	Ítem	Fecha
ELABORADA POR:			
Área	Sección		Localización
TIPO DE OBJETO			Cantidad:
Aseo	A		Unidad de medida
Herramientas y utensilios	H		
Insumo químico	Q		Valor Unitario:
Papelería y oficina	P		
Elementos de protección personal	S		
Equipo y accesorios	E		Valor Total:
Residuo Sólido	RS		
Residuo líquido	RL		
RAZÓN			
1. No es necesario		6. Material de desperdicio	
2. Dañado		7. Contaminante	
3. Defectuoso		8. Otro:	
4. En desuso			
5. No se necesita pronto			
CONSIDERACIONES PARA MANEJO Y ALMACENAJE			
1. Ventilación especial		5. Degradable	
2. Frágil		6. Radioactivo	
3. Explosivo		7. Temperatura amb.	
4. Corrosivo		8. Otra:	
FORMA DE DESECHO			
1. Botar		5. Trasladar a otra área	
2. Vender		6. Trasladar al taller	
3. Otros:		7. Trasladar al almacén	
4. Regresar la proveedor		8. Mover al cuarto de las 5 S	
AUTORIZACIÓN PARA EL DESECHO			
Fecha programada de desecho:			
Firma del supervisor		Firma de Jefe de Área	

Fuente: Curso de TPM – Universidad del Valle

ANEXO D. PROPUESTA DE ESTÁNDAR DE LIMPIEZA, INSPECCIÓN Y LUBRICACIÓN

ESTÁNDARES DE LIMPIEZA, INSPECCIÓN Y LUBRICACIÓN												
ÁREA:		NOMBRE DEL EQUIPO MEJORAMIENTO:					TIPO DE ESTÁNDAR:					
							☐ LIMPIEZA ☐ INSPECCIÓN ☐ LUBRICACIÓN					
NOMBRE MÁQUINA/EQUIPO:		PROCESO:					FECHA DE ELABORACIÓN:			REVISIÓN:		
No.	DESCRIPCIÓN	CONTROL VISUAL	CONDICIÓN IDEAL	ACCIÓN PARA ELIMINAR LA ANOMALÍA DETECTADA	LI	LM	HERRAMIENTAS	FRECUENCIA	ELEMENTOS DE SEGURIDAD	RESPONSABLE	TIEMPO DE EJECUCIÓN (min)	
1	Limpiar de residuos de azúcar		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Apagar o detener la máquina, aspirar o barrer la bandeja superior de la máquina	X		Aspiradora/escoba y recogedor	D	EPP	Operario de máquina de empaque	3	
2	Limpiar polvillo y residuos del sistema de dosificación		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Apagar o detener la máquina, aspirar o limpiar con un cepillo el polvillo sobre la máquina y con un cepillo de mango corto limpiar las zonas de difícil acceso	X		Aspiradora/cepillo para lavar y cepillo de mango corto	D	EPP	Operario de máquina de empaque	5	
3	Limpiar el polvillo de los tableros de control de la máquina		No aplica	Aspirar o limpiar con cepillo el tablero de control de la máquina	X		Aspiradora y cepillo	D	EPP	Operario de máquina de empaque	1	
4	Limpiar residuos en la transmisión de la máquina		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Limpiar con cepillo los residuos de la transmisión de la máquina envasadora	X		Cepillo	D	EPP	Operario de máquina de empaque	2	
5	Limpieza final de la máquina envasadora		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Limpiar con waípe húmedo toda la estructura de la máquina e inmediatamente después pasar un waípe seco. Después de realizada la limpieza disponer los waípes	X		Wypalls	D	EPP	Operario de máquina de empaque	7	
6	Limpiar banda transportadora y rotonda		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Limpiar con un cepillo o escoba los residuos de azúcar de la banda transportadora y la rotonda	X		Cepillo	D	EPP	Operario de máquina de empaque	5	
7	Verificar el estado de acrílicos		No aplica	Observar el estado (fallas en el material) de los acrílicos		X	NA	D	EPP	Operario de máquina de empaque	2	
8	Inspeccionar el sistema de lubricación de la máquina		Velocidad de máquina 0 bolsas/min	Inspeccionar el estado de lubricación de las máquinas		X	NA	D	EPP	Operario de máquina de empaque	4	
APROBACIONES:			FRECUENCIA T D S M 6M A Turno Diario Semanal Mensual Semestral Anual			CONTROL VISUAL Sentidos    Visual Tacto Olfato Audición			CONTROL VISUAL: LUBRICANTES R A M V Rojo Azul Marron Verde Grasa Amarilla			TOTAL TIEMPO (min): 29
Coordinador(a) empacadero _____		Jefe de mantenimiento _____		OBSERVACIONES								

