

**ESTUDIO ECONÓMICO Y TÉCNICO PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE LLENADO
DE LIMPIADORES LÍQUIDOS MEDIANTE LA
INTRODUCCIÓN DE UNA EMPAQUETADORA
AUTOMÁTICA DE BOTELLAS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**ESTUDIO ECONÓMICO Y TÉCNICO PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE LLENADO
DE LIMPIADORES LÍQUIDOS MEDIANTE LA
INTRODUCCIÓN DE UNA EMPAQUETADORA
AUTOMÁTICA DE BOTELLAS**

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA


Trabajo de graduación presentado
por Juan José De la Vega Mayorga
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería
Industrial

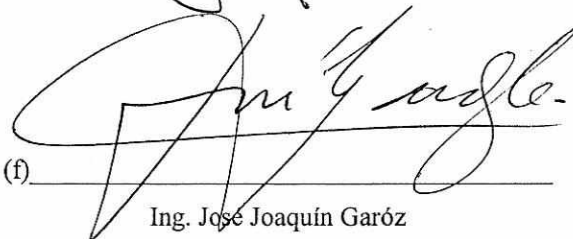
Guatemala
2005

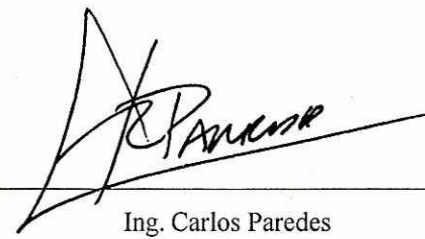
Vo.Bo. :

(f) 
Ing. Jorge Fuentes

Tribunal:

(f) 
Ing. Jorge Fuentes

(f) 
Ing. José Joaquín Garóz

(f) 
Ing. Carlos Paredes

Fecha de aprobación: Guatemala 17 de mayo de 2005

DEDICATORIA

A DIOS: Por ser la luz que siempre ilumina mi camino.

A MIS PADRES: Por darme la oportunidad de superarme y por siempre brindarme su amor incondicional.

A MIS HERMANOS: Por ayudar a convertirme en una persona de bien gracias a su buen ejemplo.

A PABLO Y A JORGE: Por ayudarme siempre durante este trabajo sin importar qué tan ocupados estaban.

PREFACIO

En una empresa grande, como en la que se llevó a cabo el trabajo siguiente, a veces es difícil ver el alcance de los proyectos a realizar. Un proyecto sencillo, en apariencia, se convierte en una larga serie de eventos interdependientes donde el flujo de información atraviesa varios departamentos funcionales dentro de la empresa. En los negocios pequeños es más fácil llevar a cabo un proyecto ya que no existen normas a las cuales hay que regirse. En el caso de la empresa donde se realizó este estudio los niveles altos de estandarización obligan a que todo proyecto sea llevado a cabo dentro de un esquema de trabajo previamente establecido. Será función del lector cuestionar si al momento de llevar a cabo cualquier proyecto por sí sólo usará este trabajo como guía.

La motivación imperante de esta obra es introducir al lector a una forma diferente de evaluar nuevas propuestas e ideas sin temor a usar herramientas poco conocidas dentro del ámbito nacional. Todo proyecto, tanto artístico como laboral, tiene su comienzo con una idea. Este trabajo únicamente muestra el seguimiento de una idea para poder hacerla realidad basándonos en los lineamientos de una empresa que valora mucho sus compromisos hacia la calidad.

En la empresa en cuestión se manufacturan productos de consumo masivo. El proyecto en sí nace de la necesidad de buscar mejoras dentro de la empresa. Una vez encontrada la idea de mejora fue necesario involucrar a todos los departamentos de trabajo que de alguna u otra forma estaban ligados al proyecto. La ejecución del mismo dependerá de los resultados observados en el siguiente trabajo de graduación. Muchas personas y departamentos de la empresa intervinieron en este proyecto y por su ayuda les agradezco de sobremanera.

El proyecto del cual se escribe en este trabajo de graduación busca la mejora de un proceso al darle un cambio radical a un producto establecido. Se busca hacer esto tratando de incorporar la tecnología para evitar costos innecesarios al tratar de implementar el proyecto.

Claro está que hay limitaciones, ya que muchos de los datos que aparecen en el trabajo fueron modificados para mantener cierto grado de confidencialidad dentro de la empresa. A pesar de esto se trató de mantener la esencia de los resultados y del proyecto y fácilmente puede ser adaptado a cualquier área económica.

RESUMEN

En el proyecto se buscó justificar la inversión de una nueva empaquetadora automática de botellas basándose en un estudio económico y técnico. El cambio primordial y fuente de ahorro del proyecto radica en modificar la configuración actual del empaque secundario de las botellas, el cual consiste en una caja de cartón corrugado regular, a bandejas o cajas wraparound. A la vez la introducción de la empaquetadora automatizará un área funcional de la línea eliminando plazas y generará a su vez ahorros en mano de obra.

En este estudio se exponen las ventajas y desventajas que dicho proyecto genera para la empresa. El proyecto se subdivide en varias etapas.

La primera etapa consistió en una evaluación de la situación actual del proceso. En esta etapa se enmarcaron las fortalezas y debilidades del proceso actual. Entre las debilidades cabe mencionar que la línea de producción no está balanceada adecuadamente. Es muy importante resaltar todos los puntos de mejora que el proceso actual tiene y cómo la compra de la maquinaria influye en dichos puntos. La mejora más importante en la línea de llenado se dará con la introducción de la máquina empaquetadora que generará automáticamente el balance adecuado de la línea.

Luego se realizó un estudio económico de la situación actual. Dicho estudio es el punto de referencia para determinar si la compra de la empaquetadora es factible desde el punto de vista económico o no. Una vez se tuvo los resultados económicos de la situación actual, se calcularon los ahorros obtenidos al realizar la compra de la maquinaria. Al encontrar dichos ahorros fue necesario escoger entre tres empaquetadoras (Máquina A, B y C) la que mejor se adaptara a las necesidades de la línea y la que fuera la mejor opción

económica. Todo esto se realizó de acuerdo a un estudio económico entre tres máquinas empaquetadoras previamente seleccionadas y la situación actual.

Una vez fue escogida la máquina que mejor se adaptaba al proyecto(Máquina C), ésta fue descrita en su totalidad, para enseñarle al lector los detalles intrínsecos de la máquina empaquetadora.

En paralelo con la selección de la máquina fue necesario realizar pruebas destructivas tanto al empaque actual como al empaque propuesto. Las pruebas se realizaron a las botellas individuales y al empaque final. Los resultados de las pruebas ofrecieron variables cuantitativas que fueron comparadas entre el empaque actual con el propuesto. Estas pruebas fueron necesarias debido a que, al mismo tiempo de utilizar la nueva empaquetadora se determinó la posibilidad de cambiar la configuración actual de empaque del producto final. Estos cambios pueden ocasionar serios problemas de calidad ya sea en el almacenaje del producto o en alguna etapa del proceso de distribución del mismo. Las pruebas comparativas se realizaron utilizando muestras del producto actual terminado y muestras del producto terminado utilizando la nueva propuesta de empaque secundario. Dichas pruebas fueron satisfactorias para la nueva configuración de empaque. Estas pruebas destructivas se realizaron con equipo especializado que será descrito en el transcurso del estudio.

