

Análisis de rentabilidad entre reacondicionar o  
comprar equipos nuevos en una línea de envasado

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades

Análisis de rentabilidad entre reacondicionar o  
comprar equipos nuevos en una línea de envasado


BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de investigación presentado por Hernán  
Mauricio Cañón García para optar al grado de  
Licenciado en Ingeniería Industrial

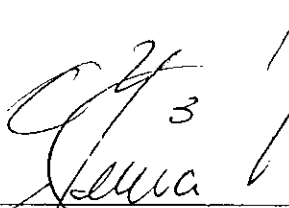
Guatemala

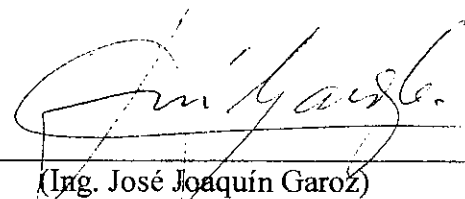
2004

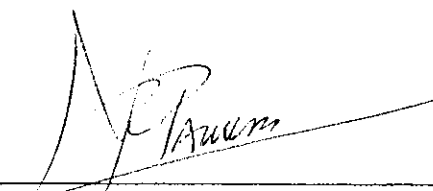
Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Alejandro Urrea)

Tribunal:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Alejandro Urrea)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. José Joaquín Garoz)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Carlos Paredes)

Fecha de aprobación: 2 de noviembre de 2004.

## CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	v
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	2
A. Productividad.....	2
B. Análisis de Beneficio/Costo de un solo proyecto.....	4
C. Decisiones de reemplazo y conservación.....	5
D. Proceso de envasado.....	6
E. Equipo a evaluar.....	9
<b>III. PLAN DE MEJORA DE RENDIMIENTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO</b> .....	13
A. Evaluación de rendimiento en una línea de envasado.....	13
B. Puntos a mejorar.....	20
<b>IV. COMPARACIÓN DE LA LÍNEA ACTUAL CON LA REACONDICIONADA</b> .....	28
A. Rendimiento en la línea de producción.....	28
B. Consumo de agua fresca en el sistema de lavado.....	30
C. Consumo de agua fresca en el arranque de la lavadora.....	31
<b>V. EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO</b> .....	32
A. Costos.....	32
B. Beneficios.....	33
C. Análisis de reacción Beneficio/Costo para reacondicionar la lavadora.....	34
D. Análisis de reemplazo para la lavadora reacondicionada.....	36
<b>VI. CONCLUSIÓN</b> .....	39
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	40
<b>VIII. APÉNDICE</b> .....	41

## LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
1 Resumen de datos de producción en la línea A.....	15
2 Resumen de datos de producción en la línea B.....	16
3 Sobrecapacidad de producción de botellas en la línea A.....	17
4 Botellas rechazadas en la línea A.....	18
5 Total de botellas rechazadas en la línea A.....	19
6 Comparación de diámetros de boquillas.....	21
7 Comparación de presión en boquillas.....	22
8 Comparación en producción estimada en 2 1/2 meses.....	28
9 Comparación en producción estimada en 1 año.....	29
10 Comparación estimada en el consumo de agua fresca en sistema de lavado.....	30
11 Comparación estimada en el consumo de agua fresca, durante el arranque de la lavadora.....	31
12 Costos para mejorar el lavado interno de la botella.....	32
13 Costos para mejorar el lavado externo de la botella.....	32
14 Costos para disminuir el consumo de agua en el arranque de la lavadora.....	33
15 Beneficios anuales estimados al reacondicionar la lavadora A.....	33
16 Valor anual de los costos para reacondicionar la lavadora A.....	34
17 Costos y beneficios de las lavadoras en el 2004.....	36
18 Flujo de caja en el 2004.....	37
19 Costos y beneficios de las lavadoras en el 2007.....	38
20 Flujo de caja en el 2007.....	38

## LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA	PÁGINA
1 Sobrecapacidad de los equipos 1.....	17
2 Comparación de presión en la boquilla con agua recirculada.....	22
3 Comparación de presión en la boquilla con agua fresca.....	23
4 Sobrecapacidad de los equipos 2.....	29
5 Punto de equilibrio entre lavadoras.....	37

## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN	PÁGINA
1 Introducción de botellas a la lavadora.....	9
2 Extracción de etiqueta.....	10
3 Jet para lavado interior.....	11
4 Diagrama del interior de la lavadora.....	12
5 Sistema de jet de lavado.....	20
6 Cambio de diametro en la boquilla del jet de lavado.....	21
7 Lavado interno de botella.....	23
8 Impeler.....	24
9 Sistema de polea en bomba-motor.....	25
10 Limpieza exterior de la botella.....	25
11 Lugar de instalación del sensor de proximidad en la lavadora A.....	27

# I. INTRODUCCIÓN

Estamos viviendo en un ambiente competitivo y las empresas embotelladoras no son la excepción, hoy en día las empresas que desean competir para obtener un mayor mercado deben cumplir con calidad, buena producción, bajos costos, tiempos estándares, eficiencia, innovación, nuevos métodos de trabajo, tecnología. Que tan productiva o no sea una empresa podría demostrar el tiempo de vida de esta, además de la cantidad de producto fabricado con un total de recursos utilizados. Por esto se crea la necesidad de optimizar procesos, a modo de tener mayor productividad en una línea de envasado, mejorando el proceso y reduciendo costos de operación e insumos.

El presente estudio pretende evaluar la rentabilidad de reacondicionar la maquinaria de lavado de botellas de vidrio existente en una línea de envasado, o invertir en la compra de un equipo, buscando aumentar la eficiencia en la línea minimizando el porcentaje de botellas rechazadas, por mal lavado. Al disminuir este porcentaje, se minimiza el consumo de agua, energía y reprocesos en el lavado de botellas, siendo este último, la razón principal de la disminución de la vida útil de la botella y del bajo rendimiento de la línea.

Se tomará en cuenta todos los recursos que se requieran, para que el proceso de lavado se optimice, esto trae como consecuencia una inversión, por lo que se mostrará al concluir la opción más rentable, entre reacondicionar o comprar un equipo nuevo.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Productividad

1. **Importancia de la productividad.** El único camino para que un negocio pueda crecer y aumentar su rentabilidad (o sus utilidades) es aumentando su productividad. Y el instrumento fundamental que origina una mayor productividad es la utilización de métodos, el estudio de tiempos y un sistema de pago de salarios.

2. **¿Que es productividad?** Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los empleados.

Productividad en términos de empleados es sinónimo de rendimiento. En un enfoque sistemático decimos que algo o alguien es productivo con una cantidad de recursos (insumos) en un periodo de tiempo dado se obtiene el máximo de productos.

La productividad en las máquinas y equipos está dada como parte de sus características técnicas. No así con el recurso humano o los trabajadores. Deben de considerarse factores que influyen.

La relación de cantidad producida por recursos utilizados, en la productividad es:

$$\text{Productividad} = \text{Salida} / \text{Entradas}$$

Entradas: Mano de Obra, Materia prima, Maquinaria, Energía, Capital.

Salidas: Productos.

3. **¿Como se mide la productividad?** La productividad se define como la relación entre insumos y productos, en tanto que la eficiencia representa el costo por unidad de producto.

En las empresas que miden su productividad, la fórmula que se utiliza con más frecuencia es:

$$\text{Productividad: } \frac{\text{Número de unidades producidas}}{\text{Insumos empleados}}$$

Este modelo se aplica muy bien a una empresa manufacturera, taller o que fabrique un conjunto homogéneo de productos. Sin embargo, muchas empresas modernas manufacturan una gran variedad de productos. Estas últimas son heterogéneas tanto en valor como en volumen de producción a su complejidad tecnológica puede presentar grandes diferencias. En estas empresas la productividad global se mide basándose en un número definido de centros de utilidades que representan en forma adecuada la actividad real de la empresa.

La fórmula se convierte entonces en:

$$\text{Productividad: } \frac{\text{Producción a + prod. b + prod. n...}}{\text{Insumos empleados}}$$

Finalmente, otras empresas miden su productividad en función del valor comercial de los productos.

$$\text{Productividad: } \frac{\text{Ventas netas de la empresa}}{\text{Salarios pagados}}$$

Todas estas medidas son cuantitativas y no se considera en ellas el aspecto cualitativo de la producción (un producto debería ser bien hecho la primera vez y responder a las necesidades de la clientela). Todo costo adicional (reinicios, refabricación, reemplazo reparación después de la venta) debería ser incluido en la medida de la productividad. Un producto también puede tener consecuencias benéficas o negativas en los demás productos de la empresa. Si un producto satisface al cliente, éste se verá inclinado a comprar otros productos de la misma marca; si el cliente ha quedado insatisfecho con un producto se verá inclinado a no volver a comprar otros productos de la misma marca.

El costo relacionado con la imagen de la empresa y la calidad debería estar incluido en la medida de la productividad

Con el fin de medir el progreso de la productividad, generalmente se emplea el índice de productividad (P) como punto de comparación:

$$P = 100 * (\text{Productividad Observada}) / (\text{Estándar de Productividad})$$

La productividad observada es la productividad medida durante un periodo definido (día, semana, mes, año) en un sistema conocido (taller, empresa, sector económico, departamento, mano de obra, energía, país) El estándar de productividad es la productividad base o anterior que sirve de referencia.

Con lo anterior vemos que podemos obtener diferentes medidas de productividad, evaluar diferentes sistemas, departamentos, empresas, recursos como materias primas, energía, entre otros.

Pero lo más importante es ir definiendo la tendencia por medio del uso de índices de productividad a través del tiempo en nuestras empresas, realizar las correcciones necesarias con el fin de aumentar la eficiencia y ser más rentables.

Elementos importantes a considerar para aumentar la productividad de la empresa son el capital humano como la inversión realizada por la organización para capacitar y formar a sus miembros y el instructor de la población trabajadora que son los conocimientos y habilidades que guardan relación directa con los resultados del trabajo.

## B. Análisis de Beneficio/Costo de un solo proyecto

La razón Beneficio/Costo (B/C) se considera el método de análisis fundamental para proyectos del sector público. El análisis B/C se creó para asignar mayor objetividad a la economía del sector público, como una respuesta del Congreso de Estados Unidos que aprobó el acta de control de inundaciones de 1936. Existen diversas variaciones de la razón B/C: sin embargo, el enfoque fundamental es el mismo. Todos los cálculos de costos y beneficios deberán convertirse a una unidad monetaria de equivalencia común (VP, VA o VF) a la tasa de descuento (tasa de interés). La razón convencional B/C se calcula de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{\text{VP de beneficios}}{\text{VP de costos}} = \frac{\text{VA de beneficios}}{\text{VA de costos}} = \frac{\text{VF de beneficios}}{\text{VF de costos}}$$

Las equivalencias para valor presente y valor anual se utilizan más que las del valor futuro. La convención de signos para el análisis B/C consiste en signos positivos; así, los costos irán precedidos por un signo +. Los contrabeneficios se consideran de diferentes maneras, dependiendo del modelo que se utilice.

Más comúnmente, los contrabeneficios se restan de los beneficios y se colocan en el numerador. A continuación se estudian las distintas modalidades.

La directriz de la decisión es simple:

Si  $B/C \geq 1.0$ , se determina que el proyecto es comúnmente aceptable para los estimados y la tasa de descuento aplicada.

Si  $B/C \leq 1.0$ , el proyecto no es económicamente aceptable.

Si el valor B/C es igual o esta muy de 1.0 los factores ayudan a tomar la decisión de la mejor alternativa.

La razón B/C convencional, probablemente la más ampliamente utilizada se calcula de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - \text{Contrabeneficios}}{\text{Costos}}$$

1. **Costos:** estimación de gastos para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto.
2. **Beneficios:** ventajas que experimenta el propietario.
3. **Contrabeneficios:** desventajas para el propietario cuando se lleva a cabo el proyecto bajo consideración. Los contrabeneficios pueden consistir en desventajas económicas indirectas de la alternativa.