Fuente: Modificado de Curso TPM – Universidad del Valle

ANEXO E. TARJETAS TPM PARA DEMARCACIÓN DE ANOMALÍAS

[illegible]


RIOPAILA CASTILLA
 COMPROMISO DESDE 1918
PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO
Tarjeta TPM

Fecha: _____			
Equipo: _____			
Parte o elemento: _____			
Prioridad: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 33%;">ALTA</td> <td style="text-align: center; width: 33%;">MEDIA</td> <td style="text-align: center; width: 33%;">BAJA</td> </tr> </table>	ALTA	MEDIA	BAJA
ALTA	MEDIA	BAJA	

DESCRIPCIÓN DE LA FALLA/ANOMALÍA

Fuente: Elaboración propia (Modificado de Suzuki, 1996)

ANEXO F. REGISTRO DEL TEMA DE MEJORA

REGISTRO DE MEJORA ENFOCADA

Fecha: _____

Tema: _____

Pérdida: _____

Duración proyectada: _____

Horario de reunión propuesta: _____

Área: _____

Responsable: _____

Miembros:

Nombre

Firma

Nombre

Firma

Nombre

Firma

Realizado por

Fuente: Elaboración propia (Modificado de Suzuki, 1996)

ANEXO G. KNOW-WHY PARA EL EMPACADERO

¿Por qué no se están alcanzando las metas de producción propuestas?

1 ¿Por qué no se aprovecha al máximo la capacidad de las máquinas preempacadoras?				2 ¿Por qué no se hace una adecuada planeación de la producción?	3 ¿Por qué se presenta escasez de materia prima (paro por caña de azúcar)?	
1.1 ¿Por qué las máquinas no están trabajando a su máxima velocidad?		1.2 ¿Por qué las máquinas no funcionan durante todo el tiempo de operación?		2.1. ¿Por qué no existe un procedimiento estandarizado para planear la producción?	3.1 Eventos climáticos, humedad	3.2. Fallas en áreas externas al empacadero
1.1.1 Porque los operarios de empaque programan las máquinas a una velocidad inferior que la nominal.	1.1.2 Por qué las máquinas fallan constantemente.?	1.2.1 Por qué las máquinas fallan constantemente.?	1.2.2 Por qué apagan las máquinas?			
1.1.1.1 Porque no existe el personal suficiente que permita una nivelación del flujo de producción (empaques)	1.1.2.1 Por falta de mantenimiento preventivo	1.2.1.1 Por falta de mantenimiento preventivo	1.2.2.1 Porque no existe el personal suficiente que permita una nivelación del flujo de producción (empaques)			
	1.1.2.2 Porque el entorno no permite su funcionamiento óptimo. (polvillo, etc)	1.2.1.2 Porque el entorno no permite su funcionamiento óptimo. (polvillo, etc)	1.2.2.2 Por mantenimiento programado			
	1.1.2.3 Por desconocimiento del adecuado uso por parte del operario de empaque	1.2.1.3 Por desconocimiento del adecuado uso por parte del operario de empaque	1.2.2.3 Por mantenimiento preventivo			
			1.2.2.4 Por mantenimiento correctivo			