La decisión de comprar la empaquetadora C y cambiar el proceso de la línea fue tomada basándose en los resultados obtenidos en el estudio económico y en el estudio técnico de calidad del empaque. La inversión de dicha máquina será retornada en 4 años y los ahorros anuales que genera la propuesta superan las expectativas del proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
PREFACIO.....	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xv
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
III. OBJETIVOS.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. ÁREA TÉCNICA.....	4
1. Tipos de embalaje.....	4
a. Productos autoportantes.....	4
b. Productos semiportantes.....	5
c. Productos no portantes.....	5
2. Exigencias con de la utilizacion del embalaje completo y lleno.....	6
3. Acondicionamiento del producto.....	7
a. Acondicionamiento manual.....	7
b. Acondicionamiento automático.....	7
4. Pruebas de laboratorio.....	9
a. Prueba de compresion de botellas.....	9
b. Prueba de compresion para empaques secundarios.....	13
c. Prueba de ruta para empaques.....	16
5. Teoria de la máquina crítica.....	21
a. Macroparos.....	21
b. Microparos.....	21
c. La máquina crítica.....	22
d. Principio de acumulación.....	22

e.Principio de maximización de la velocidad.....	26
f. La gráfica "V".....	27
IV. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	29
A. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	29
1.Area de tanques.....	29
2.Area de llenado.....	30
3. Area de etiquetado.....	32
4. Area de empaque.....	33
5. Area de entarimado/paletizacion.....	34
6. Limitaciones actuales y soluciones a las mismas al introducir empaquetador automática.....	35
B. BÚSQUEDA DE LA MAQUINARIA ADECUADA.....	45
1. Necesidades de la línea.....	46
a. Versatilidad.....	46
b. Capacidad.....	46
c. Poco tiempo para realizar cambios (Changeovers).....	46
d. Proceso controlado y automatizado.....	46
e. Respaldo y capacitacion técnica.....	47
f. Retorno de la inversión.....	47
2.Estudio comparativo entre diferentes opciones.....	47
a. Máquina A.....	47
b. Máquina B.....	49
c.Máquina C.....	51
d. Comparacion entre todas las propuestas.....	53
C. ESTUDIO ECONÓMICO: SITUACIÓN ACTUAL VRS. SITUACIONES PROPUESTAS.....	54
1. Descripcion de costos y gastos actuales.....	54
2. Descripcion de costos y gastos al introducir empaquetadora automática.....	55
3. Descripcion de ahorros al introducir empaquetadora automática.....	55
4. Inversion inicial.....	57
5. Flujo de efectivo neto y tasa interna de retorno.....	57
a. Factibilidad de propuesta en bandeja con máquina A.....	58
b. Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina A.....	58
c. Factibilidad de propuesta en bandeja con máquina B.....	59
d. Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina B.....	60

e. Factibilidad de propuesta en bandeja con máquina C.....	61
f. Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina C.....	61
D. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MAQUINARIA PROPUESTA.....	62
1. Máquina C.....	62
2. Descripción general de empaquetadora C.....	64
3. Especificaciones técnicas.....	67
4. Condiciones generales del funcionamiento de la máquina.....	69
5. Pintura estándar de la máquina.....	69
6. Calidad aconsejada del cartón.....	70
7. Calidad aconsejada del pegamento caliente.....	70
8. Datos técnicos requeridos para el film.....	71
E. ESTUDIO DE CALIDAD DEL EMPAQUE.....	72
1. Análisis del empaque actual	72
a. Botellas empacadas en cajas de cartón corrugado regulares (RSC).....	72
2. Análisis empaque propuesto.....	75
a. Botellas empacadas en bandejas con plástico termoencogible y/o botellas Empacadas en cajas wraparound.	75
3. Estudio comparativo entre el empaque actual y el empaque propuesto.....	78
a. Estudio comparativo SKU 1	78
b. Estudio comparativo SKU 2.....	81
c. Estudio comparativo SKU 3.....	84
4. Pruebas de ruta.....	86
IV. CONCLUSIONES.....	92
V. RECOMENDACIONES.....	95
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	96
VII. ANEXOS.....	97
VIII. GLOSARIO.....	107

LISTA DE CUADROS

Cuadro #1: Velocidad total de línea de llenado por SKU.....	33
Cuadro #2: Velocidades actuales de línea de llenado por área.....	39
Cuadro #3: Velocidades propuestas de línea de llenado por área.....	42
Cuadro #4: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina A).....	48
Cuadro #5: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina A).....	48
Cuadro #6: Tiempo de changeovers. (Máquina A).....	49
Cuadro #7: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina B).....	50
Cuadro #8: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina B).....	50
Cuadro #9: Tiempo de changeovers. (Máquina B)	51
Cuadro #10: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina C)	52
Cuadro #11: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina C)	52
Cuadro #12: Tiempo de changeovers. (Máquina C)	53
Cuadro #13: Precios y capacidad por máquina.....	54
Cuadro #14: Gasto y costos actuales.....	55
Cuadro #15: Gastos y costos al introducir propuesta	55
Cuadro #16: Ahorros generados con propuesta en bandeja	56

Cuadro #17: Ahorros generados con propuesta en caja wraparound	56
Cuadro #18: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina A propuesta de bandeja).....	58
Cuadro #19: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina A propuesta de caja wraparound).....	59
Cuadro #20: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina B propuesta de bandeja).....	60
Cuadro #21: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina B propuesta de caja wraparound).....	60
Cuadro #22: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina C propuesta de bandeja).....	61
Cuadro #23: TIR y tiempo de retorno de inversión (Máquina C propuesta de caja wraparound).....	62
Cuadro #24: Velocidades de producción en bandeja de máquina C	63
Cuadro #25: Velocidades de producción en caja wraparound de máquina C	63
Cuadro #26: Datos técnicos de film de empaque	71
Cuadro #27: Unidades de empaque y peso del empaque actual.....	73
Cuadro #28: Resistencia a la compresión botella vacía	73
Cuadro #29: Top load (Resistencia a la compresión botella llena de limpiador).....	74
Cuadro #30: Características del empaque secundario (Caja de cartón corrugado).....	74
Cuadro #31: Squeeze test (Resistencia a la compresión de la caja de cartón corrugado vacío)	74
Cuadro #32: Unidades de empaque y peso del empaque propuesto.....	76
Cuadro #33: Top load (Resistencia a la compresión botella vacía).....	76
Cuadro #34: Top load (Resistencia a la compresión botella llena de limpiador)	76