### C. Decisiones de reemplazo y conservación

En muchos estudios de ingeniería económica, el método del VA es el más recomendable cuando se le compara con el VP, el VF y la tasa de rendimiento. Ya que el VA es el valor anual uniforme equivalente de todos los ingresos y desembolsos, estimados durante el ciclo de vida proyecto o alternativa, cualquier persona familiarizada con pagos anuales, es decir, unidades monetarias anuales, puede entender con facilidad el concepto de facilidad el concepto de VA. Los valores de VP, VF y VA se puede calcular fácilmente, uno a partir del otro, por medio de la fórmula:

$$VA = VP (A/P, i, n) = VF (A/F, i, n)$$

El valor n en los factores representa el número de años para la comparación de alternativas de servicio igual. Este es el Mínimo Común Múltiplo (MCM) del periodo de estudio establecido del análisis del VP o VF. La tasa de interés esta representada por el símbolo (i).

Cuando todas las estimaciones del flujo de efectivo se convierte a un VA, este valor se aplica a cada año del ciclo de vida y para cada ciclo de vida adicional. De hecho, una ventaja de interpretación y de cálculo radica en que el VA debe calcularse exclusivamente para un ciclo de vida. Por lo tanto, no es necesario emplear el MCM de las vidas, como en el caso de los análisis del VP y del VF.

1. **Opciones sucesivas y valores VA.** Se llevan a cabo todas las formas viables de utilizar al defensor y al retador durante el periodo de estudio. Puede haber una o varias opciones; cuanto más extenso sea el periodo de estudio, más complejo se torna el análisis. Los valores VAD y VAR se utilizan para formar la serie de flujo de efectivo equivalente para cada opción.

2. **Elección de la mejor opción.** Se calcula el VA de cada opción durante el periodo de estudio. Se elige la opción con mínimo de costo o mayores rendimientos en caso de que estimen los ingresos.

#### D. **Proceso de envasado**

El proceso de envasado de una cerveza o refresco podría imaginarse como un proceso sencillo y de fácil control, pero en realidad implica una gran cantidad de procesos intermedios y de maquinaria especializada para lograr una calidad uniforme en todos los productos que se elaboran.

Si bien el proceso de fabricación no ha cambiado en lo esencial a través del tiempo, la maquinaria empleada sí lo ha hecho, principalmente en la tecnología utilizada para su operación a grandes velocidades.

Una línea tradicional de producción consta de los siguientes elementos básicos :

1. **Despaletizadora.** Es la primera parte del proceso de envasado, aquí las cajas con botellas vacías son trasladadas desde una estiba hasta las líneas transportadoras, que llevan las cajas hacia la desempacadora. La despaletizadora esta programada para levantar nueve cajas, cada vez que se realiza un movimiento desde la estiba hasta la línea.

2. **Desempacadora.** Es el equipo utilizado para extraer las botellas de sus cajas contenedoras y transferirlas a líneas transportadoras hacia el proceso de lavado. El tamaño del equipo y el método de desempacado varía en razón de la botella a manejar y del tipo de caja contenedora.

3. **Lavadora de botellas.** Una de las máquinas más imponentes del proceso de fabricación es la lavadora de envases. Esta máquina llega a manejar simultáneamente hasta 72,000 botellas durante un proceso que dura, dependiendo de la marca y modelo de la máquina, aproximadamente 60 minutos, sumergiendo las botellas en tanques de solución cáustica a altas temperaturas y enjuagándolas con chorros de alta presión hasta dejarlas en condiciones óptimas para su llenado conforme los estándares de calidad.

4. **Inspector de botellas.** Seguridad máxima es el objetivo principal de un inspector de botellas, garantizando en un 99.99% detectar cuerpos extraños de todo tipo, mediante inspección de pared interior, pared exterior, fondo y líquidos residuales, esto mediante scanner y rayos infrarrojos. Esta maquina rechaza toda botella que no cumpla con los requerimientos establecidos de calidad, evitando que el envase en mal estado llegue a la llenadora.

5. **Equipo de refrigeración.** Es quizá uno de los puntos neurálgicos de todo el proceso. Este equipo es el encargado de bajar la temperatura del producto a embotellar a casi los cero grados centígrados. El enfriamiento se logra a través de deslizar el producto en unas placas de acero inoxidable que contienen amoníaco a alta presión que al estar en esta condición absorben el calor del líquido, logrando con ello el efecto deseado, sin que en ningún momento exista contacto entre el elemento enfriador (amoníaco) y el producto a envasar.

6. **Equipo proporcionador.** Es en este equipo en donde realmente se elabora el producto. Su función, la más importante del proceso, es la de mezclar en proporciones debidas el concentrado del producto a embotellar. Este equipo de alta tecnología controla el flujo de producto hacia la llenadora y con base en ello prepara la cantidad exacta de líquido en cantidades tales que den como resultado el sabor deseado del producto a envasar.

7. **Llenadora / coronadora.** Es la máquina más espectacular del proceso. Su función es la de llenar a altas velocidades cada una de las botellas lavadas, podría decirse que es "el cuello de botella" de las líneas, pues su labor es llenar en forma individual cada una de las botellas. Sus velocidades de operación varían, pudiendo llegar hasta llenar 800 botellas de 12 Oz. (355 ml) ¡en un minuto!. Su función además es la de cerrar, tapar o coronar a estas botellas.

8. **Empacadora** En esta parte del proceso de fabricación consta del encajonado de las botellas nuevamente a sus cajas para poder ser manipuladas eficientemente en el mercado al momento de su distribución. El proceso de empaque se realiza a través de una máquina que toma las botellas de los transportadores y las coloca en sus respectivas rejillas conforme a la presentación a manejar, es decir, en 24, 9 u 8 casilleros en rejillas altas o bajas según el tipo de envase.

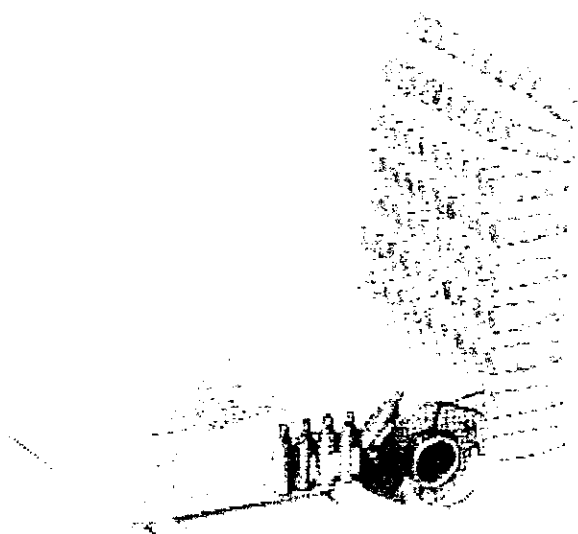
9. **Paletizadora** Es la última parte del proceso de envasado, en donde el producto terminado que sale de la empacadora es colocado en estibas, ordenando las cajas de tal modo que en una estiba quepan 36 cajas, listas para ser almacenadas.

Adicionalmente se requiere de distintos equipos auxiliares como son las calderas, compresores de aire y de amoníaco, tanques de acero inoxidable para la preparación y reposo de concentrados, tratamientos de agua, etc.

## E. Equipo a evaluar.

Una lavadora esta formada por diferentes módulos, en donde cada uno realiza funciones sincronizadas para un optimo lavado de botellas de vidrio. Las botellas vacías entran a la lavadora mediante alvéolos de plástico, cada botella es introducida en uno de estos alvéolos.

Ilustración No. 1. Introducción de botellas a la lavadora



A la botella se le da un giro de  $180^\circ$  para vaciar los residuos líquidos y sólidos que pueda contener esta, seguidamente pasa por un rociado previo con agua a  $55^\circ\text{C}$  para un precalentamiento y remojo de la botella, tanto internamente como externamente. Luego es sumergida la botella en repetidas ocasiones en soda cáustica, dándole vueltas de  $180^\circ$  a modo de sacar todo lo interno de la botella, esto se realiza a temperaturas de  $85^\circ\text{C}$ .

Durante este proceso actúa un sistema de desprendimiento de etiquetas de varios niveles y gran caudal, que por diferencia de nivel manométrico quita de forma suave la suciedad y las etiquetas de las botellas. Inmediatamente el extractor de etiquetas con cinta tamizada las elimina. Gracias a ello se evita que se deshagan las etiquetas y que los restos queden en el baño de soda cáustica.

Las etiquetas se desprenden desde abajo con un rociado y se sacan de las células con agua. Mediante un rebose se desvía la soda cáustica con etiquetas sobre la cinta de eliminación central. Para ello, las

botellas entran libremente en las células y pueden ser accedidas por todos los lados. Después de un tiempo de remojo empieza el rociado. Las botellas son movidas en las células de forma que la soda cáustica pueda llegar a toda la superficie de la botella. Gracias a ello se eliminan incluso etiquetas que se desprenden con dificultad. Las etiquetas son llevadas a una cinta de eliminación central y son transportadas hacia un contenedor externo. Una brocha rotante elimina etiquetas y sustancias sólidas de la cinta.

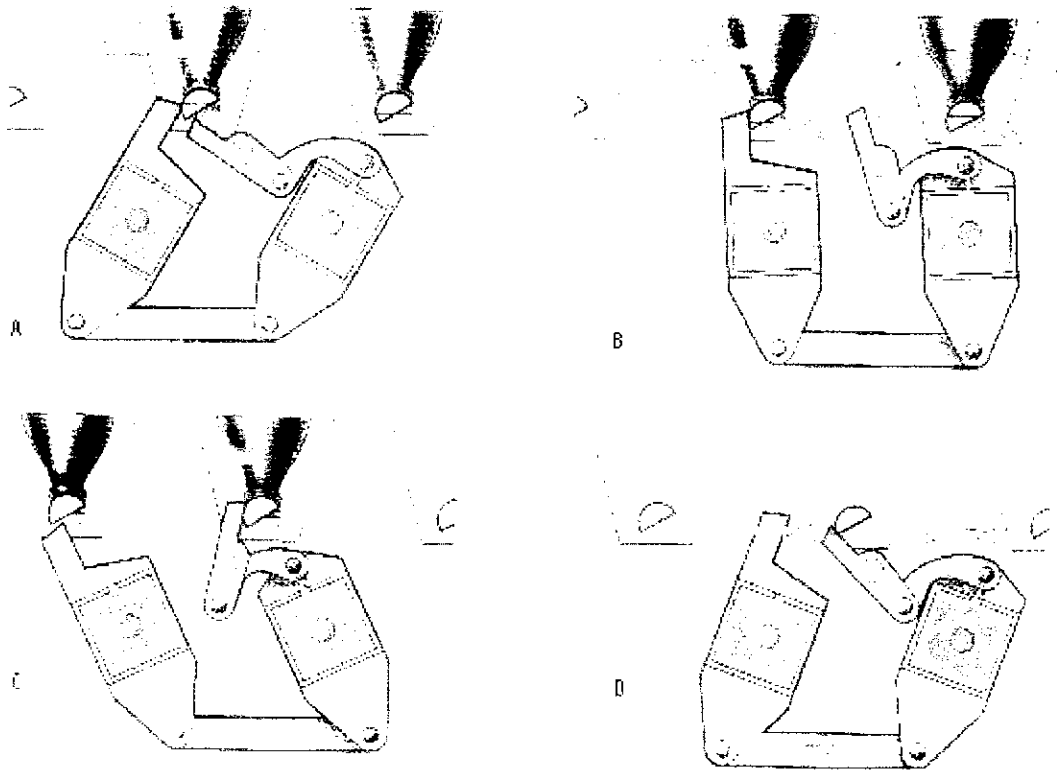
Ilustración No. 2. Extracción de etiqueta.



Al salir de los baños de soda cáustica, la botella es introducida en baños con agua caliente uno de 60°C y otro de 40°C, a modo de bajar la temperatura de la botella gradualmente.