ANEXO H. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO ACTUAL

Conjuntos

set PROD; # productos con indice i

set MAQ; # maquina con indice m

set OPER; # operarios con indice o

set TIEM; # periodos de tiempo en meses con indice t

#Parametros

param tim{i in PROD, m in MAQ}; # tiempo que necesita la maquina m para preempacar el producto i

param tio{i in PROD, o in OPER}; # tiempo que necesita el operario o para empacar el producto i

param dispmt{m in MAQ, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene la maquina m para preempacar en el periodo t

param dispot{o in OPER, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene el operario o para empacar en el periodo t

param pdefim{i in PROD, m in MAQ}; # Proporción de defectuosos que la maquina m genera al preempacar el producto i

param pdefio{i in PROD, o in OPER}; # Proporción de defectuosos que el operario o genera al empacar el producto i

param demit{i in PROD, t in TIEM}; # Demanda del producto i en el periodo t

Variables de decision

var X{i in PROD, m in MAQ, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto i que preempaca la maquina m en el periodo t

```
var Y{i in PROD, o in OPER, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto
i que empaca el operario o en el periodo t
```

```
# Funcion objetivo
```

```
maximize cant_prod: sum{i in PROD, o in OPER, t in TIEM}(Y[i,o,t]);
```

```
# Restricciones
```

```
subject to R1{m in MAQ, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tim[i,m]*X[i,m,t])<=(dispmt[m,t]*3600);
```

```
subject to R2{o in OPER, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tio[i,o]*Y[i,o,t])<=(dispot[o,t]*3600);
```

```
subject to R3{i in PROD, t in TIEM}:sum{m in MAQ}(X[i,m,t]*(1-
pdefim[i,m]))=sum{o in OPER}(Y[i,o,t]);
```

```
subject to R6{i in PROD, t in TIEM}:sum{o in OPER}(Y[i,o,t]*(1-
pdefio[i,o]))<=demit[i,t];
```

```
subject to R7{m in MAQ:m<=4}:sum{t in TIEM, i in PROD:i>=3}(X[i,m,t])=0;
```

```
subject to R8{m in MAQ:m>=5}:sum{t in TIEM, i in PROD:i<=2}(X[i,m,t])=0;
```

ANEXO I. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO 2

Conjuntos

set PROD; # productos con indice i

set MAQ; # maquina con indice m

set OPER; # operarios con indice o

set ENF; # enfardadoras con indice e

set TIEM; # periodos de tiempo en meses con indice t

#Parametros

param tim{i in PROD, m in MAQ}; # tiempo que necesita la maquina m para preempacar el producto i

param tio{i in PROD, o in OPER}; # tiempo que necesita el operario o para empacar el producto i

param tie{i in PROD, e in ENF}; # tiempo que necesita la enfardadora e para empacar el producto i

param dispmt{m in MAQ, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene la maquina m para preempacar en el periodo t

param dispot{o in OPER, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene el operario o para empacar en el periodo t

param dispet{e in ENF, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene la enfardadora e para empacar en el periodo t

param pdefim{i in PROD, m in MAQ}; # Proporción de defectuosos que la maquina m genera al preempacar el producto i

param pdefio{i in PROD, o in OPER}; # Proporción de defectuosos que el operario o genera al empacar el producto i

param pdefie{i in PROD, e in ENF}; # Proporción de defectuosos que la enfardadora e genera al empacar el producto i

```
param demit{i in PROD, t in TIEM}; # Demanda del producto i en el periodo
t
```

```
# Variables de decision
```

```
var X{i in PROD, m in MAQ, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto
i que preempaca la maquina m en el periodo t
```

```
var Y{i in PROD, o in OPER, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto
i que empaca el operario o en el periodo t
```

```
var Z{i in PROD, e in ENF, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto
i que empaca la enfardadora e en el periodo t
```

```
# Funcion objetivo
```

```
maximize cant_prod: sum{i in PROD, o in OPER, e in ENF, t in
TIEM}(Y[i,o,t]+Z[i,e,t]);
```

```
# Restricciones
```

```
subject to R1{m in MAQ, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tim[i,m]*X[i,m,t])<=((dispm[m,t])*3600);
```

```
subject to R2{o in OPER, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tio[i,o]*Y[i,o,t])<=((dispot[o,t])*3600);
```

```
subject to R3{e in ENF, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tie[i,e]*Z[i,e,t])<=((dispet[e,t])*3600);
```

```
subject to R4{i in PROD, t in TIEM}:sum{m in MAQ}(X[i,m,t]*(1-
pdefim[i,m]))=((sum{o in OPER}Y[i,o,t])+(sum{e in ENF}Z[i,e,t]));
```

```
subject to R5{i in PROD, t in TIEM}:(sum{o in OPER}(Y[i,o,t]*(1-
pdefio[i,o])))+(sum{e in ENF}(Z[i,e,t]*(1-pdefie[i,e])))<=demit[i,t];
```

```
subject to R6{m in MAQ:m<=4}:sum{t in TIEM, i in PROD:i>=3}(X[i,m,t])=0;
```

```
subject to R7{m in MAQ:m>=5}:sum{t in TIEM, i in PROD:i<=2}(X[i,m,t])=0;
```