Cuadro #35: Características del empaque secundario	
(Bandeja de cartón corrugado)	77
Cuadro #36: Squeeze test	
(Resistencia a la compresión de la bandeja llena)	78
Cuadro #37: Tamaño de muestra.....	90
Cuadro #38: Resultados de rayones en las botellas.....	90
Cuadro #39: Resultados de fugas en las botellas.....	90
Cuadro #40: Resultados de botellas deformadas permanentemente	
(Resistencia a la compresión botella llena de limpiador)	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica #1: Botella y balanza.....	10
Gráfica #2: Sistema de compresión.....	12
Gráfica #3: Funcionamiento de sistema de compresión de botellas.....	12
Gráfica #4: Funcionamiento de sistema de compresión de empaque secundario.....	16
Gráfica #5: Prueba de ruta	20
Gráfica #6: Máquina crítica.....	22
Gráfica #7: Acumulación en sistema de máquina crítica.....	23
Gráfica #8: Acumulación antes de máquina crítica.....	23
Gráfica #9: Fallo en máquina antes de máquina crítica.....	24
Gráfica #10: Fallo en máquina después de máquina crítica.....	24
Gráfica #11: Acumulación dinámica.....	25
Gráfica #12: Fallo en máquina antes de máquina crítica.....	25
Gráfica #13: Fallo en máquina después de máquina crítica.....	26
Gráfica #14: Ejemplo de gráfica “V”	28
Gráfica #15: Área de tanques.....	30
Gráfica #16: Área de empaque.....	34
Gráfica #17: Área de entarimado.....	35
Gráfica #18: Problema del área de llenado.....	37
Gráfica #19: Gráfica “V” situación actual.....	39
Gráfica #20: Línea en condiciones normales de llenado.....	40
Gráfica #21: Etiquetadora parada bandas de acumulación entre etiquetadora y llenadora llenándose, banda de empaque vacía.....	41
Gráfica #22: Taponadora y etiquetadora a mayor velocidad para alcanzar condición normal, banda de acumulación de área de empaque llenándose.....	41

Gráfica #23: Máquina de llenado para debido a acumulación excesiva de producto, se vuelve a arrancar cuando haya suficiente espacio en las bandas de acumulación.....	41
Gráfica #24: Gráfica “V” situación propuesta.....	42
Gráfica #25: Línea en condiciones normales de llenado.....	43
Gráfica #26: Etiquetadora parada, bandas de acumulación entre etiquetadora y llenadora llenándose, banda de empaque vacía o en camino a vaciarse.....	44
Gráfica #27: Taponadora y etiquetadora a mayor velocidad para alcanzar condición normal, banda de acumulación de área de empaque llenándose.....	44
Gráfica #28: Máquina empaquetadora aumenta velocidad y se logra normalizar el proceso.....	44
Gráfica #29: Configuraciones de empaque posibles en máquina empaquetadora C.....	64
Gráfica #30: Destino de prueba de ruta.....	87
Gráfica #31: Caja wraparound.....	109

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía #1: Pantalla del sistema de compresión.....	12
Fotografía #2: Sistema de compresión para empaques secundarios.....	15
Fotografía #3: Posicionador de botellas.....	31
Fotografía #4: Llenadora.....	31
Fotografía #5 y #6: Flujo del producto y etiquetadora.....	33
Fotografía #7: Máquina aplicadora de stretch film.....	35
Fotografía #8: Máquina A.....	47
Fotografía #9: Máquina B.....	49
Fotografía #10: Máquina C.....	51
Fotografía #11: Armado de tarimas de prueba.....	88

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo, y con el advenimiento de la globalización, el mundo de los negocios se ha vuelto cada vez más cambiante y competitivo. Las ventajas de las empresas son cada vez más reducidas y en muchos casos lo que separa a una empresa exitosa de una en decadencia es la eficiencia en sus procesos. Es por ello que la filosofía imperante dentro de la empresa de buscar siempre la mejora continua es de suma importancia para mantenerse a flote en el mundo de negocios actual. Esta filosofía impulsa constantemente a buscar un punto de equilibrio entre los costos de producción y la calidad. Para lograr este equilibrio competitivo a veces es necesario romper paradigmas que por largo tiempo han existido dentro de la organización.

En este trabajo de graduación se busca romper el paradigma de que para que un producto final llegue a su destino en perfectas condiciones es necesario empacar dicho producto en cajas de cartón fuertes y resistentes a cualquier inclemencia del flujo de distribución. Claro está que en algunos casos la fragilidad del producto obliga a ser extremadamente cuidadosos al diseñar el empaque que contiene al mismo. Pero en este caso es justamente ésto lo que se busca analizar: La fragilidad del producto que se está empacando.

Por largo tiempo la empresa ha empacado sus limpiadores líquidos en botellas fabricadas con PET. Dichas botellas, a su vez son empacadas en cajas de cartón corrugado lo suficientemente fuertes para que las botellas no sufran ningún daño. Lo que se busca demostrar con este trabajo es que las botellas de PET no son frágiles y es más pueden soportar las inclemencias del transporte sin ser dañadas. Para probar dicho punto se eliminó por completo la caja de cartón corrugado actual y se sustituyó con una bandeja y film y/o una caja tipo wraparound.

Dentro del cuerpo del trabajo se encontrará que al realizar el cambio de la configuración de empaque se ganan muchas cosas, entre éstas se pueden enunciar: un proceso balanceado, un proceso automatizado, ahorros sustanciales en material de

empaque y mano de obra y claro está, se rompe el paradigma de que las botellas de PET tienen que ser empacadas de forma robusta. Además, la inversión de la maquinaria es retornada en 4 años.

Para llegar a estas conclusiones será necesario realizar un estudio detenido de la línea de llenado de limpiadores líquidos para determinar los efectos que la introducción de la empaquetadora automática tendría en ella.

Luego, entre varias opciones, se seleccionará la máquina empaquetadora que mejor se ajuste a las necesidades económicas del proyecto y de la línea. Como método de justificación para la compra de la máquina empaquetadora se realizará un análisis económico para garantizar que la inversión sea recuperada en un plazo máximo de 4 años. La compra se justificará según la base de los ahorros obtenidos en empaque y en mano de obra al introducir la máquina.

Otro punto importante será garantizar la integridad del producto a través de la cadena de abastecimiento y asegurar que la calidad del mismo sea conservada hasta llegar al cliente. Para este propósito se realizará un estudio técnico entre la configuración de empaque propuesta e la configuración de empaque actual. Dicho estudio incluye pruebas destructivas a las botellas, cajas y bandejas donde se obtendrán datos cuantitativos y cualitativos para tomar una decisión sobre la posibilidad de realizar el cambio de empaque o no.

Finalmente se expondrán las conclusiones más pertinentes en cuanto al tema tratado y se realizaran algunas recomendaciones con el fin de garantizar el éxito del proyecto.

II. OBJETIVOS

- Mostrar cómo las empresas eficientes y enfocadas a la satisfacción del cliente, consideran todos los aspectos del negocio al momento de realizar cambios dentro de su organización.
- Analizar la factibilidad de realizar un cambio en el proceso de empaque de una línea de producción.
- Justificar la compra una empaquetadora automática de envases sustituyendo el empaque actual (cajas de cartón corrugado) ya sea a una bandeja de cartón corrugado o a una caja tipo wrap around, todo esto de acuerdo a un análisis económico y considerando todas las implicaciones que dichos cambios ocasionarán a la calidad del producto final.
- Evaluar las consecuencias que dicho cambio ocasionará a la calidad del producto realizando un estudio técnico a los empaques propuestos.
- Justificar la compra de la maquinaria según los resultados obtenidos en el estudio técnico y económico.

III. MARCO TEÓRICO

A. Área técnica

Los siguientes términos y definiciones son importantes para la comprensión de algunas etapas de este trabajo. Se tomó la decisión de realizar un marco teórico de algunos conceptos claves en los cuales se basa este trabajo.