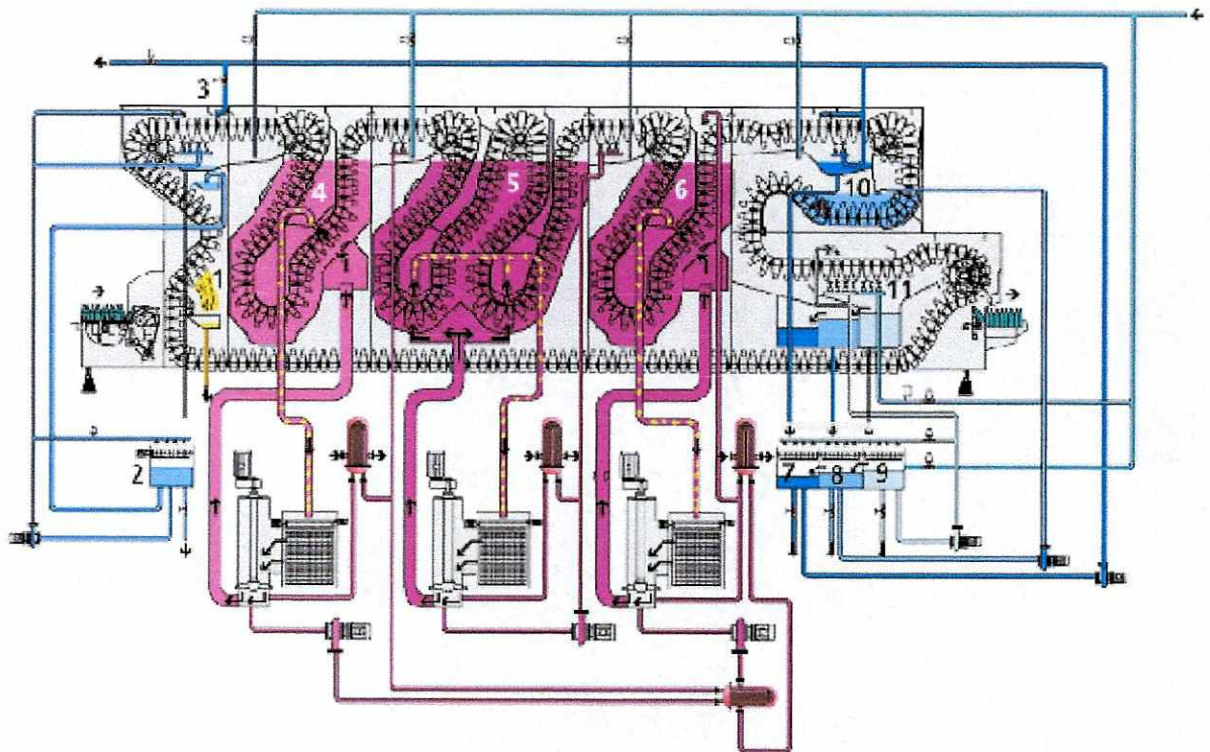
Por último se le da un rociado interno con agua fresca de manera sincronizada, para eliminar completamente residuos de soda cáustica y otros residuos que no salieron durante la serie de remojos. Al salir de este rociado las botellas pasan por una zona de goteo, ya que una vez que la botella a pasado por la lavadora, ésta pasa por el inspector en donde además de verificar que la botella este completamente limpia, inspecciona que sea mínimo el liquido residual de la botella.

Ilustración No. 3. Jet para lavado interior.



La ilustración No. 4 muestra cómo pasa la botella por cada una de las partes de la lavadora.

Ilustración No. 4. Diagrama del interior de la lavadora.



1 Vaciado residual

2 Rociado previo 1

3 Rociado previo 2

4 Sosa cáustica 1

5 Sosa cáustica 2

6 Sosa cáustica 3

7 Agua caliente 1

8 Agua caliente 2

9 Agua fría

10 Rociado y baño de inundación en agua caliente

11 Agua fresca

### III. PLAN DE MEJORA DE RENDIMIENTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO

#### A. Evaluación del rendimiento en una línea de envasado

El siguiente estudio se realizó en una empresa dedicada a la elaboración de cerveza, la cual cuenta con dos líneas, A y B, de producción en envase de vidrio de 12oz. La línea A presenta bajo rendimiento de producción, causando así sobrecostos en general. Por esta razón, se decidió evaluar detalladamente esta línea, para identificar la parte del proceso en donde se afecta la productividad del envasado de cerveza.

Particularmente estas líneas se rigen, del rendimiento de la llenadora, siendo así la maquina piloto, y en base a esta, se sincronizan las otras máquinas integradas a la línea. Una planificación bien balanceada en esta área también contribuye de manera decisiva al resultado económico de toda la planta.

La llenadora debe ser afectada lo menos posible por anomalías de las maquinas instaladas antes y después de ella, esto se consigue por medio del tiempo de reserva instalado, con el que deberá de compensar los fallos típicos y de mayor importancia. Aquí se trabaja con un 5% de sobrecapacidad de las maquinas y el transporte, por lo que la maquina tiene que trabajar un 5% más rápida para poder abastecer la llenadora con suficiente cantidad de botellas. Además de eso, es necesaria una sobrecapacidad del 5% para mantener llena la reserva subsiguiente. A este respecto hay que tener en cuenta que la reserva situada antes de la llenadora deberá estar siempre llena, para que la llenadora pueda ser abastecida de botellas continuamente, mientras que la reserva situada después de la llenadora deberá estar siempre vacía para que las botellas puedan salir también continuamente. Toda parada frecuente de la llenadora, incidirá negativamente en la rentabilidad de la planta y en la calidad del producto envasado.

La evaluación de la línea A, se realizó desde el 8 de marzo del 2004, durante tres meses en jornadas semanales de lunes a jueves de 7am a 3pm. Los días viernes, sábado y domingo se realiza limpieza, mantenimiento preventivo y correctivo en las líneas de producción.

Una caja con cerveza contiene 24 botellas, y la planta espera producir semanalmente 96,000 cajas, esto seria en el caso ideal en donde no hay paros por fallas mecánicas, y todos los equipos trabajan eficientemente. Como es común en todo proceso productivo sistematizado, el paro de una maquina por problema mecánico, incide en el paro total de la línea, por esto, la productividad ( $P. \text{ real} / P. \text{ esperada}$ ) de ambas líneas se encuentran inferior al 100%.

Por medio de formatos de control se cuantificaron el número de botellas que pasaban por la línea de producción, observándose que la cantidad de botellas que entraban a la lavadora no era el mismo que entraba a la llenadora, así se logró determinar que en el proceso de lavado existe una oportunidad de mejora, puesto que la cantidad de envase retornable rechazado por el inspector electrónico, situado después de la lavadora A es excesiva (4.34%) comparada con la lavadora de la línea B (2.43%). Además, esto se comprobó cuando durante dos semanas se corrió en la línea A con envase nuevo, aumentando considerablemente la eficiencia de la línea.

Para las semanas en que se produjo con envase retornable la productividad de la línea A es de 71.07% y la eficiencia (botellas producidas / botellas entran a línea) es de 95.66%, en donde el porcentaje restante corresponde a la cantidad de botellas que no se producen por algún motivo de rechazo, al no cumplir con los estándares de calidad.

En la tabla No. 1 se presenta el flujo de botellas que pasan por la línea A, y en la tabla No.2 el flujo de botellas que pasa en la línea B, semana a semana, durante tres meses.

Tabla No. 1. Resumen de datos de producción en la línea A.

FECHA	TIEMPO PROGRAMADO			PRODUCCION ESPERADA	
	32 h/semana			96000 cajas/semana	
<b>Mar-04</b>	SEMANA 1	SEMANA 2*	SEMANA 3*	SEMANA 4	TOTAL MES
CAJAS INGRESAN A LINEA	66,181	78,201	67,729	67,154	279,265
CAJAS PRODUCIDAS	62,868	77,288	66,916	63,988	271,060
CAJAS RECHAZADAS	3,313	913	813	3,166	8,205
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	20.96	25.76	22.31	21.33	90
PRODUCTIVIDAD LINEA	65.49%	80.51%	69.70%	66.65%	70.59%
EFICIENCIA LINEA	94.99%	98.83%	98.80%	95.29%	97.06%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	1,588,352	1,876,816	1,625,492	1,611,701	6,702,361
BOTELLAS PRODUCIDAS	1,508,832	1,854,912	1,605,984	1,535,712	6,505,440
BOTELLAS RECHAZADAS	79,520	21,904	19,508	75,989	196,921
% BOTELLAS RECHAZADAS	5.01%	1.17%	1.20%	4.71%	2.94%

\* Envase nuevo

FECHA	Abr-04				TOTAL MES
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	
CAJAS INGRESAN A LINEA	74,438	64,608	66,279	68,286	273,611
CAJAS PRODUCIDAS	71,659	61,342	63,259	65,178	261,438
CAJAS RECHAZADAS	2,779	3,266	3,020	3,108	12,173
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	23.89	20.45	21.09	21.73	87
PRODUCTIVIDAD LINEA	74.64%	63.90%	65.89%	67.89%	68.08%
EFICIENCIA LINEA	96.27%	94.95%	95.44%	95.45%	95.55%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	1,786,503	1,550,581	1,590,693	1,638,875	6,566,652
BOTELLAS PRODUCIDAS	1,719,816	1,472,208	1,518,216	1,564,272	6,274,512
BOTELLAS RECHAZADAS	66,687	78,373	72,477	74,603	292,140
% BOTELLAS RECHAZADAS	3.73%	5.05%	4.56%	4.55%	4.45%

FECHA	May-04				TOTAL MES
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	
CAJAS INGRESAN A LINEA	79,348	75,562	78,473	72,894	306,277
CAJAS PRODUCIDAS	76,256	72,589	75,283	69,850	293,978
CAJAS RECHAZADAS	3,092	2,973	3,190	3,044	12,299
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	25.42	24.20	25.09	23.28	98
PRODUCTIVIDAD LINEA	79.43%	75.61%	78.42%	72.76%	76.56%
EFICIENCIA LINEA	96.10%	96.07%	95.94%	95.82%	95.98%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	1,904,357	1,813,478	1,883,348	1,749,465	7,350,648
BOTELLAS PRODUCIDAS	1,830,144	1,742,136	1,806,792	1,676,400	7,055,472
BOTELLAS RECHAZADAS	74,213	71,342	76,556	73,065	295,176
% BOTELLAS RECHAZADAS	3.90%	3.93%	4.06%	4.18%	4.02%

Tabla. No. 2. Resumen de datos de producción en la línea B.