ANEXO J. MODELO MATEMÁTICO EN AMPL: ESCENARIO 2

Conjuntos

set PROD; # productos con indice i

set MAQ; # maquina con indice m

set ENF; # enfardadoras con indice e

set TIEM; # periodos de tiempo en meses con indice t

#Parametros

param tim{i in PROD, m in MAQ}; # tiempo que necesita la maquina m para preempacar el producto i

param tie{i in PROD, e in ENF}; # tiempo que necesita la enfardadora e para empacar el producto i

param dispmt{m in MAQ, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene la maquina m para preempacar en el periodo t

param dispet{e in ENF, t in TIEM}; # disponibilidad de tiempo que tiene la enfardadora e para empacar en el periodo t

param pdefim{i in PROD, m in MAQ}; # Proporción de defectuosos que la maquina m genera al preempacar el producto i

param pdefie{i in PROD, e in ENF}; # Proporción de defectuosos que la enfardadora e genera al empacar el producto i

param demit{i in PROD, t in TIEM}; # Demanda del producto i en el periodo t

Variables de decision

var X{i in PROD, m in MAQ, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto i que preempaca la maquina m en el periodo t

```
var Z{i in PROD, e in ENF, t in TIEM}>=0 integer; # cantidad del producto
i que empaca la enfundadora e en el periodo t
```

```
# Funcion objetivo
```

```
maximize cant_prod: sum{i in PROD, e in ENF, t in TIEM}(Z[i,e,t]);
```

```
# Restricciones
```

```
subject to R1{m in MAQ, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tim[i,m]*X[i,m,t])<=((dispmt[m,t])*3600);
```

```
subject to R2{e in ENF, t in TIEM}:sum{i in
PROD}(tie[i,e]*Z[i,e,t])<=((dispet[e,t])*3600);
```

```
subject to R3{i in PROD, t in TIEM}:sum{m in MAQ}(X[i,m,t]*(1-
pdefim[i,m]))=sum{e in ENF}(Z[i,e,t]);
```

```
subject to R4{i in PROD, t in TIEM}:sum{e in ENF}(Z[i,e,t]*(1-
pdefie[i,e]))<=demit[i,t];
```

```
subject to R5{m in MAQ:m<=4}:sum{t in TIEM, i in PROD:i>=3}(X[i,m,t])=0;
```

```
subject to R6{m in MAQ:m>=5}:sum{t in TIEM, i in PROD:i<=2}(X[i,m,t])=0;
```

ANEXO K. FORMATO DE SEGUIMIENTO AL PLAN DE MEJORA ENFOCADA

SEGUIMIENTO A PROGRAMAS DE MEJORA ENFOCADA											
TEMA	PÉRDIDA	RESPONSABLE	INDICADOR ACTUAL	INDICADOR OBJETIVO		CRONOGRAMA (MESES)					
						1	2	3	4	5	6
					Plan						
					Ejecución						
					Plan						
					Ejecución						
					Plan						
					Ejecución						
					Plan						
					Ejecución						



COM PROMISO DESDE 1918

Paso 2: Comprender la situación

Paso 3: Descubrir y eliminar anomalías

Paso 4: Analizar causas

Paso 5: Planificar la mejora

Paso 6: Implantación de la mejora

Paso 7: Chequear los resultados