1. Tipos de embalaje. La resistencia de un embalaje se determina en función de la capacidad de soporte del producto a embalar. Por producto se entiende una unidad de producto tenga o no tenga envase primario. Ej. : una pastilla de jabón sin envase y una lata de tomate, en el primer caso el producto es el jabón, pero en el segundo el producto es la lata y no el tomate que está contiene.

Desde el punto de vista de la capacidad de soportar, los productos se pueden dividir en tres categorías: autoportantes, no portantes y semiportantes.

a. **Productos autoportantes.** Se dice de un producto que es autoportante (o portante) si puede soportar, sin sufrir deterioro alguno (deformaciones, aplastamientos, reventamientos, fracturas), la carga total del apilado.

El producto autoportante soporta la totalidad de la carga de apilado a la que se somete. Incluso sin la ayuda de un embalaje, conserva intactas sus cualidades intrínsecas de resistencia al aplastamiento, a la deformación y al roce. Las funciones técnicas del embalaje, con respecto a productos autoportantes, son casi exclusivamente las siguientes:

- Reagrupamiento
- Protección
- Estabilidad de la carga apilada

Ejemplos de productos autoportantes: la mayoría de los embalajes primarios rígidos, bien sean metálicos (latas de conserva) o de vidrio (botellas, frascos) y algunos plásticos.

Nota: Puede haber deformaciones de las paredes laterales del embalaje si las dimensiones del embalaje no están adaptadas las del contenido, condición obligatoria para que un contenido potencialmente autoportante lo sea realmente.

Hay que tener cuidado ya que un producto aparentemente autoportante puede volverse semiportante si presenta un punto de debilitamiento: por ejemplo, el caso de alguna botella mal diseñada. Es posible que en algunos casos no se desee utilizar la capacidad autoportante: productos frágiles.

b. **Productos semiportantes.** Los productos semiportantes no son lo suficientemente portantes en las condiciones de utilización como para soportar las cargas de apilado. Su capacidad de sustentación debe evaluarse en función de los límites de deformación que el producto admita, sin que está llegue a perjudicar la comercialización del producto, lo cual exige un ajuste muy preciso del envase con el contenido.

Ejemplos de productos semiportantes: productos con embalaje primario deformable, tal como las botellas de plástico, briks de leche, artículos de limpieza y bolsas de productos en polvo.

c. **Productos no portantes.** El embalaje sólo, sin la ayuda del producto, debe soportar cualquier esfuerzo que se presente. Por consiguiente es necesario preservar todas las cualidades del contenido fortaleciendo las propiedades del embalaje.

Ejemplos de productos no portantes: productos agrícolas (verdura, fruta), envases de plásticos soplado.

Un objeto frágil no es necesariamente no portante. Puede ser portante o semiportante, en función de su posición. Ejemplo: vasos: no son portantes si van acostados y portantes si van de pie. Hay productos que al superponerlos siempre sufren una cierta deformación, pero sin que está llegue a afectar la integridad y comercialización

de los productos, tal como las botellas de plásticos, bolsitas, saquitos de producto en polvo.

2. Exigencias con relación de la utilización del embalaje completo y lleno. Existe una estrecha interdependencia entre el embalaje y su contenido, en función de las agresiones exteriores causadas por variaciones climáticas, almacenamiento y transporte.

La concepción de un embalaje, diseñado para contener piezas sólidas e inertes, será distinta a la de un embalaje destinado a contener productos perecederos que, por ejemplo, desprendan una gran cantidad de humedad.

El embalaje debe responder a las exigencias resultantes de:

- Condiciones y cambios climáticos
- Manipulaciones
- Entarimado
- Almacenamiento
- Transporte
- Circuitos de distribución
- Promoción de las ventas (impresión)
- Reciclaje

Que puedan debilitar sus características y poner en peligro la integridad del conjunto embalaje/contenido.

Asimismo, el embalaje deberá satisfacer técnica y económicamente los requerimientos de calidad impuestos por la o las exigencias encontradas.

3. Acondicionamiento del producto. Se trata de la operación de colocar el o los productos dentro del embalaje. Existen dos métodos prácticos de acondicionamiento: manual y automático

a. Acondicionamiento manual. Comprenden por regla general aquellos productos que deben ser embalados.

- Por unidades(ej.:electrodomésticos, televisores, muebles).
- Por grupos. (Es el caso de piezas u objetos cuya producción en series limitadas no justifique o requiera un acondicionamiento mecanizado).

Las dificultades de acondicionamiento manual son, esencialmente, de orden dimensional ya que el embalaje puede ser muy grande para manejar manualmente. Dichas dificultades nos llevan a límites de tolerancia más flexibles en cuanto a la precisión de las dimensiones del embalaje.

b. Acondicionamiento automático. Este se ha desarrollado mucho en los últimos años. Comprende productos de tipo homogéneo, de dimensiones razonables, pero de gran consumo y por consiguiente fabricados o producidos en serie y que, por tanto, tienen que ser agrupados: ej.: productos alimenticios(productos lácteos, materias grasas, agua mineral, vinos, aperitivos, etc), artículos de limpieza (productos de limpieza, detergentes), y otros productos (ej.: botellas de aceite).

El embalaje destinado a acondicionamiento automático sufre agresiones mecánicas, y está sometido a numerosos riesgos de deterioro (movimiento mediante transportadores, empujadores, pistones, deflectores, etc.)

Los tipos de exigencias, imputables a las líneas de envasado, son inherentes al material utilizado. De ahí la necesidad de establecer una colaboración estrecha con los fabricantes de maquinaria, a fin de llevar a cabo un examen minucioso de la naturaleza de las agresiones mecánicas que experimentara el embalaje.

La mecanización semiautomática y automática se caracterizan por sus distintos niveles de automatización, velocidad y ritmo. Por consiguiente, existe una enorme gama de

máquinas, que van desde la máquina más sencilla hasta la línea de mecanización completa.

Por regla general, las mayores exigencias físicas de los embalajes, vienen impuestas por el elevado ritmo de producción. Estas son:

- Sus dimensiones: precisión, tolerancias de ajuste del contenido,
- Cartón ondulado perfectamente plano: ausencia de curvatura,
- La rigidez del cartón,
- La porosidad de la plancha que tiene que ser compatible con la capacidad de aspiración de las ventosas,
- La aptitud para el encolado de etiquetas y cintas adhesivas de cierre, o a la penetración de la cola en frío o en caliente,
- La aptitud para impresión.

La estabilidad de estas características es un factor esencial para una buena mecanización.

El fabricante deberá adaptar la máquina a las exigencias del cartón ondulado (inestabilidad a la humedad, por ejemplo), e intentar limitar agresiones mecánicas tales como:

- Laminación o aplastamiento en zonas de embalaje, producidos por los dispositivos de alimentación de la máquina.
- Deformación y doblado de los laterales y aristas por las bandas de arrastre de la cinta.
- Aplastamiento localizado del embalaje lleno ocasionado por las secciones de cierre lateral o perforaciones producidas por el contacto de los ángulos y las aristas vivas en los transportadores.
- Inconvenientes relativos al plegado y cierre del embalaje a gran velocidad, en el momento del encolado y engrapado.