FECHA	TIEMPO PROGRAMADO		PRODUCCION ESPERADA		
	32 h/semana		96000 CAJAS		
Mar-04	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES
CAJAS INGRESAN A LINEA	90,060	71,006	81,954	72,396	315,416
CAJAS PRODUCIDAS	88,057	69,185	80,299	70,538	308,079
CAJAS RECHAZADAS	2,003	1,821	1,655	1,858	7,337
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	29.35	23.06	26.77	23.51	103
PRODUCTIVIDAD LINEA	91.73%	72.07%	83.64%	73.48%	80.23%
EFICIENCIA LINEA	97.78%	97.44%	97.98%	97.43%	97.67%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	2,161,449	1,704,134	1,966,899	1,737,502	7,569,984
BOTELLAS PRODUCIDAS	2,113,368	1,660,440	1,927,176	1,692,912	7,393,896
BOTELLAS RECHAZADAS	48,081	43,694	39,723	44,590	176,088
% BOTELLAS RECHAZADAS	2.22%	2.56%	2.02%	2.57%	2.33%

FECHA	TIEMPO PROGRAMADO		PRODUCCION ESPERADA		
Abr-04	32 h/semana		96000 CAJAS		
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES
CAJAS INGRESAN A LINEA	84,345	77,837	84,408	77,979	324,569
CAJAS PRODUCIDAS	82,545	75,850	82,500	75,865	316,760
CAJAS RECHAZADAS	1,800	1,987	1,908	2,114	7,809
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	27.52	25.28	27.50	25.29	106
PRODUCTIVIDAD LINEA	85.98%	79.01%	85.94%	79.03%	82.49%
EFICIENCIA LINEA	97.87%	97.45%	97.74%	97.29%	97.59%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	2,024,279	1,868,099	2,025,787	1,871,489	7,789,654
BOTELLAS PRODUCIDAS	1,981,080	1,820,400	1,980,000	1,820,760	7,602,240
BOTELLAS RECHAZADAS	43,199	47,699	45,787	50,729	187,414
% BOTELLAS RECHAZADAS	2.13%	2.55%	2.26%	2.71%	2.41%

FECHA	TIEMPO PROGRAMADO		PRODUCCION ESPERADA		
May-04	32 h/semana		96000 CAJAS		
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES
CAJAS INGRESAN A LINEA	80,522	83,421	74,848	81,083	319,874
CAJAS PRODUCIDAS	78,589	81,524	72,569	78,975	311,657
CAJAS RECHAZADAS	1,933	1,897	2,279	2,108	8,217
TIEMPO PRODUCTIVO (hora)	26.20	27.17	24.19	26.33	104
PRODUCTIVIDAD LINEA	81.86%	84.92%	75.59%	82.27%	81.16%
EFICIENCIA LINEA	97.60%	97.73%	96.95%	97.40%	97.43%
BOTELLAS INGRESAN A LINEA	1,932,531	2,002,107	1,796,362	1,945,984	7,676,984
BOTELLAS PRODUCIDAS	1,886,136	1,956,576	1,741,656	1,895,400	7,479,768
BOTELLAS RECHAZADAS	46,395	45,531	54,706	50,584	197,216
% BOTELLAS RECHAZADAS	2.40%	2.27%	3.05%	2.60%	2.57%

Como se menciona anteriormente, en el mes de marzo se corrió durante la segunda y tercera semana con envase nuevo, en donde el porcentaje de botellas rechazadas fue menor, comparadas con otras semanas en donde se utilizaron botellas retornables.

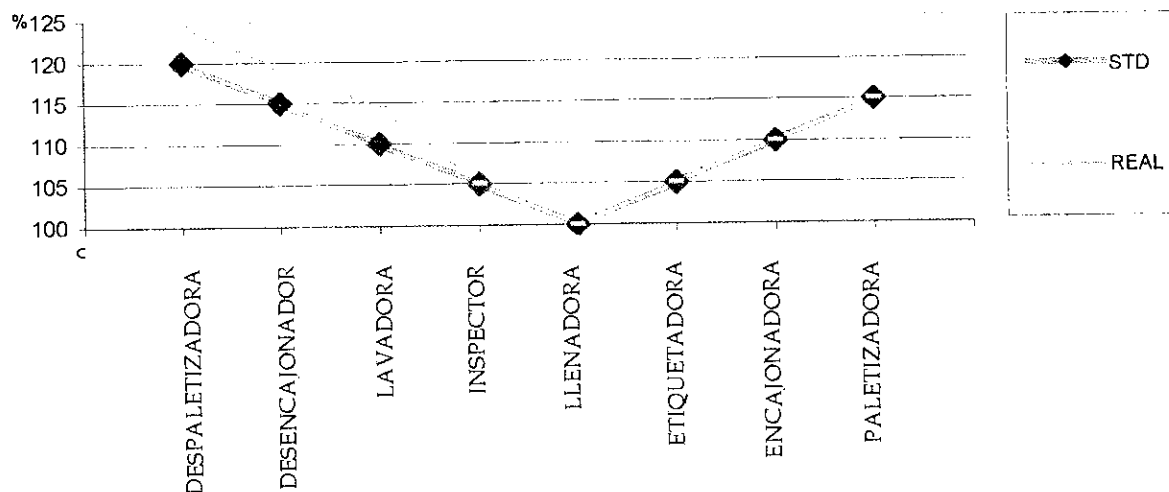
En la tabla No. 3 se muestra la sobrecapacidad de cada uno de los equipos de la línea A, para producir la cantidad de botellas de las dos semanas de marzo y los meses de abril y mayo, en donde se produjo con envase retornable. No se tomó en cuenta la mitad del mes de marzo, ya que, durante dos semanas se utilizó envase nuevo y esto altera el rendimiento de la lavadora. Según el estándar, debe haber un 5% de sobrecapacidad en cada uno de los equipos, respecto a la llenadora.

Tabla No. 3. Sobrecapacidad de producción de botellas en la línea A.

	2 semanas MARZO	ABRIL	MAYO	TOTAL REAL	ESTÁNDAR
DESPALETIZADORA	3,801,404.7	7,808,557.6	8,749,889.2	20,359,851.5	19,649,433.6
DESECAJONADORA	3,649,177.5	7,494,832.0	8,397,115.6	19,541,125.1	18,830,707.2
LAVADORA	3,496,950.3	7,181,106.4	8,044,342.0	18,722,398.7	18,011,980.8
INSPECTOR	3,196,771.2	6,588,237.6	7,408,245.6	17,193,254.4	17,193,254.4
LLENADORA	3,044,544.0	6,274,512.0	7,055,472.0	16,374,528.0	16,374,528.0
ETIQUETADORA	3,196,771.2	6,588,237.6	7,408,245.6	17,193,254.4	17,193,254.4
ENCAJONADORA	3,348,998.4	6,901,963.2	7,761,019.2	18,011,980.8	18,011,980.8
PALETIZADORA	3,501,225.6	7,215,688.8	8,113,792.8	18,830,707.2	18,830,707.2

Con base a los datos anteriores se graficó el diagrama de sobrecapacidad de la línea A. Es notable que existe una sobrecapacidad mayor del 5% en el proceso de lavado, esto se debe a que, para tener una producción continua, la lavadora deberá trabajar un 9.34% más, compensando 4.34% por ineficiencia.

Gráfica No. 1 Sobrecapacidad de los equipos 1.



Un punto interesante es que la cantidad de botella que rechaza la lavadora de la línea A es mayor, en casi el doble, a la lavadora de la línea B. Una razón de esto, es que el modelo de la lavadora A es del año 1,976, mientras que el año de fabricación de la lavadora B es de 1,992. Siendo así la lavadora A, la que ha sufrido un mayor desgaste.

La vida útil de la lavadora A es de 30 años, esto nos indica que su valor ésta cerca de la depreciación, pues ha estado funcionando durante 28 años. Por lo tanto es justificable el bajo rendimiento en el lavado de botellas.

Se cuantificó mediante formatos de control, las botellas que el inspector electrónico rechazaba por mal lavado. Este inspector tiene la capacidad de separar, las botellas que no cumplen con los parámetros de calidad de un lavado optimo, verificando pared externa, pared interna, fondo y liquido residual. Los datos recaudados se presentan a continuación:

Tabla No. 4. Botellas rechazadas en la línea A.

MARZO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES	% MES
<b>BOTELLAS RECHAZADAS</b>	<b>79,520</b>	<b>21,904</b>	<b>19,508</b>	<b>75,989</b>	<b>196,921</b>	100%
PARED EXTERNA	37,936	13,212	9,212	36,584	96,944	49.23%
PARED INTERNA	9,072	2,764	2,428	8,750	23,014	11.69%
FONDO	29,968	5,652	7,040	27,680	70,340	35.72%
LIQUIDO RESIDUAL	2,544	276	828	2,975	6,623	3.36%

ABRIL	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES	% MES
<b>BOTELLAS RECHAZADAS</b>	<b>66,687</b>	<b>78,373</b>	<b>72,477</b>	<b>74,603</b>	<b>292,140</b>	100%
PARED EXTERNA	32,145	36,789	33,158	37,584	139,676	47.81%
PARED INTERNA	7,562	9,072	5,789	8,352	30,775	10.53%
FONDO	25,632	29,968	31,583	26,680	113,863	38.98%
LIQUIDO RESIDUAL	1,348	2,544	1,947	1,987	7,826	2.68%

MAYO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	TOTAL MES	% MES
<b>BOTELLAS RECHAZADAS</b>	<b>74,213</b>	<b>71,342</b>	<b>76,556</b>	<b>73,065</b>	<b>295,176</b>	100%
PARED EXTERNA	35,187	32,458	35,629	33,258	136,532	46.25%
PARED INTERNA	9,875	8,751	9,021	7,752	35,399	11.99%
FONDO	26,875	27,589	30,027	29,680	114,171	38.68%
LIQUIDO RESIDUAL	2,276	2,544	1,879	2,375	9,074	3.07%

Tabla No. 5. Total de botellas rechazadas en la línea A

	<b>BOTELLAS</b>	<b>%</b>
<i>PARED EXTERNA</i>	373,152	47.58%
<i>PARED INTERNA</i>	89,188	11.37%
<i>FONDO</i>	298,374	38.05%
<i>LÍQUIDO RESIDUAL</i>	23,523	3.00%

Así, se determinó que el mayor problema que tiene la lavadora A, es en el lavado de pared externa y de fondo, ya que éstas constituyen el mayor porcentaje de las botellas rechazadas. De esta manera se dedujo cuál de las funciones de la lavadora se tiene que mejorar para que su rendimiento aumente, y por lo tanto se enfocó principalmente en acondicionar equipos para minimizar las botellas rechazadas por pared externa y de fondo.

Ya que la lavadora B rechaza casi la mitad de botellas que la lavadora A, se desea acondicionar equipos para que la lavadora A, posea casi el mismo rendimiento de la lavadora B, por lo tanto se va a minimizar un 50% la cantidad de botellas que se rechaza de la lavadora A.

## B. Puntos a mejorar

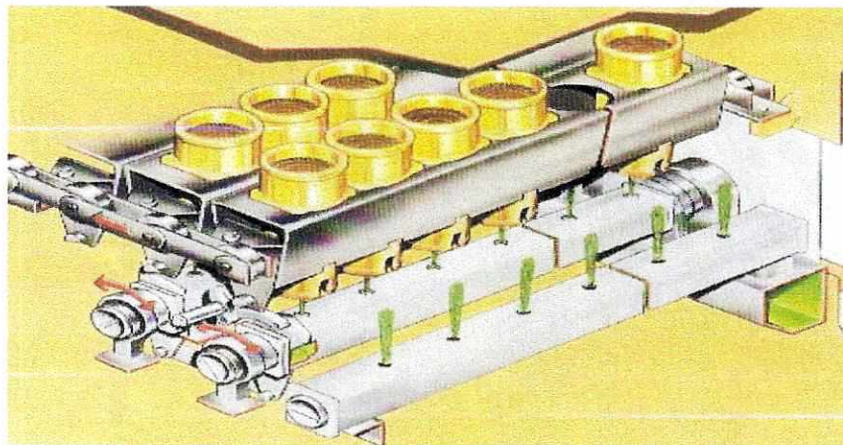
Se evaluó con el departamento técnico del fabricante de la maquina lavadora, quien recomendó la siguiente revisión en el equipo:

1. **Orificios de jet de lavado.** Un problema que tiene la lavadora A, es que, al lavar el fondo de la botella, esta queda con suciedad suficiente para ser rechazada por el inspector. Se revisó el diámetro de las boquillas de los jet de lavado, y se comparó con el diámetro de las boquillas de la lavadora B, en donde se estableció que el diámetro de las boquillas diferían entre ambas lavadoras, siendo el diámetro de la lavadora A, mayor que el diámetro de la B. Esto lleva a concluir que la presión de agua de lavado en los jet de la lavadora A es menor que el de la lavadora B, siendo ésta una las causas del bajo rendimiento de la maquina y por consiguiente la calidad del lavado no es la optima.

Con el mismo caudal que llega el agua a las boquillas, y disminuyendo el diámetro de éstas, se aumenta la presión del agua de salida, donde  $P = F / A$ . F es la fuerza con que la bomba del sistema distribuye el agua por las diferentes secciones de los jet de lavado.

