

DISEÑO DE PROPUESTAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE ENVASADO EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE BEBIDAS DE CONSUMO MASIVO

Resumen

El Trabajo que se presenta a continuación tiene como finalidad diseñar y evaluar una propuesta de mejora que permita aumentar los niveles de productividad de una línea de envasado de una planta embotelladora de alto consumo, satisfaciendo la demanda actual y aumentando la rentabilidad de la empresa.

En la primera etapa, descripción de la situación actual, se hizo uso de la información histórica de la empresa referente a los registros de los valores de productividad y los reportes de fallas generados por los supervisores de línea, para el análisis de su comportamiento. A partir del análisis de la situación actual, segunda etapa del proyecto, se determinan las causas raíces de los problemas asociados a la línea de envasado para realizar las propuestas de mejora. Luego de analizadas todas las variables influyentes del sistema, se procede a la realización de un modelo de simulación que considera todos los factores que intervienen en el proceso de envasado: los equipos con sus respectivas velocidades, las bandas transportadoras, los procesos de arranque de línea y cambio de producto, y la ocurrencia aleatoria de fallas. En la tercera etapa, se evalúa el impacto de las propuestas de mejora en el proceso, a partir de la modificación de parámetros claves. Se propone aumentar la velocidad de las etiquetadoras de su valor actual a su velocidad máxima, aumentado la velocidad de la línea (cajas/hora) en un 6,8%. Se determina que la incidencia de reducir la ocurrencia de fallas de

■ Ana Paula Garzón

email: garzonanapaula@gmail.com

Ingeniero Industrial.

Universidad Católica Andrés Bello,
Caracas, Venezuela

Fecha de Recepción: 05 de abril de 2009

Fecha de Aceptación: 02 de julio de 2009

la línea en un 30% mediante la implementación de Mantenimiento Productivo Total (TPM) es de 12,8%. En la cuarta etapa, se indica la inversión necesaria para la implementación de las mejoras propuestas así como un plan para su ejecución.

Por último se generan conclusiones y recomendaciones dirigidas a control de las velocidades de los equipos etiquetadores, implementar la filosofía de Mantenimiento Productivo Total y reducir los tiempos no productivos de la línea (proceso de cambio de producto).

Palabras Claves: *diseño, evaluación, productividad, procesos, envasado.*

1. INTRODUCCION

Actualmente, la línea seis de envasado de la Empresa, está presentando una productividad promedio en los últimos seis meses de 49%, medida ésta a partir de la eficiencia de la capacidad nominal del equipo llenador de botellas.

Esta condición de baja productividad se evidencia en fallas recurrentes de los equipos que conforman la línea, en las variaciones significativas de los tiempos de montaje y desmontaje de un producto a otro, en la duración del proceso de puesta a punto de la línea y en el desaprovechamiento de los equipos al procesar productos que luego serán descartados.

Es por ello que se desea analizar todas las variables que intervienen en el sistema para realizar y analizar propuestas que mejoren la productividad de éste, identificando el impacto de cada una de ellas en la cantidad de cajas producidas en determinado momento.

2. ANTECEDENTES

[LECUE, XABIER. 2007] DISEÑO DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA INCREMENTAR LOS NIVELES DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE PRENSAS EXCÉNTRICAS DE UNA FÁBRICA PRODUCTORA DE INSUMOS ELÉCTRICOS Y DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN CARACAS. El siguiente trabajo, tuvo como finalidad diseñar y evaluar una propuesta de mejora que permita aumentar los niveles de productividad de la línea de prensas excéntricas de Industrias FERREINOX C.A. con el fin de satisfacer la demanda actual de la empresa y optimizar los recursos que dispone la compañía, mientras aumenta la rentabilidad del negocio. Entre sus resultados exponen la propuesta 1 de mejora la cual es capaz de incrementar la capacidad instalada de la planta en un 33%, lo cual permitiría cubrir la demanda. Por otra parte, en caso de un futuro aumento de la demanda, la implementación de la propuesta 2 podría incrementar la capacidad instalada de producción en un 61%.

[ESPINOZA LEÓN, VANESSA; GUINAND SALAS, ANDREINA. 2007] ANÁLISIS DE LOS PROCESOS EN EL ÁREA DE ENVASADO, DESTINADO A REDUCIR LAS MERMAS DE LOS CUERPOS DE LATAS Y TAPAS DE LATAS EN UNA EMPRESA NACIONAL DE CONSUMO MASIVO. Este trabajo tuvo como finalidad analizar una línea de envasado para reducir la merma de cuerpos y tapas de latas. A partir de la realización de un modelo

de simulación, se logró determinar el impacto de las mejoras propuestas obteniendo un reducción de las mermas con un beneficio total de BsF. 261.413

3. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1.1 Análisis de productividad de la línea de envasado seis

La empresa determina la productividad de sus líneas de envasado a partir de la medición de la eficiencia de sus equipos. Ésta se calcula a partir de los valores correspondientes a la cantidad de cajas producidas durante el tiempo operativo en relación con la cantidad nominal/teórica de cajas que se debieron haber producido en dicho tiempo. La cantidad de cajas que debieron haber sido elaboradas, se calcula a partir de la velocidad establecida de la línea, la cual está regida por las llenadoras. A partir del comportamiento de los valores de productividad del año 2008 que se presentan en la Figura 10, se puede establecer que la línea tiene una productividad con un promedio de 50,76%.

Tabla 1: Productividad de la Línea

Mes	Productividad
Enero	52,60%
Febrero	54,40%
Marzo	54,80%
Abril	50,00%
Mayo	45,20%
Junio	43,00%
Julio	48,70%
Agosto	53,80%
Septiembre	54,40%

Nota: Elaboración Propia.

3.1.2 Identificación y descripción de las causas que afectan la productividad.

Para la identificación de las causas que afectan la productividad, se realiza una entrevista semiestructurada a un grupo de 11 personas relacionadas con la línea (analistas de mejora continua, supervisores de producción, mecánicos, operarios, entre otros) a fin de obtener ideas generales de la problemática existente.

Con la información recolectada, se elabora el Diagrama de la Figura 1, en donde se representan las causas que afectan la productividad de la línea seis. Estas causas se agrupan en categorías según las

etapas de cambio de producto, arranque y puesta a punto y el funcionamiento de los equipos en su etapa de producción.

Seguidamente se da una breve explicación de los resultados obtenidos.

- En cuanto a los equipos.

Desgaste de la maquinaria: Los equipos se ven afectados por la calidad del trabajo de los mecánicos debido a la falta de precisión en los ajustes, tanto en el cambio de producto, como en la reparación de fallas.