4. Pruebas de laboratorio. En este trabajo de graduación fue necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio destructivas con las cuales se generaron datos teóricos para poder tomar decisiones acerca de la calidad del material de empaque que se estaba evaluando. Es necesario comprender dichas pruebas para determinar su grado de importancia

a. Prueba de compresión a botellas. A continuación se presenta el método utilizado para medir la resistencia a la compresión para botellas de plástico. Algunos pasos y equipos fueron obviados por motivos de confidencialidad de la empresa. Si el lector deseara más información sobre el tema puede referirse al Instituto de Botellas Plásticas (PBI) y buscar el procedimiento PBI3-1968, el cual es similar al utilizado por la empresa, pero abierto al público.

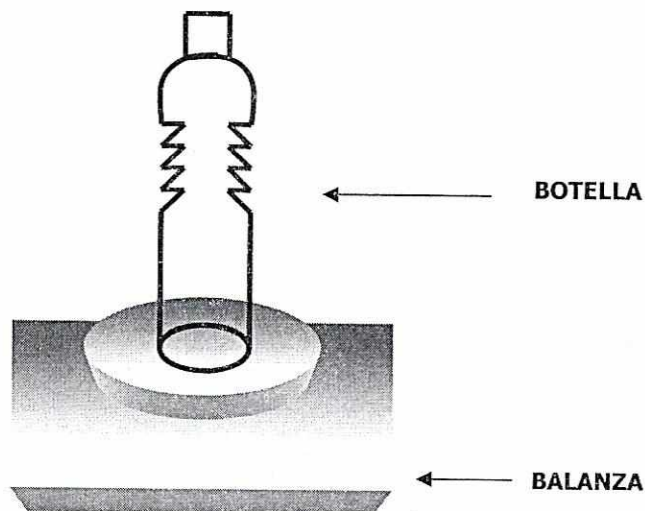
Durante el llenado de las botellas en la línea, es posible que las botellas individuales se encuentren expuestas a fuerzas de compresión. Estas fuerzas compresivas sobre las botellas pueden ser causadas por algún control de fugas en la línea, algún sistema para tapar botellas y/o el sistema de llenado. Esta prueba indicará la resistencia a la compresión máxima que cada botella posee sin tener una deformación permanente. Las botellas se miden llenas y tapadas o vacías y destapadas. La deflexión máxima obtenida depende de la distribución del material, el diseño de la botella y el tipo de material.

Este método se usa para determinar la resistencia a la compresión de botellas de plástico.

Para llevar a cabo la prueba es necesario poseer un sistema de compresión de botellas, con placas de sujeción planas, capaz de proporcionar hasta 100kg de fuerza y una velocidad de compresión de 2.54cm/min. El sistema de compresión debe tener una gráfica de fuerza versus deflexión para registrar los datos de máxima deflexión y resistencia. Además es necesario poseer una balanza analítica para registrar el peso de cada botella antes de ser expuesta a la prueba.

A continuación se presenta un procedimiento resumido de lo que consiste la prueba:

- Se requieren 10 muestras por cada presentación que se analizará
- Pesar cada una de las botellas y registrar el peso de la misma.



Gráfica #1: Botella y balanza

- Si la prueba se desea hacer con la botella llena:

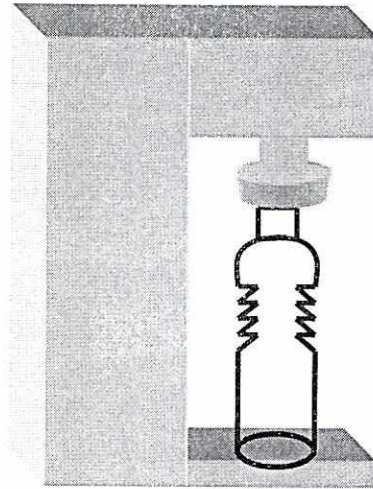
Llenar la botella con agua a temperatura ambiente hasta el volumen de llenado preestablecido. Se puede utilizar el producto con el cuál el envase será llenado, aunque esto no es necesario. Tapar la botella con su respectiva tapa

- Si la prueba se desea hacer con la botella vacía:

Dejar la botella vacía y sin tapa.

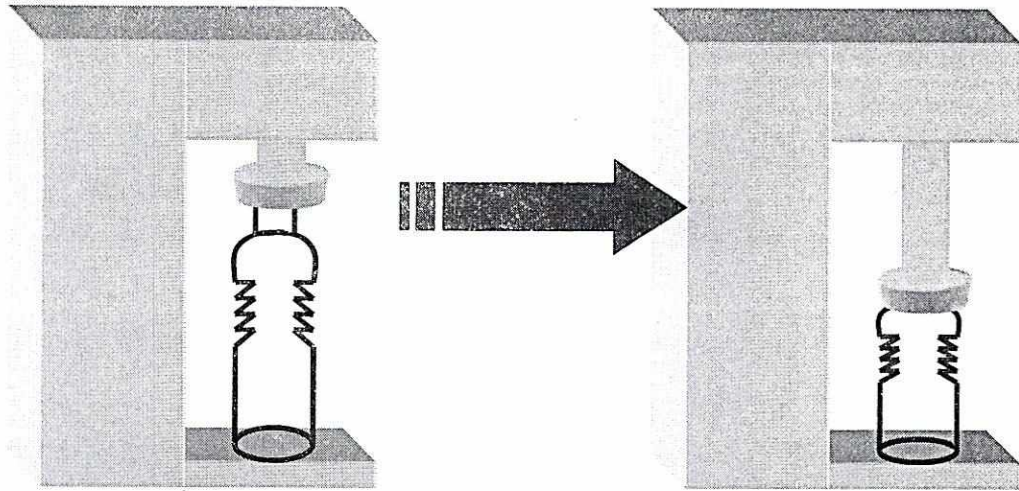
- Colocar una botella sobre la placa inferior del sistema de compresión. Centrar la botella debajo de la placa de compresión de la misma manera en cada prueba. Por

ejemplo, si la botella tiene agarradero, siempre se debe colocar éste en la misma dirección.



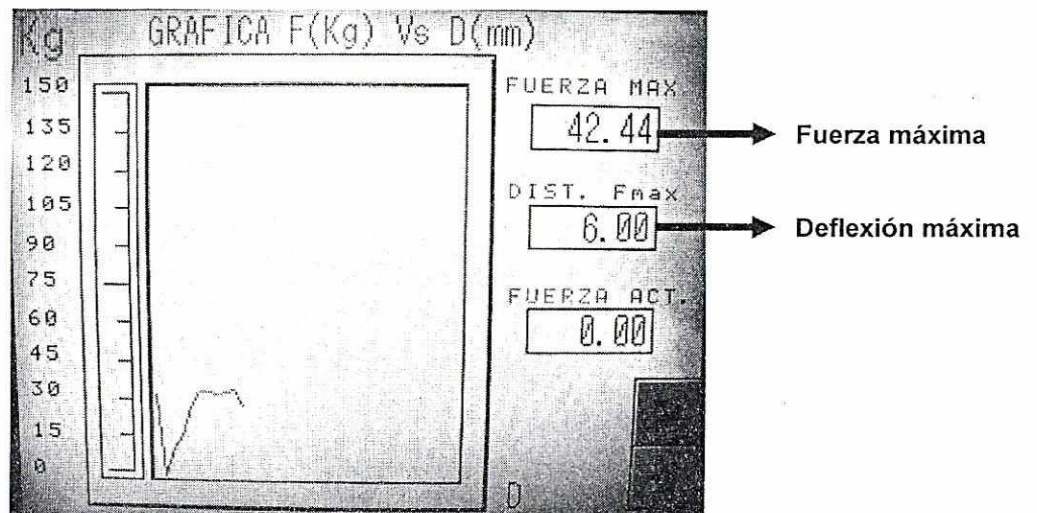
Gráfica #2: Sistema de compresión

- Encender el sistema de compresión y estar seguro de que este balanceado y calibrado.
- Colocar la velocidad de prueba en 3.78 plg/min (96mm/min).
- Ajustar la placa superior de modo que toque levemente la superficie de la tapa.
- Iniciar la compresión. La máquina de Top Load iniciara la compresión y se detendrá automáticamente cuando llegue al punto en que cede la botella.