El sistema de jet de lavado con agua, de la lavadora A consta de seis flautas, cada una con 40 boquillas. De estas flautas, 4 utilizan agua recirculada y las restantes utilizan agua fresca.

Ilustración No. 5. Sistema de jet de lavado.



La tabla No. 6 muestra el porcentaje que se reducirán las boquillas para aumentar la presión del agua.

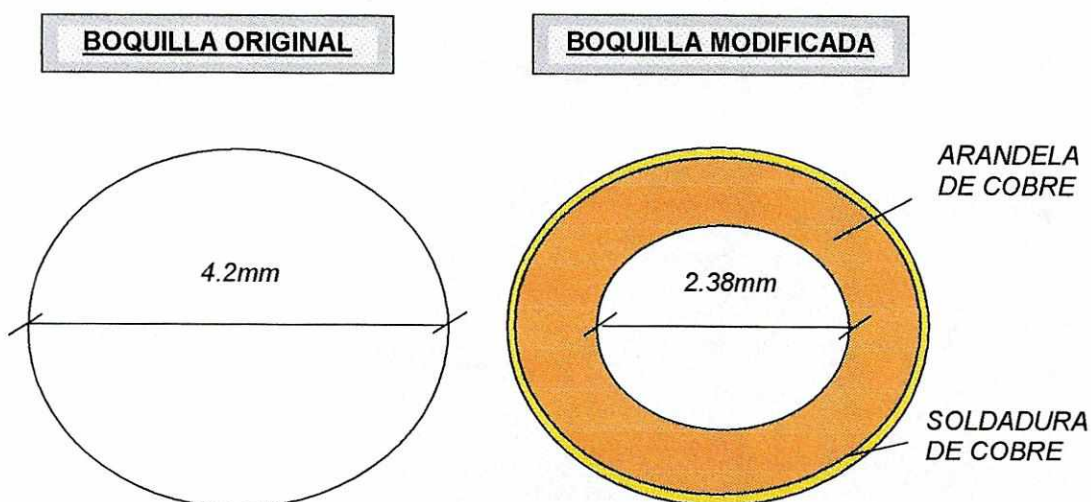
Tabla No. 6. Comparación de diámetros de boquillas.

TIPO DE AGUA	# FLAUTAS	Ø ACTUAL (mm)	Ø SUGERIDO (mm)	DIFERENCIA (%)
RECIRCULADA (1)	4	4.2	2.38	43.33
FRESCA (2)	2	3	1.98	34.00

Esto indica que se deberá reducir a un 56.57% el diámetro de las boquillas que trabajan con agua recirculada, así como las boquillas que trabajan con agua fresca, que deberán tener el 66% del diámetro original.

Para disminuir el diámetro de las boquillas, se utilizarán arandelas de cobre del diámetro sugerido, las cuales se soldarán en cada una de las terminales de las boquillas, que posee las flautas del sistema de jet de lavado. La ilustración No. 6 muestra como se reducirá el diámetro de la boquilla que trabaja con agua recirculada.

Ilustración No. 6. Cambio de diámetro en la boquilla del jet de lavado



Para realizar los cambios de diámetros en las boquillas de los jet de lavado interior de la botella, se requieren de nueve horas de trabajo y tres personas encargadas de bajar los jet de la lavadora, para luego soldar las boquillas.

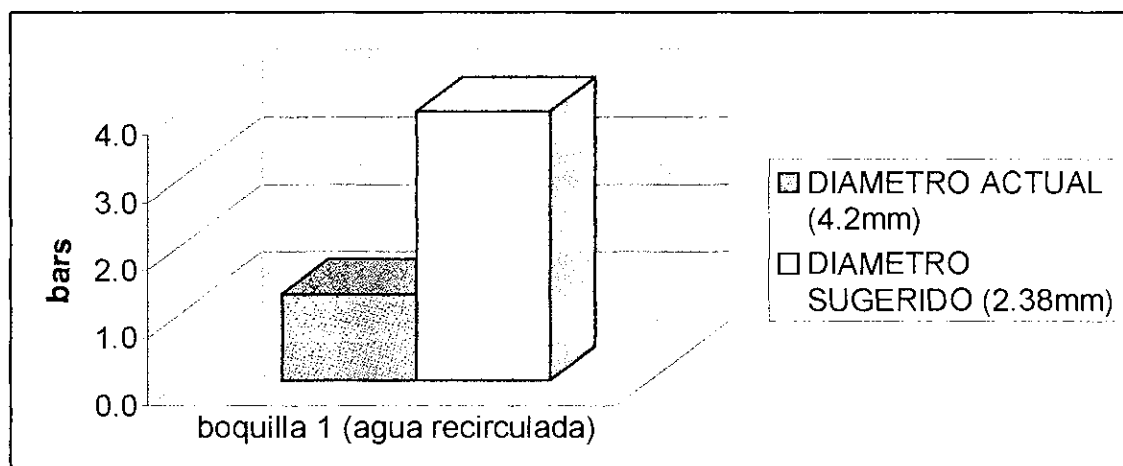
Con los diámetros sugeridos la presión aumenta significativamente, puesto que el área de las boquillas se reduce, así como se muestra en la tabla No. 7, utilizando el caudal de agua actual de una boquilla, que es de 2 gal/min. ( $0.0075\text{m}^3/\text{min}$ )

Tabla No. 7. Comparación de presión en boquillas

	ACTUAL	SUGERIDO	DIMENSIONAL
FUERZA	1.767145868	1.767145868	
AREA 1	1.38544E-05	4.44881E-06	
AREA 2	7.06858E-06	3.07907E-06	
PRESIÓN 1	1.3	4.0	
PRESIÓN 2	2.5	5.7	

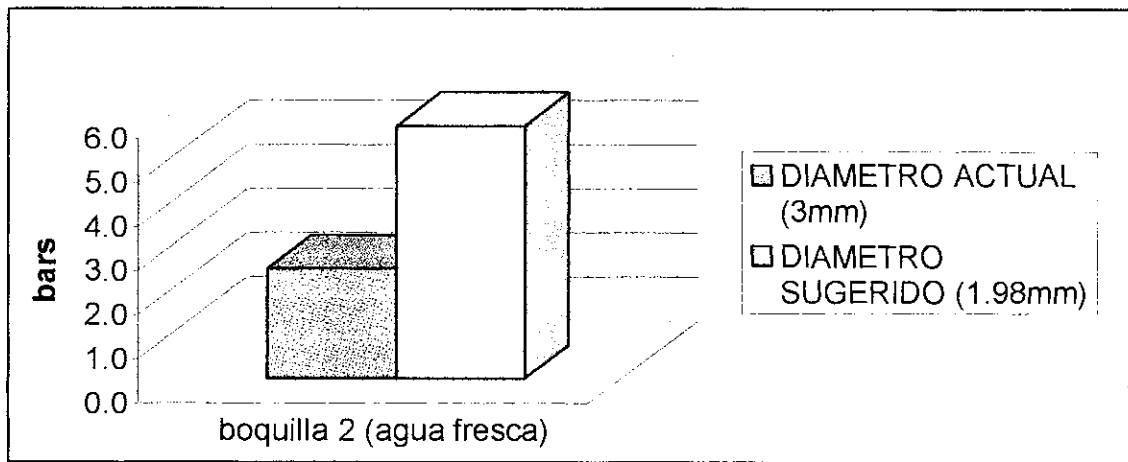
En la gráfica No. 2 se logra ver que disminuyendo el diámetro de la boquilla con agua recirculada a 2.38mm, la presión aumenta de 1.3 bar. a 4 bar.

Gráfica No. 2. Comparación de presión en la boquilla con agua recirculada.



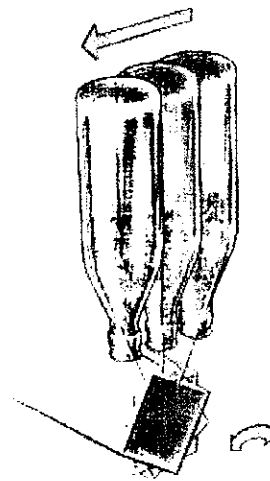
En la gráfica No. 3 se logra ver que disminuyendo el diámetro de la boquilla con agua fresca a 1.98mm, la presión aumenta de 2.5 bar. a 5.7 bar.

Gráfica No. 3. Comparación de presión en la boquilla con agua fresca.



En ambos casos, el aumento de presión es considerablemente adecuado para un óptimo lavado en el fondo de la botella, eliminando con mayor facilidad, la suciedad impregnada que contiene una botella de vidrio retornable.

Ilustración No.7. Lavado interno de botella.



2. Sistema de lavado de botella exterior. Este sistema consiste principalmente en desprender la etiqueta y eliminar la suciedad exterior de la botella, mediante la fuerza ejercida por ocho bombas, efectuando presión y flujo sobre las paredes externas de la botella, así también recirculando  $12.87\text{m}^3$  de agua depositada en un tanque.

Cada bomba posee un motor de 1,375W, velocidad angular de 37 revoluciones por segundo y un impeler de seis venas, con capacidad de trasladar 0.56 litros en cada vuelta.

Actualmente las ocho bombas tienen una capacidad de recircular el agua con un caudal de  $10\text{m}^3$  por minuto. Para mejorar la limpieza exterior de la botella, es necesario aumentar la velocidad del agua que pasa por este sistema, y se recomienda para cada una de las 8 bombas, lo siguiente:

a. Cambiar el impeler, por uno de mayor capacidad volumétrica, en este caso se recomienda uno de 5 venas, capaz de trasladar 0.8052 litros de agua en cada vuelta.

Ilustración No. 8. Impeler.

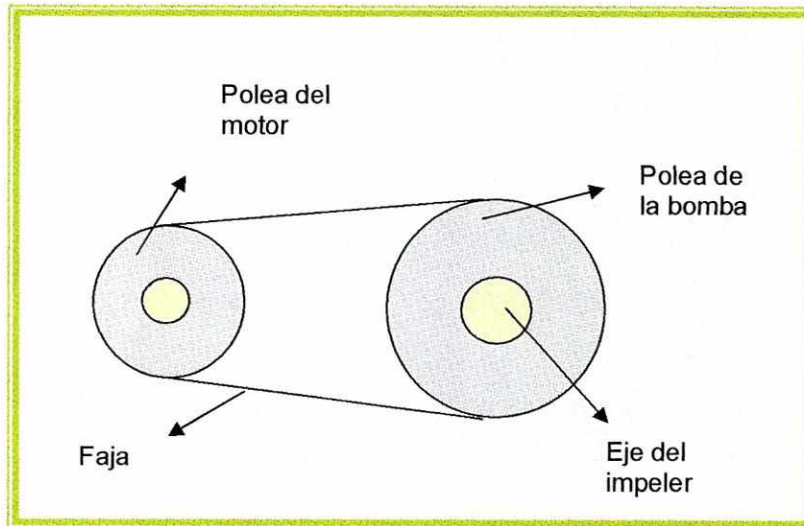


b. Cambiar el sello del eje del impeler.

c. Cambiar la faja y la polea, de la bomba por una de mayor diámetro, para aumentar el torque ejercido sobre el impeler de la bomba, ya que ésta trabajará con un mayor caudal, sin variar la potencia del motor de la bomba.

La polea actual de la bomba, tiene un radio de 14cm, y el eje del impeler tiene un radio de 4.8cm, se cambiarán respectivamente por una de 19cm. y de 7.2cm.