Fallas: Durante el arranque se presentan fallas en los equipos que atrasan el inicio de la producción y durante el funcionamiento se presentan fallas que ocasionan tiempos perdidos o disminuyen el rendimiento de los equipos.

- En cuanto a los métodos y procedimientos.

Secuencia de actividades: No se sigue una misma secuencia de actividades durante el cambio operativo y mecánico. No existe un procedimiento formal actualizado.

Mantenimiento de equipos: Se presentan fallas en la planificación del mantenimiento del fin de semana dado que no hay control en la ejecución de los trabajos de mantenimiento.

Fallas en Logística: Existe deficiencia en la coordinación de las actividades y ubicación de las piezas y herramientas en el momento del cambio y en las reparaciones de fallas, así como en la disponibilidad de insumos y en el manejo de la información de los trabajos de mantenimiento realizados y por realizar

- En cuanto a los trabajadores

Adiestramiento: Existe un déficit en el adiestramiento por rotación del personal, ausentismo, etc.

Influencia del Sindicato: Actualmente el sindicato tiene mucha influencia en la actitud que toma el trabajador ante el empleador, lo cual afecta la calidad de su trabajo.

Fallas de Supervisión: Existen fallas en el control, por parte del supervisor del área, de los trabajos realizados, tanto operativos como de mantenimiento, que no garantizan la calidad de los mismos.

- En cuanto a los materiales.

Problemas de Calidad: Problemas con la calidad de las botellas, así como la pega utilizada en el etiquetado y en ocasiones el suministro del líquido de llenado debido a una dosificación incorrecta de CO₂ u otros insumos.

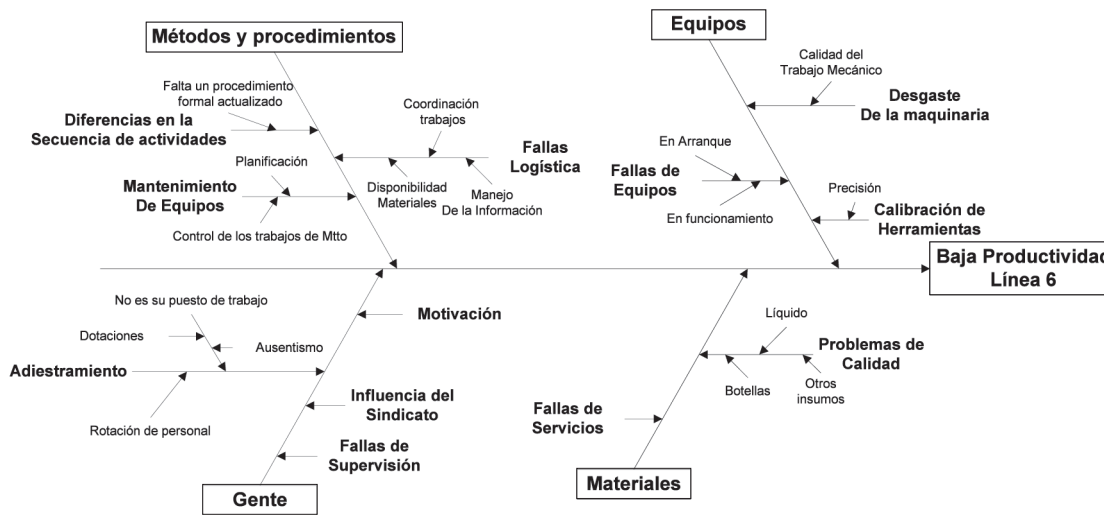


Figura 1. Causas que afectan la productividad de la línea seis. Fuente: Elaboración Propia.

Falla en los Servicios: Fallas eventuales en cuanto a la disponibilidad de los servicios de CO₂, agua, electricidad, amoníaco, entre otros, necesarios para el funcionamiento de la línea.

La productividad de la línea se ve afectada por una gran cantidad de causas que se evidencian en la falta de control y supervisión de los trabajos tanto de mantenimiento como de cambio de producto, es por ello que se analizará la problemática de las fallas y el tiempo de cambio.

3.1.3 Comportamiento de fallas por equipo

Se analiza la información contenida en el sistema computarizado para los últimos 20 meses, sobre los registros de tiempos de falla ocurridos durante la producción (Avisos P2 realizados por el supervisor de turno).

Se comienza el análisis tomando la información completa de los equipos de la Línea seis para determinar cuáles de ellos ocasionan más tiempo perdido por falla en el periodo en estudio y poder seleccionar los equipos para realizar un análisis más exhaustivo.

En la Tabla 2 y en la Figura 2, se observa que el 81,35% de los tiempos de falla se puede relacionar con el 42,85% de los equipos que intervienen en el proceso de envasado de la línea seis (6 de 14 equipos).

Tabla 2. Datos de Comportamiento de tiempos de falla en los equipos

Equipo	Tiempo (min)	Tiempo %	Acum %
Llenadora	21775	18,54	18,54
Despaletizador	19742	16,81	35,36
Etiquetadora	15978	13,61	48,96
Kister	15696	13,37	62,33
Vías de Cajas	11233	9,57	71,89
Paletizador	11108	9,46	81,35
Vías de Botellas	6281	5,35	86,70
Agrupador (MEAD)	3843	3,27	89,98
Inspectores	3463	2,95	92,92
Rinser	3174	2,70	95,63
Pasteurizador	2764	2,35	97,98
Video Jet	1536	1,31	99,29
Envolvedora	655	0,56	99,85
Cip	180	0,15	100,00
TOTAL	117428	100,00%	

Nota: Elaboración Propia.

3.1.4 Análisis del proceso general del cambio de producto

Entre los cambios de producto que se realizan, el que representa mayor cantidad de tiempo invertido es la secuencia del cambio del producto 1 al Producto 2, ya que se realiza el ciclo de limpieza del sistema de llenado con el mayor tiempo invertido.

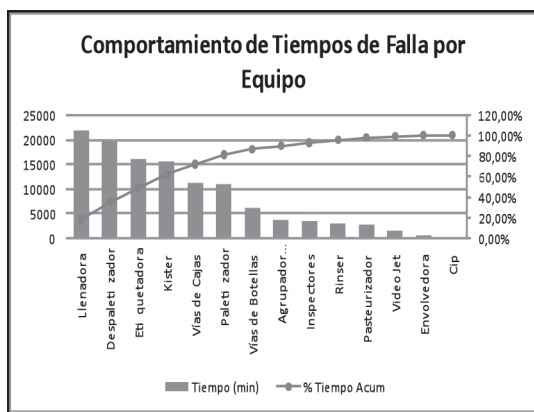


Figura 2. Comportamiento de fallas de equipos de la línea seis. Fuente: Elaboración Propia.