Gráfica #3: Funcionamiento de sistema de compresión de botellas

- Registrar el resultado de la fuerza máxima que soporta la botella (kg) .
- Registrar la deflexión en el punto máximo de fuerza.



Fotografía #1: Pantalla del sistema de compresión

- Registrar la manera en que se deforma la botella. Se debe mencionar si hubo deformación permanente o arrugas en la botella. Además se deben registrar los puntos donde ocurren las deformaciones en la botella durante la compresión para determinar sus partes más débiles.
- Repetir el proceso para todas las unidades de la muestra.
- Calcular y registrar el promedio y la desviación estándar de la fuerza y la deflexión máxima de las botellas.

b. Prueba de compresión para empaques secundarios. A continuación se presenta el método utilizado para medir la resistencia a la compresión para empaques secundarios grandes, tales como corrugados, bandejas, cajas wraparound, particiones, etc. Algunos pasos y equipos fueron obviados por motivos de confidencialidad de la empresa. Si el lector deseara más información sobre el tema puede referirse a la federación europea de fabricantes de cartón ondulado (FEFCO) y buscar el procedimiento no. 50, el cual es similar al utilizado por la empresa, pero abierto al público.

El propósito de un corrugado es proteger el empaque primario durante el proceso de distribución. Existen varios factores que afectan la resistencia de un corrugado, tales como: humedad, temperatura, tiempo de almacenamiento y el tipo de estiba. Por este motivo esta prueba debe realizarse en un ambiente controlado.

Este método de prueba se esfuerza en mantener los factores que se mencionan arriba constantes. Esto se hace para establecer un ambiente controlado, donde la humedad de los corrugados se pueda mantener en equilibrio. Al hacer esto, los resultados obtenidos serán consistentes y podrán ser comparados en el futuro con pruebas similares. La decisión de realizar las pruebas de compresión con el corrugado vacío o lleno depende del producto que se analizará. En el caso de materiales de empaque rígidos, por ejemplo latas, el corrugado es simplemente un artefacto para asegurar la posición del empaque y apenas contribuye a la resistencia de la estructura. Hacer pruebas de compresión a corrugados

vacíos para este tipo de empaques rígidos provee poca información útil para el analista de laboratorio. En contraste a lo expuesto anteriormente, los corrugados para materiales de empaque flexibles, como bolsas de líquido, proporcionan gran cantidad de la resistencia del empaque final. Con este tipo de material de empaque, tanto las pruebas con el corrugado vacío y las pruebas con el corrugado lleno, pueden generar resultados representativos para calcular la resistencia a la compresión del empaque secundario en cuestión.

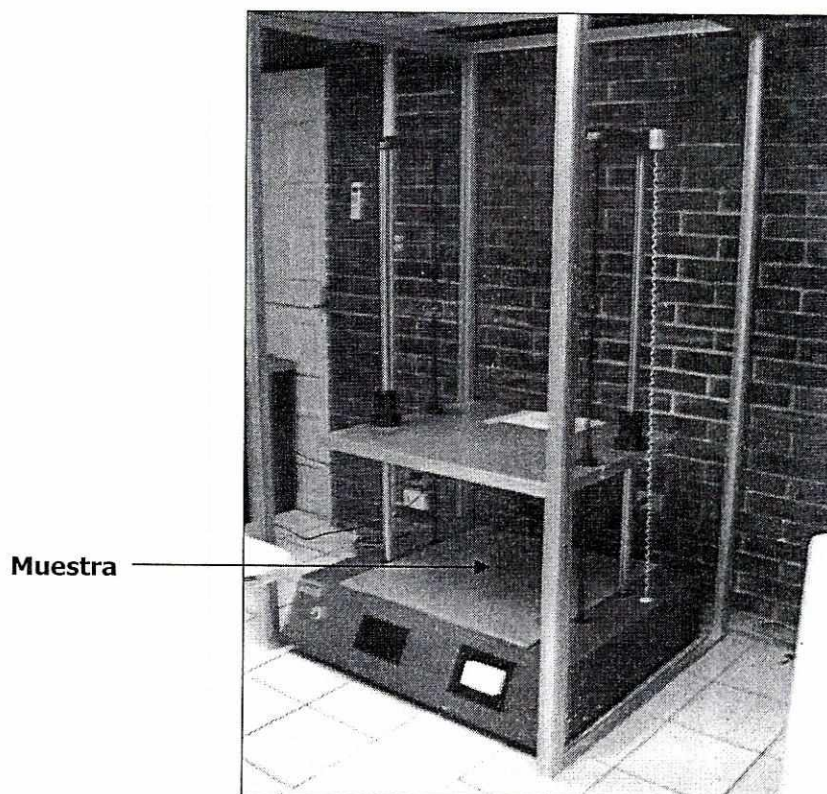
Este método se usa para determinar la fuerza y la deformación que un corrugado soporta antes que falle. El método aplica tanto para corrugados vacíos como para llenos y para empaques híbridos como bandejas.

Para realizar la prueba se necesita lo siguiente:

- Un sistema para pruebas de compresión con una tabla gráfica de resultados donde se observe la deformación y fuerza ejercida al corrugado.
- Material para sellar el corrugado (tape o pegamento).
- Por lo menos 5 muestras de cada producto a evaluar.

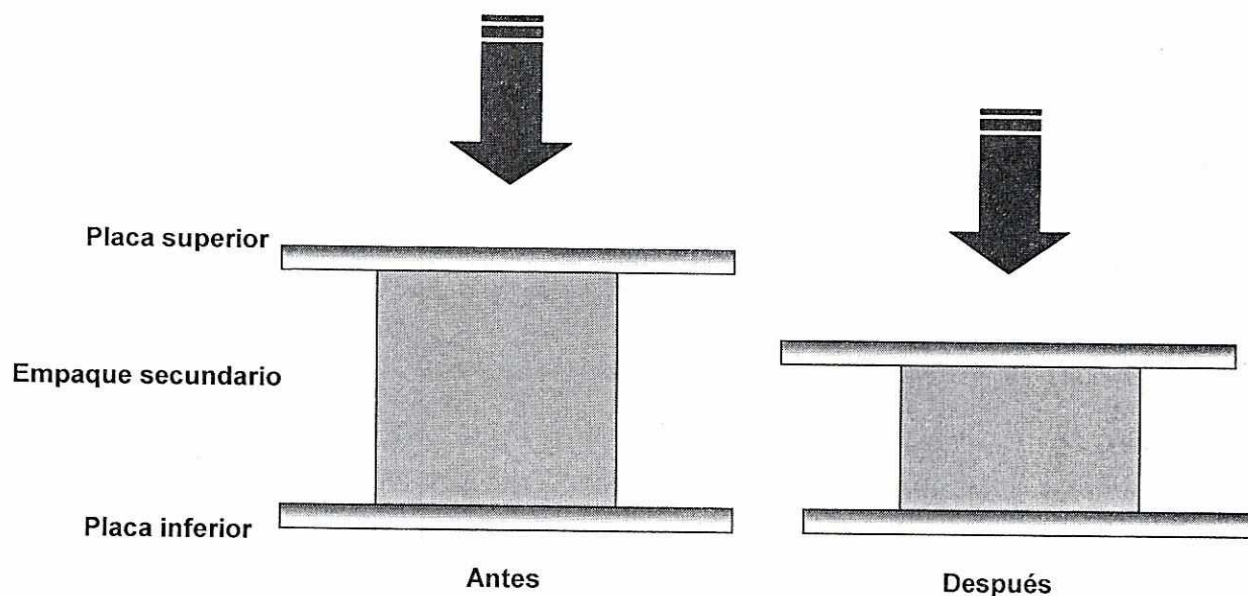
A continuación se presenta un procedimiento resumido de lo que consiste la prueba para corrugados:

- Tomar 5 muestras del corrugado que se desea analizar.
- Formar y sellar los corrugados de la misma manera en como se hace en la línea de producción.
- Tomar la primera muestra y colocarla en el centro de la placa inferior del sistema de compresión.



Fotografía #2: Sistema de compresión para empaques secundarios

- Bajar la placa superior lentamente a una velocidad de 0.5plg/min hasta que la placa superior toque levemente la parte superior del material de empaque. Esto asegurará un contacto definitivo entre el corrugado y el sistema de compresión.
- Empezar la prueba de compresión.



Gráfica #4: Funcionamiento de sistema de compresión de empaque secundario

- En el formato de evaluación se deben reportar los siguientes datos:
 - Registrar el punto en donde la fuerza y deflexión máxima ocurren.
 - Los puntos del empaque donde se observa debilidad.
- Probar todas las muestras restantes de la misma manera.
- Obtener el promedio en los resultados de fuerza y deflexión máxima.
- Si los empaques no cumplen con las especificaciones mínimas de resistencia, un nuevo diseño del empaque debe ser considerado.

c. Prueba de ruta para empaques. Las pruebas destructivas que se expusieron anteriormente buscan simular eventos reales que suceden durante el proceso de distribución del producto. Estas pruebas se utilizan para obtener datos cuantificables de atributos claves que luego son utilizados para tomar decisiones. La prueba de ruta es la

prueba de calidad más crítica utilizada en la empresa ya que se evalúa al producto en las condiciones reales.

Una prueba de ruta expone al producto de prueba a las condiciones diarias de distribución a las que estará expuesto al ser aprobado el nuevo empaque.

La prueba de ruta busca confirmar que el sistema de embalaje usado por la empresa, proteja al producto para que este llegue al consumidor de una forma íntegra y con la calidad que sale de la planta de producción.

Se debe realizar una prueba de ruta en cualquiera de los siguientes casos:

- Desarrollo de un producto nuevo.
- Cualquier cambio en el material de empaque. Tanto primario como secundario.

La prueba de ruta está diseñada para representar las diferentes condiciones adversas a las que un pallet es sujeto al momento de pasar por el proceso de distribución. A continuación se presenta una lista de los distintos fenómenos que afectan a un pallet, una caja o inclusive una unidad de producto durante su distribución:

- Vibración.
- Abrasión.
- Deformación.
- Shock mecánico.
- Temperaturas extremas y/o variadas.
- Humedad relativa extrema y/o variada.
- Agentes microbiológicos.
- Manejo normal del pallet.

La prueba de ruta debe hacerse para todo producto nuevo o que contenga cambios mayores en su estructura y/o componentes de empaque.

A continuación se presenta una descripción resumida de lo que es una prueba de ruta. Algunos puntos específicos serán omitidos para mantener la confidencialidad de la empresa.

La prueba de ruta consiste en enviar una tarima de prueba y una tarima testigo, en caso existiera una versión anterior del producto a evaluar, a un destino preestablecido con el propósito de determinar los daños que sufre el producto de la tarima de prueba en todo el flujo de distribución. Cada prueba de ruta es diferente a la anterior ya que siempre son diferentes las características a evaluar en cada una de estas pruebas.

Una prueba de ruta es sumamente difícil de ejecutar, ya que involucra a muchas áreas funcionales de la empresa.

Para simplificar se detallará un procedimiento resumido de la prueba, siempre obviando los por menores de la prueba por motivos de confidencialidad.

- Se determina la necesidad de una Prueba de Ruta, en el caso de este trabajo, la necesidad radica en la validar una nueva forma de empaque para un ya producto existente.
- Luego se selecciona un destino que se considera altamente crítico para el producto que se está evaluando.
- Una vez se selecciona el destino, es necesario contactar a todas las personas que serán involucradas en la prueba para obtener las aprobaciones y observaciones necesarias.
- Luego es necesario preparar las tarimas de prueba. En algunos casos es necesario contactar a proveedores para que construyan muestras de los empaques de prueba.