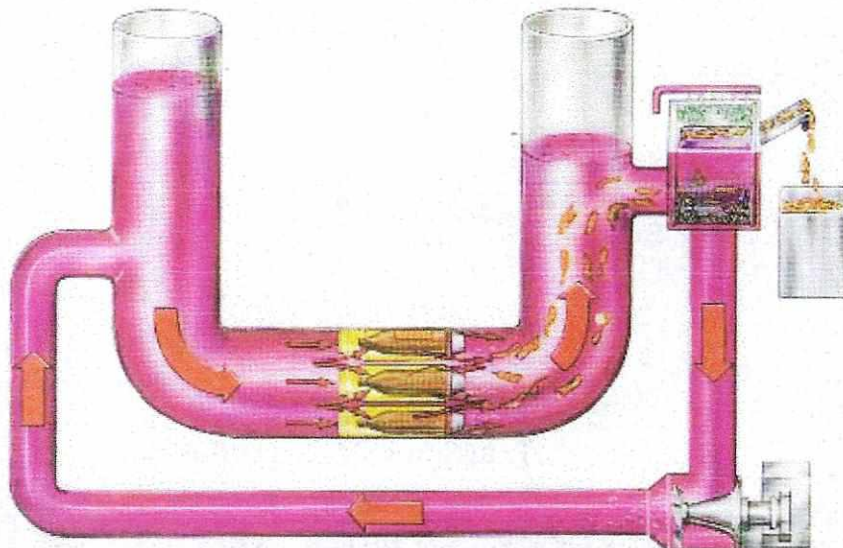
Ilustración No. 9. Sistema de polea en bomba-motor



El tiempo requerido para realizar las adaptaciones a las bombas es de cinco días, en donde seis personas expertas trabajarán en las ocho bombas para acondicionarlas a que den un mayor caudal.

Realizando las adaptaciones anteriores a cada bomba se obtiene un caudal total de  $14.3\text{m}^3/\text{minuto}$ , en el sistema de lavado exterior, aumentando 1.43 veces el volumen que recircula en el sistema actual, durante un tiempo dado.

Ilustración No. 10. Limpieza exterior de la botella.



Se obtendrá una mayor presión en el lavado exterior de la botella, ya que se aumentó el caudal de agua del sistema. Esto se ve así.

V = volumen	v = velocidad
P = presión	A = área
m = masa	t = tiempo
Q = caudal	$\rho$ = densidad

$$P = F / A$$

$$F = (m * v) / t$$

$$P = (m * v) / (A * t)$$

$$Q = V / t = A * v$$

$$P = (m * V) / (A^2 * t^2)$$

$$v = V / (A * t)$$

$$P = (\rho * V^2) / (A^2 * t^2)$$

$$m = \rho * V$$

$$P = (\rho * Q^2) / A^2$$

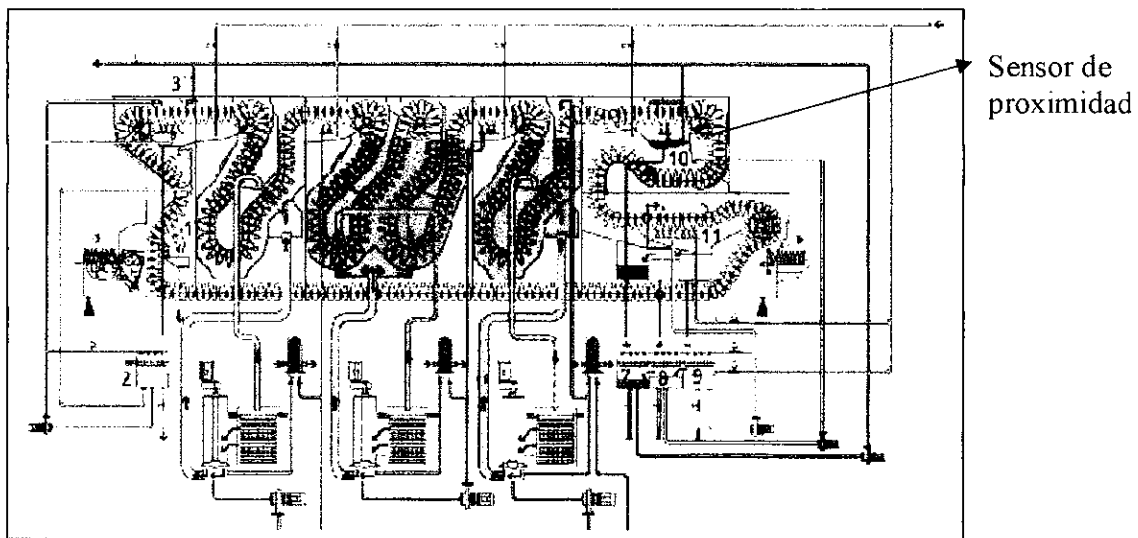
$$P = Q^2 * (\rho / A^2)^{\text{cte}}$$

El término de  $(\rho / A^2)$  es constante, ya que se utiliza agua dentro del sistema de lavado, por lo que la densidad es siempre la misma. Así también el área del sistema no cambia, puesto que no se le modificaran las dimensiones. De esta manera se ve que si se aumenta el caudal, aumentará la presión en el sistema de lavado exterior.

3. **Sistema de agua fresca.** Este sistema localizado en el final de la lavadora, para darle un último remojo externo e interno (jet) con agua, a temperatura de 20°C a las botellas, también se puede mejorar de una manera sencilla. El problema actual que tiene este sistema, es que, cuando de enciende la lavadora, automáticamente comienza el bombeo de agua fresca, aun sin haber botellas por remojar. Esto ocasiona una gran pérdida de agua, puesto que, en el arranque las botellas se tardan aproximadamente 1 hora para llegar a este sistema que transfiere 245gal/min.

La idea es instalar un sensor de proximidad en el punto 10 de la siguiente gráfica, que es en donde rocía y se baña por inundación en agua caliente las botellas, previo a pasar al sistema de agua fresca.

Ilustración No. 11. Lugar de instalación del sensor de proximidad en la lavadora A.



Instalando el sensor de proximidad en este punto, y modificando las conexiones eléctricas, para que las bombas se accionen conforme la señal transmitida por el sensor y no por el encendido de la lavadora, el agua fresca cae, y un minuto después empiezan a llegar las botellas para ser remojadas.

Para instalar el sensor en el interior de la lavadora se necesita de un electricista el cual requiere de siete horas, para realizar el trabajo.

## IV . COMPARACIÓN DE LÍNEA ACTUAL CON LA REACONDICIONADA

En esta sección se compara el rendimiento y los beneficios de la línea actual, con la reacondicionada. Como se presentó en el capítulo anterior, con las modificaciones a realizar en la lavadora A, se logra disminuir aproximadamente al 50% el número de botellas rechazadas.

### A. Rendimiento en la línea de producción.

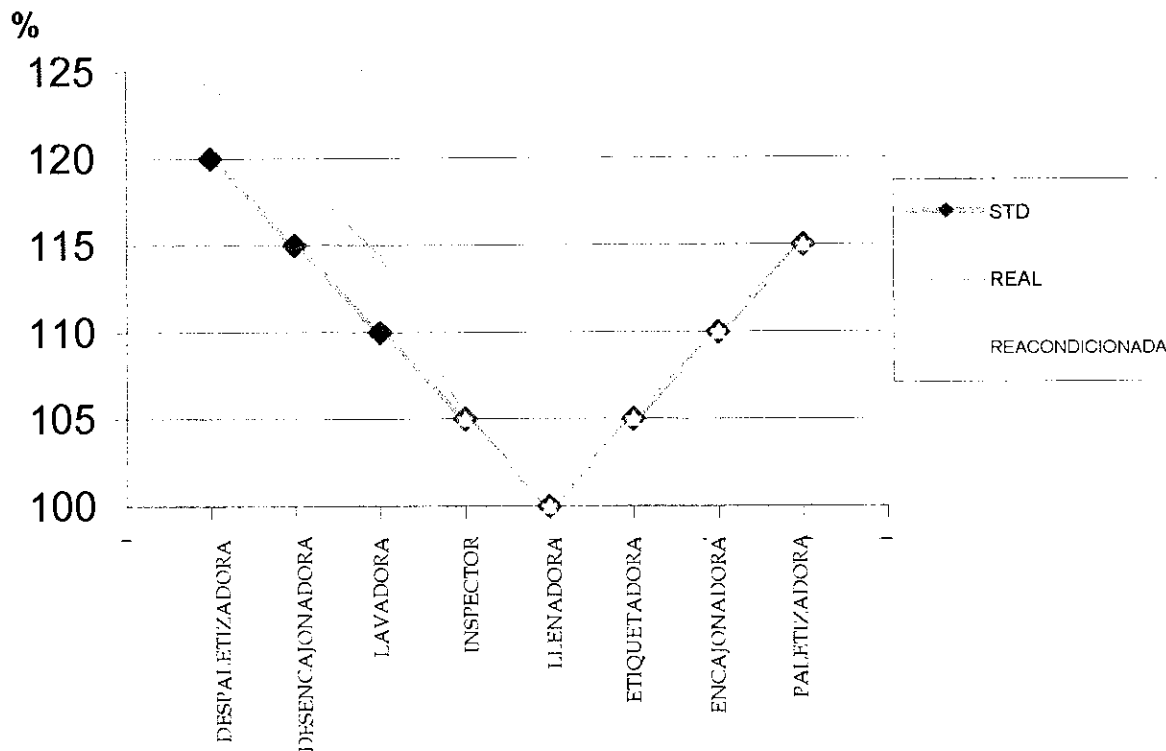
Para medir la cantidad de botellas que se podrían producir, con la lavadora reacondicionada, se tomara en cuenta la primera y última semana de marzo y los meses abril y mayo, que es cuando se produjo con botella retornable.

Tabla. No. 8. Comparación en producción estimada en 2 ½ meses.

	ACTUAL		REACONDICIONADA	
INGRESAN A LÍNEA	17,117,353	100%	17,117,353	100%
PRODUCIDAS	16,374,528	95.66%	16,745,941	97.83%
RECHAZADAS	742,825	4.34%	371,412.5	2.17%

La productividad de la línea en 10 semanas aumentaría un 1.61% de las botellas programadas (23,040,000), correspondiente al incremento de producción del 2.17%, o en botellas 371,412.5. Esta mejora se ve en el diagrama de sobrecapacidad, en donde la línea reacondicionada tiende a inclinarse más a la "V" de la línea estándar.

Gráfica No. 4. Sobrecapacidad de los equipos 2.



Podría parecer un bajo porcentaje de mejoría, pero si se ve a un mediano y largo plazo, se notarían significantes beneficios productivos y económicos. Ya que, si el patrón de lo producido y rechazado en los dos meses y medio que se realizó el estudio, se extiende a un año, se perciben las cantidades expuestas en la siguiente tabla.

Tabla No. 9. Comparación en producción estimada en 1 año.

	ACTUAL		REACONDICIONADA	
INGRESAN A LÍNEA	82,163,294	100%	82,163,294	100%
PRODUCIDAS	78,597,734	95.66%	80,380,514	97.83%
RECHAZADAS	3,565,560	4.34%	1,782,780	2.17%

En un año se estarían produciendo 1,782,780 botellas de mas, con la lavadora reacondicionada, en el mismo tiempo de producción que trabajaría la línea actual. Viéndolo desde otro punto de vista, esta cantidad es lo que aproximadamente se produce en una semana con la línea de envasado actual.

Si una botella con cerveza tiene un precio para el consumidor de Q5.83, y este lo multiplicamos por el número de botellas que se producirían de más con la línea reacondicionada, se tendría la suma de Q10,393,607. Esta es la cantidad aproximada de dinero que se deja de vender en un año, originada por la ineficiencia actual en el lavado de botellas.

## B. Consumo de agua fresca en el sistema de lavado.

Cuando el agua fresca es utilizada para dar el último enjuague interno y externo a las botellas, toda el agua residual es enviada al drenaje. Al aumentar el rendimiento de la lavadora, se disminuye el reproceso de lavado y el consumo de agua fresca es menor, siendo este un beneficio económico para la empresa.