En la empresa no se lleva una estadística de los valores del tiempo invertido en el cambio de producto. Sin embargo, a través del manejo de la información existente, se calculan 9 valores de tiempo en la secuencia Cerveza-Malta realizados en el año 2008, para poder evaluar su comportamiento. Dicha información se representa en la Tabla 3 y la Figura 3.

Se observa que existe una alta variabilidad en el tiempo de cambio de producto, presentando un valor promedio de 5 horas 23 min, con un mínimo de 3 horas 57 min y un máximo de 7 horas 2min y una desviación estándar de 59,67 min.

Las causas raíces que afectan la productividad para la línea de envasado número seis se identifican en el siguiente enunciado.

Tabla 3. Tiempos de Cambio Cerveza-Malta

#	Tiempo (hh:mm)	Tiempo (min)
1	05:39	339
2	05:39	339
3	04:28	268
4	05:12	312
5	03:57	237
6	07:02	422
7	05:08	308
8	04:51	291
9	06:43	403

3.2 Análisis de la situación actual

3.2.1 Determinación de las causas raíces.

- Comportamiento de fallas por equipo.

Sistema de Llenado

Para el análisis del sistema de llenado se consideran las fallas reportadas para la llenadora 601, la llenadora 602 y las fallas conjuntas que detienen ambas llenadoras.

Se determina que el 80,75% del tiempo reportado por falla abarca el 33,33% de las categorías y corresponde a fallas reportadas por mantenimiento, elaboración y servicios.

Despaletizador Bulk

Se realiza el análisis a partir de las categorías de fallas contenidas en los reportes, y se observa que el 86,01% del tiempo de fallas corresponde al 40% de los tipos de falla reportados, las cuales se engloban en el marco de fallas por mantenimiento y fallas por logística de calidad de los insumos que son introducidos en el equipo.

Sistema de Etiquetado

Para el análisis del sistema de etiquetado se consideran las fallas reportadas que detienen la etiquetadora 601 y las que detienen la etiquetadora 602; así como las fallas conjuntas que detienen ambas etiquetadoras.

Se realiza el análisis a partir de las categorías de fallas contenidas en los reportes los cuales indican que el 88,90% del tiempo por falla corresponde al 30% de los tipos de fallas reportadas.

Predominan las fallas atendidas por los mecánicos, referidas a ajustes varios por mal etiquetado, cambio de las esponjas del cilindro de transferencia y ajustes en el magazín de etiquetas, entre otros.

Sistema de empaçado

Para el análisis del sistema de empaçado se consideran las fallas reportadas que detienen el empaçador kister 601, las fallas que detienen el empaçador kister 602 y las fallas conjuntas que detienen ambos empaçadores.

Se realiza el análisis a partir de las categorías de fallas contenidas en donde se observa la existencia de fallas recurrentes respecto al sistema de inyección de pega, ajustes en el sistema de manejo de botellas y cambio de cuchillas de corte. Esto debido al desgaste y deterioro de las piezas.

- Identificación y descripción de las causas que afectan el cambio de producto.

En la Figura 3, se presenta un diagrama que representa las posibles causas de la variación de tiempo de cambio de producto. Seguidamente una breve explicación del mismo.

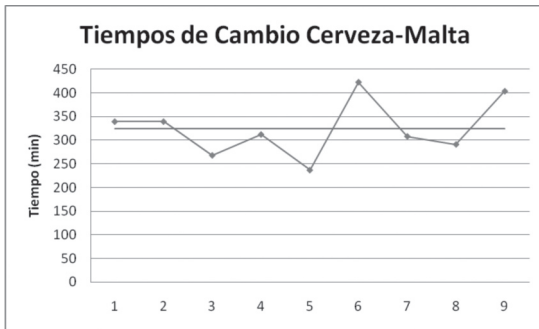


Figura 3. Comportamiento de los tiempos de cambio Cerveza-Malta. Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a los equipos:

Falta de mantenimiento preventivo: las fallas en los equipos que están procesando el último lote de botellas de la orden, prolonga el tiempo de cambio ya que requiere del uso del mecánico en la reparación de la falla correspondiente para luego continuar con las actividades del cambio de producto.

Ajustes de arranque innecesarios: no se hacen pruebas una vez terminado el cambio en cada una de las máquinas, a fin de garantizar su correcto funcionamiento por lo que se pierde tiempo haciendo ajustes cuando se va a comenzar la producción de la nueva orden.

En cuanto al personal:

Existe una marcada diferencia entre las actividades que realizan los distintos trabajadores: operarios, electricistas y mecánicos, los cuales se limitan a realizar únicamente su trabajo, si no les corresponde atender a una falla determinada esperan a que esté disponible el responsable de atenderla, aun cuando la pudieron haber reparado ellos mismos.

Fallas de comunicación: no siempre se notifican todas las irregularidades durante los cambios de turno, lo que puede ocasionar re-trabajos por falta de información previa.

Falta de Supervisión: existen fallas en el seguimiento por parte del supervisor del estado del cambio de producto en el tiempo, es decir, no sabe cuánto ha sido ejecutado en un momento dado y los posibles problemas que se han presentado durante su ejecución. Éste debe garantizar la presencia del personal en sus puestos de trabajo, así como también la realización de las distintas actividades según la secuencia correspondiente.

En cuanto al procedimiento

Falla por falta de inspección de los elementos de cambio: No se inspeccionan los elementos de cambio antes del cambio de producto, es decir, no se verifica si se cuenta con todas las piezas necesarias y que éstas se encuentren en condiciones para ser utilizadas por lo que se pierde tiempo ubicando piezas.

Falta de elementos de referencia: falta identificación de las piezas y referencias en las máquinas que faciliten el proceso de cambio.

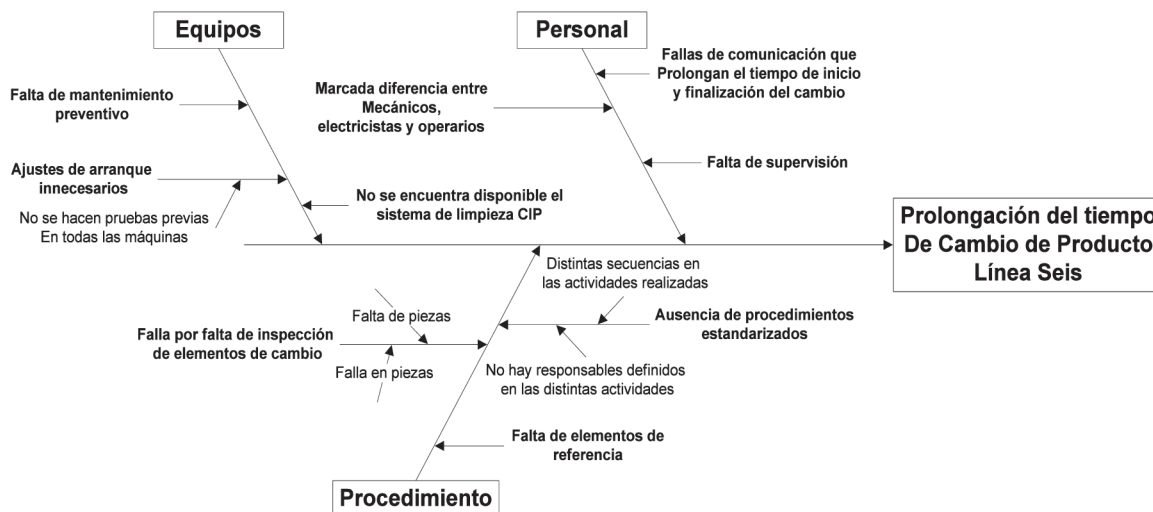


Figura 4. Causas que afectan la prolongación del cambio de producto de la línea seis. Fuente: Elaboración Propia.

Ausencia de procedimientos estandarizados: las actividades se realizan en distintas secuencias que no facilitan el control de las mismas, debido a que no hay responsables definidos para las actividades y se improvisa en cada caso.

3.3. Propuestas de mejora

3.3.1 Descripción funcional del modelo de simulación

El objeto de la realización de un modelo de simulación de la línea seis, es el de poder identificar las causas que afectan la productividad de la línea y poder evaluar distintos escenarios del proceso productivo de envasado de malta y cerveza para mejorarla. A continuación se explicarán las entradas del modelo y su funcionamiento a partir del flujo de proceso de las operaciones de envasado.

- Tiempo de simulación

Se toman 21 semanas de producción de la línea número seis. El tiempo de trabajo de las mismas es de 5 días (de lunes a viernes) de los cuales en promedio se trabaja 4 días por semana, dado que se comparten los operadores con otras líneas de envasado de la fábrica, en función de la planificación de la producción de la empresa (según las estadísticas de la empresa).

- Órdenes de envasado

Durante las 21 semanas estudiadas, se generaron 92 órdenes de los distintos productos elaborados en la línea, identificadas con la siguiente información:

Semana: indica la semana en la cual se lleva a cabo la producción de la orden.

Producto: indica el código del producto que será envasado.

Cantidad Orden: indica la cantidad estimada de producto que se planificó producir. **Tiempo plan:** indica el tiempo disponible para la producción de la orden planificada, este considera tiempos de arranque, cambio de producto y rutinas de limpieza según sea el producto.

Código previo: este indica la actividad de ajuste de la línea que se realiza previo al envasado de la orden.

- Los equipos

Las velocidades de los equipos que componen la línea seis se presentan en la Tabla 4. Dichas velocidades fueron tomadas en campo, en distintos momentos durante el envasado de los productos.

Tabla 4. Velocidades de los equipos línea seis.

Equipo	Velocidad (cajas/hora)	Equipo	Velocidad (cajas/hora)
Bulk	4000	Etiquetadora 1	1490
Rinser 1	1800	Etiquetadora 2	1430
Rinser 2	1800	Mead	2430
Llenadora 1	1715	Kister 1	2430
Llenadora 2	1715	Kister 2	2430
Paster (Malta)	4170	Paletizador 1	2450
Paster (Solera)	3791	Paletizador 2	2450
Paster (Ice/Pilsen)	3412		

- Mantenimiento correctivo

A partir de los tiempos de falla por equipo reportados por los supervisores y utilizando un programa para el análisis estadístico de datos (Input Analyzer), se calculan las distribuciones de probabilidad del tiempo de falla de los mismos, según se indica en la Tabla 5. Adicional a esto, se calcula la cantidad de fallas por día, relacionando la cantidad de fallas ocurridas con los días hábiles trabajados durante el periodo en estudio.

Tabla 5. Tiempos y frecuencia de fallas por equipo.

Equipo	Distribución tiempo de falla (min)	Fallas/Día
Bulk	LOGN(41.8, 46)	1,14
Rinser 1	10 + EXPO(41)	0,09
Rinser 2	10 + WEIB(32, 0.509)	0,17
Rinser 1 y 2	7.5 + LOGN(13.6, 23.4)	0,09
Llenadora 1	10 + WEIB(42.3, 0.826)	0,51
Llenadora 2	10 + WEIB(40.3, 0.72)	0,63
Llenadora 1 y 2	5 + 355 * BETA(0.384, 2.75)	0,6
Paster	5 + WEIB(28.8, 1.01)	0,23
Etiquetadora 1	10 + WEIB(63.1, 0.702)	0,31
Etiquetadora 2	10 + WEIB(60, 0.853)	0,43
Etiquetadora 1 y 2	10 + WEIB(10.9, 0.342)	0,41
Mead	5 + WEIB(38.5, 0.802)	0,23
Kister 1	10 + LOGN(118, 420)	0,56
Kister 2	10 + WEIB(51.7, 0.983)	0,52
Kister 1 y 2	10 + WEIB(23.6, 0.561)	0,2
Paletizador 1	7 + WEIB(21.7, 0.917)	0,26
Paletizador 2	LOGN(58.3, 108)	0,37
Paletizador 1 y 2	10 + WEIB(28.7, 0.637)	0,17
Vías botell vacías	LOGN(44.2, 79.7)	0,38
Vías botell llenas	5 + WEIB(14.4, 0.613)	0,19
Vías de cajas	5 + WEIB(31.9, 0.862)	0,81

- Verificación y validación del modelo de simulación

La verificación del modelo se realiza mediante un seguimiento de las actividades de arranque, cambio

de producto y envasado de botellas no retornables de cerveza y malta, asegurando que la lógica del modelo representa el flujo de los procesos reales en los mismos, dónde por flujo de procesos se refiere a la secuencia lógica de operaciones necesarias para el envasado del producto, e incluye las fallas de los equipos y las características propias del sistema.

Como parámetro de validación del modelo de la situación actual se utiliza el indicador creado por la empresa para medir la productividad de sus líneas: cajas envasadas por hora (cajas/ hora), dicha validación se realiza utilizando el método de Barras de control, en donde se contrastan los datos históricos suministrados por Cervecería Polar Los Cortijos y los arrojados por la simulación durante ese mismo período. Se ha establecido como un intervalo de control adecuado para este tipo de proceso una variación equivalente a tres (3) veces el valor de la desviación estándar en incremento y disminución del obtenido en la media de las observaciones estudiadas.