Para cuantificar el agua que se podría ahorrar, se comparara el tiempo requerido en la línea actual y en la reacondicionada, para producir el mismo número de botellas. Si 80,380,514 botellas es la producción con la línea reacondicionada en un año (52 semanas), con la línea actual se logrará producir esta cantidad en un tiempo mayor, por lo que el diferencial de tiempo es el ahorro en el consumo de agua de este sistema de lavado, el cual tiene un caudal de 160 galones ( $0.605\text{m}^3$ ) cada minuto en los jet que limpian internamente la botella, y 85 galones ( $0.322\text{m}^3$ ) cada minuto en el rociado exterior, teniendo un total  $245\text{gal/min}$ . ( $0.927\text{m}^3/\text{min}$ ) con un valor del agua suave de Q3.92 el metro cúbico.

Tabla No. 10. Comparación estimada en el consumo de agua fresca en el sistema de lavado.

	ACTUAL	REACONDICIONADA
PRODUCCIÓN	80,380,514	80,380,514
TIEMPO (AÑO)	1.023	1
CONSUMO AGUA (m3)	94,694	92,594
<b>AHORRO</b>	<b>AGUA (m3)</b>	<b>2,100.25</b>
	QUETZALES	8,232.96

Si se reacondiciona la línea, se obtendrá un ahorro de  $2,100.25\text{ m}^3$  en el consumo de agua, equivalente a Q8,232.96 cada año.

### C. Consumo de agua fresca en el arranque de la lavadora

El sistema de agua fresca de la lavadora tiene un caudal total de 245 gal/min., 160gal/min. de los jet de lavado interior y 85 gal/min. de rociado exterior de la botella, como anteriormente se explicó. Durante el arranque de la línea, la lavadora tarda una hora en pasar las primeras botellas al sistema antes mencionado, por lo que cada día al iniciar la producción se desperdicia  $56\text{m}^3$  de agua, ya que las bombas de este sistema se accionan en el instante en que se enciende la lavadora.

Instalando el sensor de proximidad en el interior de la lavadora, las bombas se accionan cuando las botellas están próximas a llegar al sistema de lavado con agua fresca, ahorrando considerables cantidades de agua.

Tabla No. 11. Comparación estimada en el consumo de agua fresca, durante el arranque de la lavadora.

	DINERO (Q)	AGUA( $\text{m}^3$ )	TIEMPO (min.)	DINERO (Q)	AGUA ( $\text{m}^3$ )	TIEMPO (min.)
DIARIO	218.13	56	60	3.64	0.93	1
ANUAL	45,371.02	11,574	12,480	756.18	193	208

Con la adaptación del sensor de proximidad, se logra disminuir el tiempo en que el sistema de lavado tira agua fresca sin presencia de botellas, y por ende se disminuye el volumen de agua a  $0.93\text{m}^3$  en un minuto

En un año la línea actual desperdicia  $11,574\text{m}^3$  de agua durante el arranque, teniendo un costo para la empresa de Q45,371.02, comparándola con la línea reacondicionada, esta desperdicia  $193\text{m}^3$  con un costo de Q756.18. Se puede notar que existe una gran diferencia en el costo anual del agua, por lo que resultaría favorecedor para la empresa pagar sólo un 1.66% por el agua que están acostumbrados a pagar.

## V. EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA LÍNEA DE ENVASADO.

A. **Costos.** A continuación se presentan los costos atribuidos a las diferentes modificaciones a realizar en la lavadora.

Para realizar los cambios de diámetro en las boquillas de los jet de lavado interior de la botella, se necesitan nueve horas de paro en la línea, esto se puede realizar entre los días viernes a domingo utilizados para el mantenimiento y limpieza del área, sin interferir en la producción semanal.

Tabla No. 12. Costos para mejorar el lavado interno de la botella.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (Q)	Precio Total (Q)
160	Arandelas de cobre	2.25	360.00
12	Diodos de cobre para soldadura	11.30	135.60
	Mano de obra		330
<b>TOTAL (Q)</b>			<b>620.60</b>

El cambio de impeler en las ocho bombas, para suministrar un mayor caudal de agua, requiere también del cambio de poleas, sellos y fajas. Este trabajo toma cinco días, por lo que la línea deberá de sacrificar dos días de producción, si se toma el viernes, sábado y domingo, para realizar las modificaciones a las bombas. Estos dos días de producción equivalen aproximadamente a Q4,406,007.61 en ventas del producto que se elabora con la línea actual. Así, lo que se deja de ganar de estas ventas es parte del costo por realizar las modificaciones a la lavadora.

Tabla No. 13. Costos para mejorar el lavado externo de la botella.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (Q)	Precio Total (Q)
8	Impeler	17,168.00	137,344.00
8	Poleas	3,888.00	31,104.00
8	Sellos	1,056.00	8,448.00
8	Fajas	1,400.00	11,200.00
	Mano de obra		4,350.00
<b>TOTAL (Q)</b>			<b>192,446.00</b>

Por último se tiene el costo de la adaptación del sensor de proximidad, el cual ayudará a que el sistema de agua fresca no se accione con el encendido de la lavadora, sino con un minuto antes de que lleguen las primeras botellas al sistema. El tiempo de instalación no afectaría a la producción semanal, puesto que solo toma 7 horas.

Tabla No. 14. Costos para disminuir el consumo de agua en el arranque de la lavadora.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario (Q)</b>	<b>Precio Total (Q)</b>
1	Sensor de proximidad	20,000.00	20,000.00
1	Cable 11m	69.85	69.85
1	Cinta aislante	5.50	5.50
<b>TOTAL (Q)</b>			<b>20,075.35</b>

**B. Beneficios.** A continuación se presentan los beneficios económicos durante un año, que puede tener la empresa si se reacondiciona la lavadora, pues este equipo es el causante del bajo rendimiento de la línea actual, trayendo como efecto perdidas en ventas y en consumo de agua principalmente.

Tabla No. 15. Beneficios anuales estimados al reacondicionar la lavadora A.

<b>BENEFICIO</b>	<b>DINERO (Q)</b>
Venta extra de botellas	10,393,607
Ahorro en consumo de agua fresca (sistema lavado)	8,232.96
Ahorro en consumo de agua fresca (Arranque línea)	44,615.00
<b>TOTAL</b>	<b>10,446,454.96</b>

### C. Análisis de relación Beneficio/Costo para reacondicionar la lavadora.

A la venta extra de botellas se le asignaran varios costos de producción como el 60% (Q 623,164.2), el 80% (Q 831,4885.6) y el caso extremo del 95% (Q935,4246.3) ya que el costo real lo mantiene reservado la empresa.

La cantidad de dinero que se percibe por ventas de la producción anual extra de 1,782,780 botellas, en su totalidad no es la ganancia, pues aunque ésta se produzca en el mismo tiempo en el que no se tiene esa cantidad extra de botellas, siendo el caso actual, existen costos como de etiqueta, tapa, cerveza, etc., que son atribuidos al producto.

Los costos de la producción extra, vendría siendo un contrabeneficio, esto servirá para realizar un análisis de Costo/Beneficio, que ayudará a determinar si reacondicionar la lavadora es una decisión favorable. Antes hay que calcular el VA (valor anual) de los costos con una tasa promedio del IPC (Índice de Precio al Consumidor) del 7% anual y una vida útil a partir del 2004 de 6 años, pues al reacondicionar la lavadora esta tendrá 34 años de vida útil, 4 más de la original.

Tabla No. 16. Valor anual de los costos para reacondicionar la lavadora A.

<b>MODIFICACIÓN</b>	<b>Valor presente</b>	<b>Valor anual</b>
Disminución de boquillas	620.60	130.20
Cambio de impeler	192,446.00	40374.36
Instalación de sensor de proximidad	20,075.35	4211.72

La fórmula para calcular la razón de B/C es la siguiente:

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - \text{Contrabeneficios}}{\text{Costos}}$$

Si  $B/C > 1.0$ , se determina que el proyecto es económicamente aceptable.

Si  $B/C < 1.0$ , el proyecto no es económicamente aceptable.

Caso 1. Calculo de B/C con el contrabeneficio del 60% de las ventas, en costos de producción.

$$B/C = \left( \frac{10,393,607.00 + 2,100.25 + 44,615.00}{130.20 + 40,374.36 + 4,211.72 + 369,744.76} \right) - \left( \frac{6,236,164.20}{369,744.76} \right)$$

$$B/C = 10.14 > 1.0$$

Caso 2. Calculo de B/C con el contrabeneficio del 80% de las ventas, en costos de producción.

$$B/C = \left( \frac{10,393,607.00 + 2,100.25 + 44,615.00}{130.20 + 40,374.36 + 4,211.72 + 184,872.38} \right) - \left( \frac{8,314,885.60}{184,872.38} \right)$$

$$B/C = 9.26 > 1.0$$

Caso 3. Calculo de B/C con el contrabeneficio del 95% de las ventas, en costos de producción.

$$B/C = \left( \frac{10,393,607.00 + 2,100.25 + 44,615.00}{130.20 + 40,374.36 + 4,211.72 + 46,218.09} \right) - \left( \frac{9,873,926.65}{46,218.09} \right)$$

$$B/C = 6.23 > 1.0$$

Como se puede ver, en los tres casos la razón de B/C es mayor a 1, por lo que el proyecto es económicamente aceptable, aun cuando se supone que la empresa genera tan sólo el 5% de ganancia en la venta del producto, como en el caso 3, situación que es poco rentable e imaginable que este tipo de empresa maneje este margen de utilidad, ya que la industria de bebidas como gaseosas y cervezas es de las que mayor margen de ganancia poseen en sus productos, por eso empresas como estas gastan grandes sumas de dinero en publicidad y patrocinios. Se quiso llegar a este extremo para comprobar que aun así, resulta conveniente readecuar la lavadora, aunque no se conozca el costo real del producto.

Resulta favorable reinvertir para reacondicionar la lavadora, aumentando el rendimiento de la línea de producción y minimizando el consumo de agua fresca. Este proyecto le da una vida útil de cuatro años adicionales a los treinta que tiene la lavadora, la cual esta funcionando desde 1976. Es conveniente pensar en la compra de una lavadora nueva, pues con la lavadora reacondicionada se estima que para el 2010 esta quede obsoleta.

#### D. Análisis de reemplazo para la lavadora reacondicionada.

Se realizó un análisis de valor anual, para comparar las dos alternativas que se tienen, y ver, si en lugar de invertir en reacondicionar la lavadora, se compra una nueva, o analizar el punto de equilibrio de ambos proyectos y estimar el tiempo adecuado para reemplazar la lavadora.

Una lavadora nueva de la misma capacidad que actualmente se tiene, cuesta Q16,500,000, y requiere de un tiempo de instalación de 3 meses, que tiene 48 días de producción. Es decir que si se instala la nueva lavadora se dejara de producir un equivalente de Q105,744,182.67. El consumo de agua fresca en un año, de la lavadora nueva y la reacondicionada es el mismo, pues ambas poseen un sensor de proximidad, que acciona las bombas de agua cuando las botellas se aproximan al último enjuague interior y exterior.

En la tabla No. 17 se presenta un resumen de los costos y beneficios que poseen la lavadora actual, la actual-reacondicionada y la nueva, con sus diferentes años de vida útil.

Tabla No. 17. Costos y beneficios de las lavadoras en el 2004.