Validación con procesamiento de cerveza.

Antes de proceder a la validación del modelo se necesita conocer cuántas replicaciones del experimento se deben hacer para obtener un estimador con un nivel de confianza y error deseado. Se calcula el número de replicaciones necesarias para obtener el estimador de la siguiente variable: cantidad de cajas envasadas por hora en la línea seis de envasado de Cervecería Polar Los Cortijos.

Se realizan cuarenta y seis (46) replicaciones de prueba para calcular el número de replicaciones necesarias y obtener un estimador a un nivel de confianza del 95% y un error no mayor al 10%. Al utilizar la fórmula para el cálculo del número de replicaciones se obtienen los resultados indicados en la Tabla 6.

Tabla 6. Cálculo del tamaño de muestra para las replicaciones de cerveza.

k	S	e	n
1,96	188,55	139,08	7,44

A partir de los resultados arrojados por el programa de simulación, en la Figura 15 se puede observar que todos los valores correspondientes al comportamiento del modelo cuando se envasa cerveza en cualquiera de sus presentaciones, cumple con el comportamiento del sistema real debido a que todos los valores se encuentran dentro del intervalo de control, quedando validado el modelo.

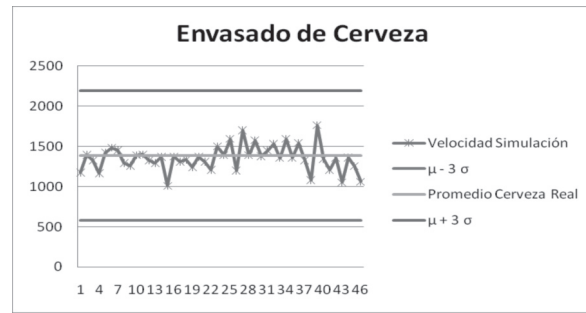


Figura 5. Validación del modelo de simulación con envasado de cerveza. Fuente: Elaboración Propia.

Se realiza el cálculo del intervalo de confianza para la prueba de hipótesis para la diferencia entre medias de la velocidad promedio real de la línea de envasado y la arrojada por el modelo de simulación para cerveza (ver Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de hipótesis para la diferencia entre medias

\bar{x}_1	\bar{x}_2	n_1	n_2	$S_{e_1}^2$	$S_{e_2}^2$
1354,88	1385,62	46,00	46,00	72290,51	24954,15

Intervalo de confianza obtenido:

$$(- 30.34 \pm 90,12) \rightarrow (-120,86; 59.38)$$

Dado que el intervalo de confianza contiene el valor cero (0), se acepta la hipótesis nula, la cual establece que la media de los datos históricos es igual a la media obtenida a través de la simulación.

Validación con procesamiento de malta.

Para este caso, se realizaron veinticinco (25) replicaciones de prueba para calcular el número de replicaciones necesarias y obtener un estimador a un nivel de confianza del 95% y un error no mayor al 10%. Al utilizar la fórmula para el cálculo del número de replicaciones se obtienen los resultados indicados en la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo del tamaño de muestra para las replicaciones de malta (six pack).

k	S	e	n
1,96	98,42	74,88	7,64

En la Figura 16, se puede observar que al no haber valores fuera del intervalo de control (media $\pm 3\sigma$) de velocidad de envasado para malta con formato de six pack, para la línea número seis, se considera validado el modelo.

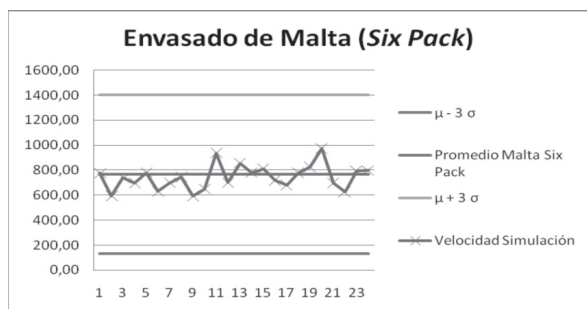


Figura 6. Validación modelo de simulación con envasado malta (six pack). Fuente: Elaboración Propia.

Se realiza el cálculo del intervalo de confianza para la prueba de hipótesis para la diferencia entre medias de la velocidad promedio real de la línea de envasado y la arrojada por el modelo de simulación para el caso de malta (six pack) (ver tabla 16).

Tabla 9. Prueba de hipótesis para la diferencia entre medias

\bar{x}_1	\bar{x}_2	n_1	n_2	$S_{c_1}^2$	$S_{c_2}^2$
767,45	748,12	25,00	25,00	44684,76	9685,62

Intervalo de confianza obtenido:
 (- 19,33 ± 91,40) → (- 110,73; 72,04)

Tabla 10. Sensibilidad de la velocidad del sistema ante la velocidad de las etiquetadoras

	Velocidad Etiquetadora 601		Velocidad Etiquetadora 602		Velocidad Sistema		
	Cerveza	Malta	Cerveza	Malta	Cerveza	Malta (Granel)	Malta (Six Pack)
Velocidad Mayor	1860	2070	1875	2083	1447	940	770
Velocidad Actual	1490	1757	1430	1686	1354	947	766
Velocidad Menor	1120	1444	985	1289	1051	788	643

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de sensibilidad

Se realizan modificaciones en variables que se encuentran directamente relacionadas con el funcionamiento de la línea de envasado seis y a través del modelo de simulación, y se determina el grado de mejora que se puede lograr luego de realizadas las modificaciones del mismo.

- Parámetros a modificar:

Las variables que se consideran para la realización del análisis del sistema, se mencionan a continuación:

Dado que el intervalo de confianza contiene el valor cero (0), se acepta la hipótesis nula, la cual establece que la media de los datos históricos es igual a la media obtenida a través de la simulación.

Debido a que las órdenes de malta con empaques granel se pueden producir por ambas mangas, como ocurre en el caso del envasado de cerveza, y por una sola manga, como ocurre cuando se produce en paralelo con órdenes de six pack, y el modelo para cada uno de esos casos ya se encuentra validado, se considera que también lo está para el caso de producción de malta granel.

Mantenibilidad: Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema. En el modelo de simulación validado, se modifica la frecuencia de ocurrencia de mantenimiento correctivo.

Velocidad de las Etiquetadoras: se refiere a la modificación de las velocidades de las etiquetadoras 601 y 602. Las etiquetadoras son los únicos equipos a los que se les puede modificar la velocidad de procesamiento de botellas en el sistema.