	LAVADORA		
	ACTUAL	REACONDICIONADA	NUEVA
INVERSIÓN	Q600,000	Q600,000	Q16,500,000
VU (AÑOS)	2	6	30
PRODUCCIÓN	Q458,224,791.55	Q468,618,398.95	Q476,616,946.32
CONSUMO DE AGUA	Q408,339.15	Q363,724.32	Q363,724.32
REACONDICIONAR		Q213,141.95	
MANTENIMIENTO	Q110,000.00	Q110,000.00	Q85,000.00
PARO DE INSTALACIÓN		Q4,406,007.61	Q105,744,182.67

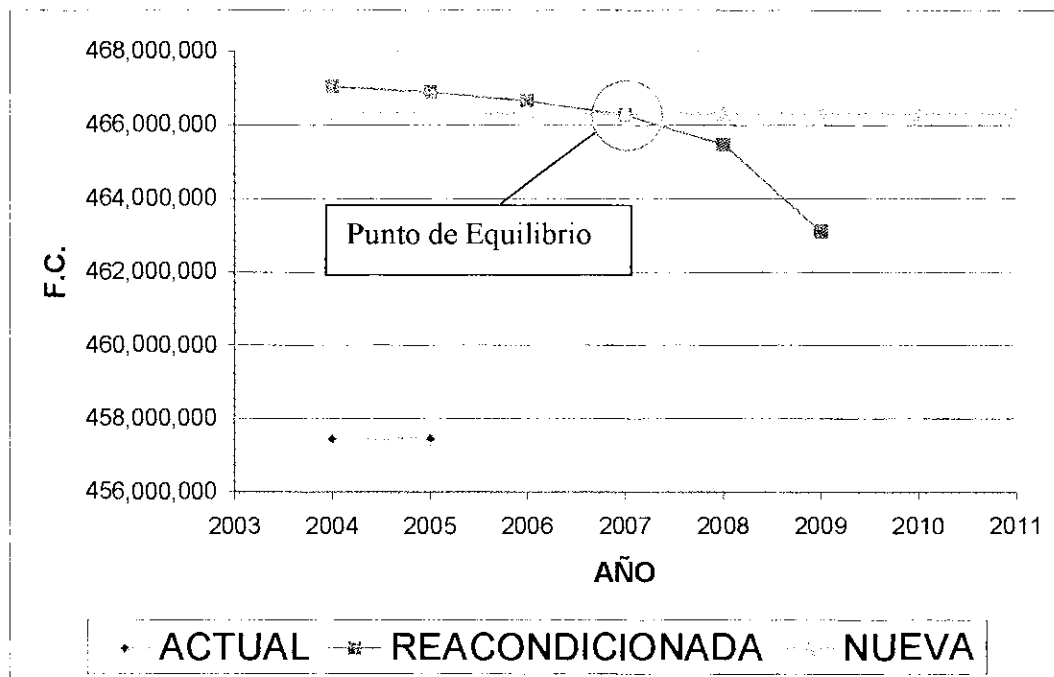
Los datos anteriores que están en valor presente como la inversión de la lavadora actual (Q 600,000) que es el valor de la lavadora hoy, se pasan a valor anual utilizando en la hoja electrónica de Fíxel las funciones financieras, con la tasa del IPC (Índice de Precio al Consumidor) del 7% anual. Esto da como resultado el siguiente flujo de caja para cada lavadora.

Tabla No. 18. Flujo de caja en el 2004.

VALOR ANUAL	LAVADORA		
	ACTUAL	REACONDICIONADA	NUEVA
INVERSIÓN	Q321.855.07	Q125.877.48	Q1.329.675.66
PRODUCCIÓN	<b>Q458,224,791.55</b>	<b>Q468,618,398.95</b>	<b>Q476,616,946.32</b>
CONSUMO DE AGUA	Q408.339.15	Q363.724.32	Q363.724.32
REACONDICIONAR		Q44.716.29	
MANTENIMIENTO	Q110.000.00	Q110.000.00	Q85.000.00
PARO DE INSTALACIÓN		Q924.361.89	Q8.521.543.37
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Q457,374,597.33</b>	<b>Q467,049,718.98</b>	<b>Q466,317,002.97</b>

Se puede ver que el flujo de caja mayor corresponde a la lavadora reacondicionada, seguida por la opción de la lavadora nueva y finalmente la actual. Se recomienda para el año 2004 reacondicionar y no comprar una nueva lavadora hasta el año 2010. Pero si, por algún inconveniente la empresa no se puede reacondicionar la lavadora este año y desea esperar un cierto tiempo. ¿Hasta que tiempo resultaría conveniente readecuar? La gráfica No. 5 muestra el punto de equilibrio entre la lavadora reacondicionada y la nueva, y es aquí en donde es más rentable la compra de una nueva lavadora en lugar de reacondicionar la actual.

Gráfica No. 5. Punto de equilibrio entre lavadoras.



La gráfica No. 5 muestra una intersección de la lavadora reacondicionada con la nueva, en el año 2,007, se analizó nuevamente el flujo de caja de ambas lavadoras con valor anual, y se puede notar que ahora el flujo de caja de la lavadora nueva, es levemente mayor al de la reacondicionada. Para el año 2007 la lavadora ya estará depreciada pero con las modificaciones realizadas, esta tendría tres años de vida útil más y un rendimiento aceptable, pero es aquí en donde se recomienda realizar la compra de la nueva lavadora y reemplazar la reacondicionada aunque esta pueda seguir operando. Esto es para maximizar las utilidades, pues si se espera hasta el 2010 para la compra de la lavadora, habrán menos utilidades para la empresa durante los años 2007 al 2010.

Tabla No. 19. Costos y beneficios de las lavadoras en el 2007.

	LAVADORA		
	ACTUAL	RECONDICIONADA	NUEVA
INVERSION	Q0	Q300.000	Q16.500.000
VU (AÑOS)	-1	3	30
PRODUCCION	Q458,224,791.55	Q468,618,398.95	Q476,616,946.32
CONSUMO DE AGUA	Q408.339.15	Q363.724.32	Q363.724.32
RECONDICIONAR		Q213.141.95	
MANTENIMIENTO	Q110.000.00	Q110.000.00	Q85.000.00
PARO DE INSTALACION		Q4.406.007.61	Q105.744.132.67

Tabla No. 20. Flujo de caja en el 2007.

VALOR ANUAL	LAVADORA		
	ACTUAL	RECONDICIONADA	NUEVA
INVERSION	Q0.00	Q114,315.50	Q1,329,675.66
PRODUCCION	Q458,224,791.55	Q468,618,398.95	Q476,616,946.32
CONSUMO DE AGUA	Q408.339.15	Q363.724.32	Q363.724.32
RECONDICIONAR		Q81,218.10	
MANTENIMIENTO	Q110.000.00	Q110.000.00	Q85.000.00
PARO DE INSTALACION		Q1,678,916.54	Q8,521,543.37
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Q457,706,452.40</b>	<b>Q466,270,224.50</b>	<b>Q466,317,002.97</b>

## VI. CONCLUSIÓN.

La línea A posee una productividad de 71.07%, originada por muchas razones que intervienen en el proceso de envasado, tales como ineficiencia, fallas mecánicas, problemas con operarios, etc.

Se realizó un estudio para detectar la parte del proceso de envasado que afecta la eficiencia (95.66%) de la línea A, y se determinó que la lavadora, cuyo modelo de fabricación es de 1976, posee actualmente un bajo rendimiento en el lavado de botellas y un alto consumo de agua.

Según el análisis de Beneficio/Costo, si se justifica reacondicionar la lavadora A, lo más pronto posible, para aumentar la eficiencia de la línea un 2.17% y la productividad a un 1.61%. Podrá parecer que el aumento de los porcentajes es mínimo, pero, a mediano y a largo plazo, estos representan grandes sumas de dinero y beneficios como disminución en el consumo de agua fresca.

En un año se producirán 1,782,780 botellas extra y el consumo de agua se disminuye a 2,100 m<sup>3</sup>.

Con el análisis de reemplazo estableció, que resulta favorable reacondicionar la lavadora A y no comprar una nueva lavadora si no hasta el año 2010.

El último plazo recomendado para reacondicionar la lavadora A es hasta el año 2007. Aunque la lavadora A reacondicionada, pueda operar con un rendimiento aceptable hasta el 2010, se recomienda para el 2007 la compra de una nueva lavadora, maximizando las utilidades de la empresa.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Catálogo de sistemas de líneas de envasado KRONES. 1999. Niedermayr. 47 Pág.
- Catálogo de programas de producción KRONES. 1993. Niedermayr. 35 Pág.
- Catálogo de sistema de control para la sala de embotellado KRONES. 1993. Niedermayr. 5 Pág.
- Catálogo de técnicas de lavadoras KRONES. 1999. Niedermayr. 35 Pág.
- Catálogo KHS jornal. 1996. KAMPF. 47 Pág.
- Catálogo OMEGA Lavana. Dortmund. 15 Pág.
- Leland Blank. 2002. *Ingeniería Económica*, 5a Edición, México. Mc Graw-Hill. 796 pags.
- Crowe. 2002. *Mecánica de Fluidos*. 7a Edición. México. CECSA. 711pags.
- David Sumanth. 1990. *Ingeniería y Administración de la Productividad*. México. Mc Graw-Hill. 547 Pág.
- Jerry D. Wilson, 1996, *Física*, 2a Edición. México. Prentice Hall Hispanoamericana. 766 Pág.

## VIII. APÉNDICE

### FORMATOS DE CONTROL DE PRODUCCIÓN

Día	B. Producidas	Botellas Rechazadas			
		Pared Externa	Pared Interna	Fondo	Líquido Residual
08/03/2004	347.032	9.864	1.996	6.293	713
09/03/2004	407.384	9.104	2.540	8.691	559
10/03/2004	497.915	7.967	2.178	5.095	687
11/03/2004	256.501	11.001	2.358	9.889	585
15/03/2004	537.924	3.039	885	1.526	80
16/03/2004	389.532	3.567	497	1.300	75
17/03/2004	426.630	3.831	609	1.470	63
18/03/2004	500.826	2.775	773	1.356	58
22/03/2004	353.316	2.764	559	1.478	248
23/03/2004	449.676	1.842	655	1.901	215
24/03/2004	385.436	2.119	632	2.042	199
25/03/2004	417.556	2.487	582	1.619	166
29/03/2004	337.857	10.975	1.925	5.813	655
30/03/2004	429.999	8.414	2.450	8.027	833
31/03/2004	368.571	9.878	2.100	6.090	803
01/04/2004	399.285	7.317	2.275	7.750	684
05/04/2004	395.558	7.715	1.664	7.434	297
06/04/2004	464.350	8.358	1.967	7.690	350
07/04/2004	447.152	7.393	2.117	5.126	377
08/04/2004	412.756	8.679	1.814	5.382	324
12/04/2004	338.608	11.772	2.178	7.792	535
13/04/2004	397.496	9.933	2.358	8.391	737
14/04/2004	353.330	8.461	1.996	7.192	586
15/04/2004	382.774	6.622	2.540	6.593	686
19/04/2004	455.465	7.627	1.505	7.581	584
20/04/2004	303.643	8.952	1.563	8.211	389
21/04/2004	364.372	8.622	1.389	8.843	527
22/04/2004	394.736	7.957	1.331	6.948	447
26/04/2004	437.997	10.524	2.172	6.136	477
27/04/2004	344.139	8.268	2.422	7.204	457
28/04/2004	375.426	10.148	1.754	7.470	536
29/04/2004	406.710	8.644	2.004	5.870	517

Dia	B. Producidas	Botellas Rechazadas			
		Pared Externa	Pared Interna	Fondo	Liquido Residual
03/05/2004	475.837	9.501	2.963	6.450	660
04/05/2004	494.139	8.093	2.370	7.257	615
05/05/2004	420.933	7.741	1.975	6.181	523
06/05/2004	439.235	9.852	2.568	6.987	478
10/05/2004	470.377	8.439	2.625	7.725	535
11/05/2004	452.955	7.790	2.363	6.070	737
12/05/2004	418.113	7.141	2.013	7.449	713
13/05/2004	400.691	9.088	1.750	6.345	559
17/05/2004	397.494	9.264	2.616	8.408	545
18/05/2004	433.630	8.551	2.075	6.906	526
19/05/2004	469.766	8.195	2.436	6.606	413
20/05/2004	505.902	9.620	1.894	8.107	395
24/05/2004	402.336	7.649	2.171	7.123	618
25/05/2004	368.808	8.980	1.783	7.717	689
26/05/2004	469.392	8.647	1.705	8.607	570
27/05/2004	435.864	7.982	2.093	6.233	499