- **Modificación de la velocidad de las etiquetadoras**

En el caso de la velocidad de las etiquetadoras se consideran 2 velocidades adicionales a la velocidad de procesamiento actual. Una primera velocidad que se encuentra por encima del valor actual que es el valor nominal del equipo, es decir, el valor recomendado por el fabricante, y un segundo valor que se encuentra por debajo del valor actual, en la misma proporción respecto a la velocidad del fabricante. Los escenarios se pueden observar en la Tabla 10.

Se observa que en el caso de aumento de la velocidad de las etiquetadoras, la velocidad del sistema aumenta en un 6,8% respecto al valor actual; mientras que cuando se reduce la velocidad en la misma proporción, la diferencia respecto al valor actual es de una reducción del 28%.

Se observa que en el caso de aumento de la velocidad de las etiquetadoras, la velocidad del sistema aumenta en un 6,8% respecto al valor actual; mientras que cuando se reduce la velocidad en la misma proporción, la diferencia respecto al valor actual es de una reducción del 28%.

Como se puede observar en la Tabla 10, el sistema es sensible a la modificación de la velocidad de las etiquetadoras, por lo que se fijan valores máximos para la etiquetadora 602 en el caso de cerveza de 1875 cajas/hora, y para el caso de malta de 2.083 cajas/hora; y para la etiquetadora 601 en el caso de cerveza de 1870 cajas/hora, y para el caso de malta de 2.070 cajas/hora

Es importante acotar que se considera la evaluación de un escenario de velocidad por debajo de la velocidad actual para verificar el impacto de la reducción de la velocidad en dichos equipos.

- Mejora en el mantenimiento de la línea:

En el caso de la mantenibilidad, se plantea la aplicación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, que permita llevar un control más estructurado del mantenimiento de los equipos y del sistema en general. Según James A. Leflar (2001), al aplicar TPM se pueden lograr reducciones de hasta un 83% en el número de fallas de un sistema productivo, por lo tanto se toman valores referenciales de 30 y 60% de reducción de fallas para el análisis de la línea de envasado como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Sensibilidad de la velocidad del sistema ante la ocurrencia de fallas

Escenarios de Mantenibilidad	Velocidad Sistema		
	Cerveza	Malta (Granel)	Malta (Six Pack)
Actual	1354	947	766
Reducción ocurrencia fallas en 30%	1390	916	703
Reducción de ocurrencia de fallas en 60%	1380	897	705

Con los valores reportados en la Tabla 12, se observa que el incremento de la producción en la línea de envasado respecto al valor actual, representado en cajas por hora, aumenta en un 12,8% y en un 13,9%, cuando se reduce la ocurrencia de fallas en un 30% y un 60% respectivamente y las etiquetadoras se encuentran a su máxima velocidad.

Adicional a esto, la mejora que se percibe al hacer una disminución de la ocurrencia de fallas cuando las etiquetadoras funcionan en sus valores nominales, es de 5,58% y de 6,67%, cuando se reducen en 30% y 60% respectivamente.

Tabla 12. Sensibilidad de la velocidad del sistema ante la ocurrencia de fallas y etiquetadoras a la velocidad nominal

Escenarios de Mantenibilidad	Velocidad Sistema		
	Cerveza	Malta (Granel)	Malta (Six Pack)
Actual	1354	947	766
Reducción de ocurrencia de fallas en 30%	1528	1006	792
Reducción de ocurrencia de fallas en 60%	1544	1052	837

Por otra parte, cuando todos los equipos funcionan a las velocidades nominales, siendo el cuello de botella del sistema los equipos llenadores de botellas y no ocurren fallas, considerado un sistema ideal, la velocidad del sistema en el caso de cerveza de acuerdo al modelo de simulación es en promedio de 1595 cajas/hora, con valor máximo de 2094 cajas/hora y mínimo de 1096 cajas/hora. De acuerdo a dichos valores, el valor que podría considerarse tope para el sistema es de 2094 cajas/hora para el caso de cerveza, debido a todas las interacciones entre equipos y bandas que conforman el sistema de envasado de botellas no retornables. En el caso de envasado de malta, la velocidad por manga

cuando se produce granel y *six pack* es en promedio de 1109 cajas/hora y 869 cajas/hora, respectivamente.

4.2 Validación estadística de los resultados

Para verificar que los resultados arrojados por el análisis de sensibilidad no son causados por la aleatoriedad del modelo de simulación, se realiza el cálculo del intervalo de confianza para la prueba de hipótesis de diferencia entre medias de la velocidad promedio del modelo de simulación validado (actual) de la línea de envasado y la velocidad promedio arrojada por el modelo de simulación para cada uno de los escenarios (ver Tabla 13).

En la Tabla 13 se observa que al modificar las velocidades de las etiquetadoras el sistema refleja cambios significativos, debido a que los intervalos de confianza obtenidos no contienen el valor cero (0), rechazando la hipótesis nula.

Además, también se observa que en el caso de modificar solo los valores de ocurrencia de fallas, dejando fijos los valores actuales de velocidad de las etiquetadoras, la variación de los resultados no es significativa, aceptando la hipótesis nula que establece que la velocidad media de los valores históricos es igual a la velocidad media de los valores arrojados mediante el modelo de simulación (reducir el mantenimiento, sin modificar las velocidades de las etiquetadoras, no afecta la velocidad de la línea de envasado).

Tabla 13. Sensibilidad de la velocidad del sistema ante la ocurrencia de fallas

Prueba		Intervalo de Confianza	Hipótesis Nula (Ho)
Etiquetadoras	Fallas		
Lenta	Igual	(303,53 ± 56,02) →(247,51; 359,55)	Se rechaza
Rápida	Igual	(-92,77 ± 71,80) →(-164,57; -20,97)	Se rechaza
Actual	Reducción 30%	(-35,41 ± 68,48) →(-103,89; 33,07)	Se Acepta
Actual	Reducción 60%	(-25,93 ± 52,25) →(-78,18; 26,32)	Se Acepta
Rápida	Reducción 30%	(-173,59 ± 85,49) →(-259,08; -88,10)	Se rechaza
Rápida	Reducción 60%	(-189,44 ± 72,11) →(-261,55; -117,33)	Se rechaza

4.3 Análisis económico de las propuestas

A continuación se presentan los costos referentes a las propuestas planteadas.

Modificación de las velocidades de las etiquetadoras

Se recomienda fijar los valores de velocidades de las etiquetadoras en valores aceptables, que se modifiquen mediante controladores de acuerdo al afluente de botellas que posean las bandas transportadoras previas a los equipos, de forma tal que

Por otra parte, debido a que los valores reportados en los casos de reducción de 30% y 60% de las fallas, cuando las etiquetadoras funcionan a las velocidades nominales, se encuentran cercanos, se hace una prueba de hipótesis de diferencia entre medias para identificar si existe igualdad estadística de datos que manifieste que no existe una variación significativa de los resultados en cuanto a la velocidad del sistema (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Prueba de hipótesis para la diferencia entre medias para reducción de fallas en 30% y 60%

\bar{x}_1	\bar{x}_2	n_1	n_2	$S_{c_1}^2$	$S_{c_2}^2$
1528,47	1544,32	46,00	46,00	62553,54	37304,47

Intervalo de confianza obtenido:

$$(- 15,85 \pm 91,32) \rightarrow (-107,17; 75,47)$$

Dado que el intervalo de confianza obtenido contiene el valor cero (0), se acepta la hipótesis nula, la cual establece que la media de los datos arrojados por la simulación en el caso de reducción de fallas en un 30% con la velocidad de las etiquetadoras al valor nominal, es igual a la media obtenida a través de la simulación en el caso de reducción de fallas en un 60% con la velocidad de las etiquetadoras al valor nominal (reducir la ocurrencia de fallas en más de un 30%, con la velocidad nominal de las etiquetadoras, no afecta la velocidad de la línea de envasado).

los operadores no tengan la posibilidad de modificar los valores de velocidad y las etiquetadoras puedan trabajar a una velocidad más estable, reportando mejores resultados al final de la jornada.

Esta propuesta no tiene costo alguno para la empresa debido a que la línea ya posee sensores que indican a los equipos etiquetadores el afluente de botellas previo. Solo habría que bloquear el acceso a la modificación de las velocidades, de forma que la modificación de la misma se haga únicamente en casos

especiales y sea necesaria la presencia del supervisor de línea o encargado.

- Mejora de la mantenibilidad

Se plantea la evaluación del manejo del mantenimiento llevado en la empresa a partir de una auditoría a ser realizada por un ente externo a la misma, que sea especializado en metodologías y administración de mantenimiento que diagnostique el estado de la empresa en el tema.

De igual forma, se plantea el adiestramiento de los integrantes del departamento de mantenimiento con técnicas y herramientas utilizadas en la filosofía TPM para gestionar un mejor control de las actividades del mismo que permitan llevar un registro de data confiable para en un futuro diseñar un sistema de control de mantenimiento basado en confiabilidad.

De acuerdo a un presupuesto solicitado a la empresa de servicios de consultoría nacional, respecto a la evaluación de gestión de mantenimiento, la *Consultoría de evaluación de la gestión de mantenimiento en la planta de Envasado de Cervecería Polar*, caracterizado por efectuar el diagnóstico del departamento de mantenimiento en tres partes:

1. Mantenimiento Preventivo
2. Mantenimiento Predictivo
3. Mantenimiento Correctivo e Indicadores de Gestión

Tiene un costo Costo por hora de Bs.F. 180,00 más 3 visitas de 6 horas cada una por Bs.F. 3.240,00

Por otra parte, el costo de la realización de un curso instructivo de técnicas y herramientas de control de mantenimiento tiene un costo de: Bsf. 1.800 por participante, con una duración de 80 horas. Dado que el personal que conforma la línea, entre personal de mantenimiento y operativo, es de 15 personas, se estima un costo total para el adiestramiento del personal en TPM, tiene un costo total de Bsf. 27.000.

4.4 Mejora en el proceso de cambio de producto

Dado que el cambio de producto representa un proceso crítico previo al envasado de las botellas, se hace un análisis con la finalidad de disminuir el los tiempos de sus actividades, permitiendo mayor disponibilidad de la línea para la producción.

- Formato de Control de Cambio de Producto

Se propone un formato de control de cambio de producto con un estimado del tiempo de las actividades generales de cambio en los diferentes equipos de la línea, a fin de generar un esquema que le permita al supervisor llevar mejor control en cuanto a las actividades y el uso de los recursos humanos y técnicos. El formato se realiza sobre los puntos clave del recorrido de las últimas botellas del producto anterior para la secuencia Cerveza-Malta, por ser el cambio de producto de mayor duración, según se muestra en la figura:

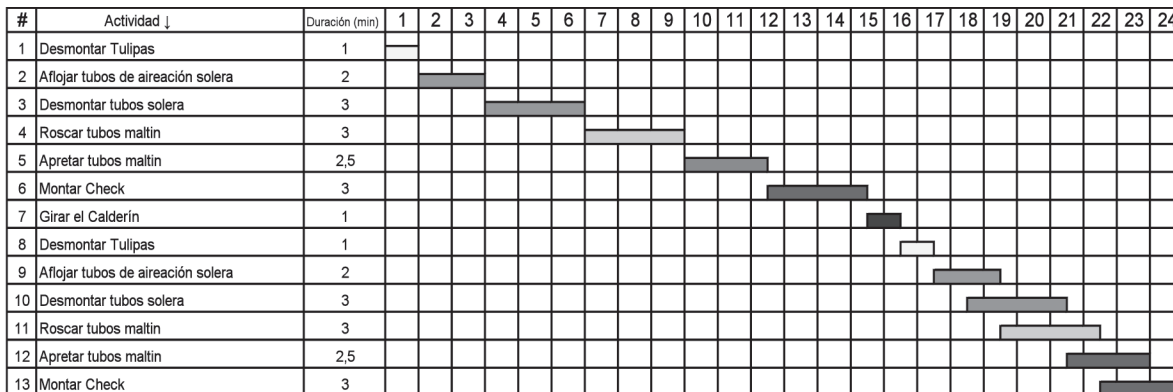


Figura 7. Diagrama de distribución de tiempos de cambio operativo en llenadoras. Fuente: Elaboración propia.

4.5 Plan para la implementación de las propuestas

La modificación de los controladores de las velocidades de las etiquetadoras puede realizarse durante un fin de semana durante el periodo de

ejecución de actividades de mantenimiento por personal de la empresa, de acuerdo a una orden de trabajo. Por esta razón no se realiza un plan de implementación para esta propuesta.

Para la evaluación de la línea de envasado y el entrenamiento del personal en Mantenimiento Productivo Total (TPM), se propone la realización de actividades según se presenta un diagrama tentativo para la ejecución de las actividades de mantenimiento (ver figura 18).

Dado que los tres turnos de trabajo de la línea, no pueden detener sus operaciones regulares de trabajo, se propone la realización de cursos sabatinos de cuatro (4) horas de duración cada uno, que no interfieran con la planificación establecida, para un total de 5 semanas de trabajo.

Esto dependerá de la disponibilidad de los operarios y personal técnico, así como de las políticas de la empresa.

Para el cambio de producto se plantea el entrenamiento y supervisión del personal durante sus actividades regulares en los tres turnos, por lo que no se plantea un plan para su ejecución.

5. CONCLUSIONES

Las causas que afectan la productividad de la línea seis según el estudio realizado son la modificación de la velocidad de las etiquetadoras y la ocurrencia y tiempo de reparación de fallas en el sistema.

La línea de envasado es sensible a la modificación de las velocidades de las etiquetadoras, las cuales se encuentran operando a una velocidad inferior a la velocidad nominal, convirtiéndose en el cuello de botella del sistema. Al colocar la velocidad de las etiquetadoras en su valor nominal la velocidad del sistema incrementa en un 6,8% para el envasado de cerveza. Al estar las velocidades de las etiquetadoras en su valor nominal y disminuir la ocurrencia de fallas en un 30%, la velocidad de envasado del sistema se incrementa en un 12,8%.

El sistema es menos sensible a la ocurrencia de las fallas, ya que luego de disminuirlas desde un 30% hasta un 60%, con las etiquetadoras en su valor nominal de velocidad, el sistema no presenta variaciones significativas en la velocidad de envasado.

Se logró diseñar un esquema para organizar y mejorar el proceso de cambio de producto, disminuyendo los desperdicios por transporte, reduciendo el tiempo de cambio en la llenadora, y minimizando los tiempos improductivos del sistema por ser el equipo crítico de la línea de llenado.

Para la implementación de las propuestas, se realizó un breve esquema en donde se contempla el tiempo requerido para el diagnóstico de la empresa en cuanto a la gestión de mantenimiento y el tiempo requerido para el adiestramiento del personal. La implementación de éstas y de las otras mejoras dependerá de la disponibilidad de las instalaciones, operarios y personal requerido.

Se presentan presupuestos elaborados por una empresa externa que establece que para el diagnóstico de la línea en cuanto a la gestión de mantenimiento se requiere de una inversión de Bsf. 3.240. Por otra parte, el adiestramiento del personal operativo y técnico de la línea en la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) requiere una inversión con un costo total de Bsf. 27.000.

Para fijar los valores de velocidad en las etiquetadoras, no es necesaria una inversión por parte de la empresa, debido a que cuentan con los materiales y mano de obra necesaria para lo modificación de los controladores de las mismas.

Para la implementación de las propuestas se estima un tiempo de 2 semanas para el diagnóstico de la empresa de acuerdo a la gestión del mantenimiento y 5 semanas para el adiestramiento del personal en el ámbito del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

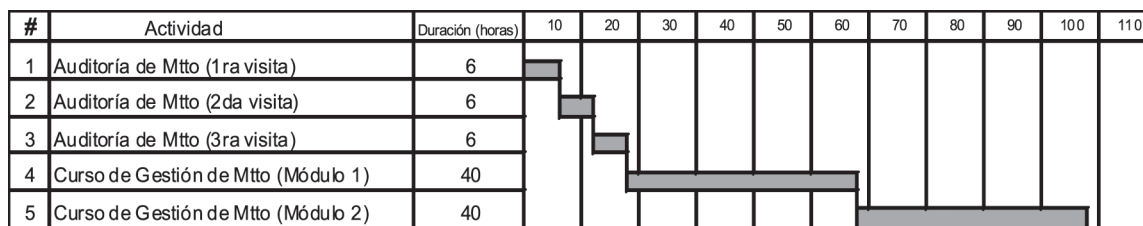


Figura 8. Diagrama de distribución de tiempo para la implementación de propuestas de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

6. RECOMENDACIONES

La velocidad nominal del sistema no se puede basar en la velocidad nominal de uno de sus equipos sino del conjunto de interacciones que conforman el mismo. De acuerdo a lo reportado por el modelo de simulación, el valor nominal del sistema es de 2094 cajas/hora para el caso de envasado de cerveza, de 1737 cajas/hora para el envasado de malta en presentación granel y 1234,14 cajas/hora para el envasado de malta en presentación six pack.

Se recomienda fijar el valor de la velocidad de la etiquetadora 602 para el caso de envasado de cerveza en 1875 cajas/hora, y para el caso de envasado de malta en 2.083 cajas/hora; y para la etiquetadora 601, se recomienda fijar el valor de velocidad para el caso de envasado de cerveza en 1870 cajas/hora, y para el caso de malta en 2.070 cajas/hora. Los equipos han funcionado en los valores anteriormente mencionados, por lo que queda de la empresa hacer el mantenimiento correspondiente para que los equipos funcionen correctamente.

Se recomienda la implementación de las propuestas referentes al mantenimiento para que la empresa posea herramientas que permitan tener un sistema de información más confiable que facilite tomar decisiones con criterios respaldados con información valedera.

Se recomienda la renovación esporádica de los indicadores de delimitación de espacio, los colores y placas que identifican las piezas de cada producto ubicados en el área de las etiquetadoras, para mantener el área de trabajo ordenada y disminuir las posibilidades de errores al momento del montaje de piezas durante el cambio de producto.

Por último, es importante comunicar a los empleados la importancia que tienen el correcto funcionamiento de los equipos de acuerdo a las velocidades que se planifican y su impacto sobre el resultado de la jornada de trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Cuatrecasas, Luis (2000), *Total Productive Maintenance*. Editorial Gestión 2000. Barcelona 2003.
- Espinoza León, Vanessa; Guinand Salas, Andreina (2007, Octubre). *Análisis de los procesos en el área de envasado, destinado a reducir las mermas de los cuerpos de latas y tapas de latas en una empresa nacional de consumo masivo*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello.
- K. Hodson William (2001, Septiembre). Maynard, Manual del Ingeniero Industrial. Tomo II. Cuarta edición. Editorial Mac Graw Hill, México
- Kenneth W. Dailey (2006, Abril 26). Manual de Entrenamiento de Manufactura Esbelta para el Empleado. Editorial Paperback
- Lecue, Xabier. (2007, Octubre). *Diseño de propuestas de mejora para incrementar los niveles de producción del área de prensas excéntricas de una fábrica productora de insumos eléctricos y del sector de la construcción en Caracas*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello.
- Leflar, James A. Practical TPM: Successful Equipment Management at Agilent Technologies. Editorial Productivity Press. Copyright 2001.
- W. Kelton (2008, Agosto). Simulation with Arena . Editorial McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management by Hardcover.