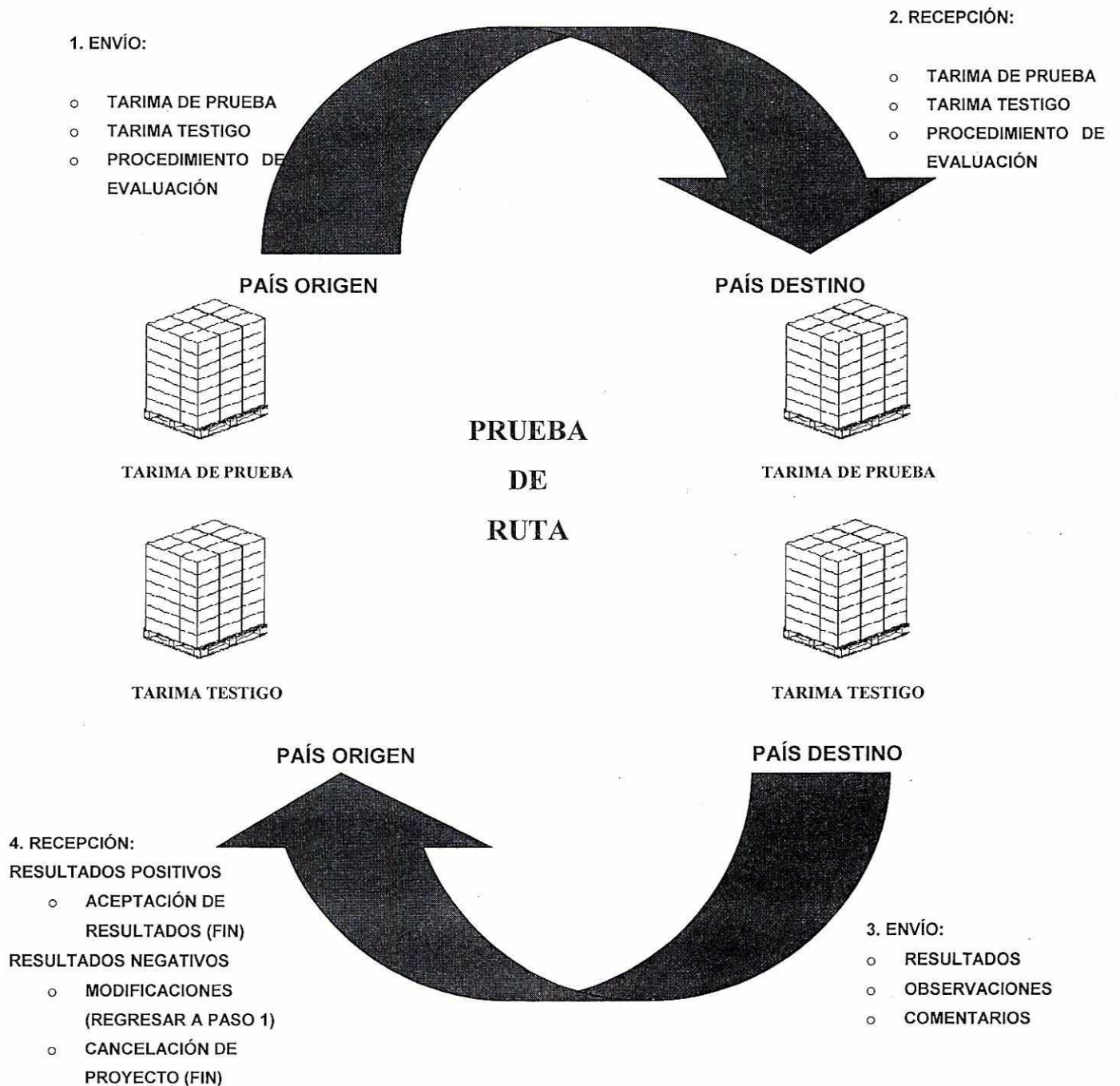
- Tanto las tarimas de prueba como las tarimas testigo deben ser preparadas de acuerdo a las especificaciones establecidas por el departamento técnico y de la misma manera en que saldrían del piso de producción.
- Dichas tarimas deben ser debidamente identificadas como partes de una prueba para evitar confusiones en los centros de distribución que evaluarán la prueba.
- Una vez estén preparadas las tarimas de prueba y testigo se debe coordinar la fecha de ejecución de la prueba con el encargado del transporte.

**Nota: Para mantener la validez de la prueba es necesario indicar que las tarimas de prueba se les de el mismo tratamiento que a cualquier otra tarima.*

- Una vez se determine la fecha de salida de la prueba se debe coordinar con el país destino la fecha aproximada en que arribara la prueba para que estén pendientes de la evaluación.
- El país de origen debe enviar el procedimiento de muestreo y procedimiento de evaluación específico de la prueba al país destino. El procedimiento de evaluación depende del producto que se este evaluando.
- Una vez el país destino recibe las tarimas de prueba, es necesario que sean evaluadas lo antes posible para eliminar daños que se puedan generar en el almacenamiento.
- El país destino evalúa las tarimas de prueba y retorna al país de origen los resultados de la prueba. Estos resultados pueden incluir fotos, comentarios, sugerencias y al final ofrecer una mejor perspectiva de la validez del empaque propuesto.
- En base a los resultados de la prueba de ruta se pueden tomar decisiones acerca de la validez de un proyecto de empaque antes de implementarlo. La prueba de ruta

ofrece una última oportunidad de realizar modificaciones a un proyecto antes implementarlo.

La prueba de ruta puede representarse gráficamente de la siguiente forma:



Gráfica #5: Prueba de ruta

5. Teoría de la máquina crítica. Muchas de las mejoras en la productividad de la línea debido a la introducción de la empaquetadora automática se pueden explicar desde el punto de vista de la teoría de la máquina crítica que a continuación se explica detalladamente. La teoría que a continuación se presenta está basada en un boletín informativo por Barry-Wehmiller Design Group, llamado. “Line Design Principles”.

a. Macroparos. Los macroparos son los paros grandes no planeados que sufre la línea de producción. Estos suelen ser infrecuentes y aleatorios y tardan desde unos pocos minutos hasta varias horas. Los macroparos pueden resultar de un desperfecto mecánico que requiera mantenimiento, algún factor externo como un apagón o falta de materia prima.

La relación de los macroparos con el diseño de la máquina es la siguiente:

- Los macroparos no pueden ser eliminados completamente con un buen diseño de línea.
- Los macroparos pueden ser causados por un mal diseño de línea.
- Un buen diseño de línea ayuda a prevenir problemas antes de que estos ocurran.

b. Microparos. Estos son paros pequeños no planeados que sufren la mayoría de líneas de producción durante su operación. Estos tienen una duración aproximada de entre 3 a 4 minutos.

Estos pueden tener su origen por alguna falta de sincronización en el proceso, alguna variación en la materia prima o algún error del operador de la línea. Ejemplo de un microparo sería el paro de la etiquetadora para ajustar el rollo de etiquetas. Resulta casi imposible eliminar los microparos de la línea de producción. Lo que sí se puede hacer es que estos microparos afecten de forma mínima la velocidad de salida. Esto se logra con un diseño adecuado de la línea de producción.

c. La máquina crítica. Un concepto importante para considerar en el buen diseño y balance de las líneas es “La máquina crítica”. Esta se define como la máquina con la cual se dimensiona todo el equipo que la línea posee. La máquina crítica definirá la velocidad final de toda la línea.

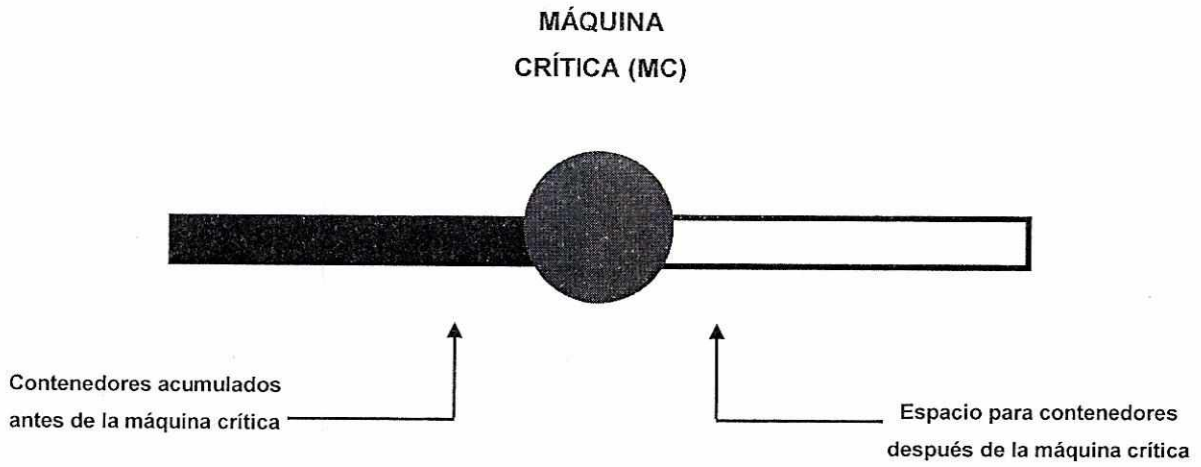
La máquina crítica se escoge de acuerdo a diferentes factores. Estos son:

- Consideraciones mecánicas.
- Cuestiones del proceso o de la calidad del producto
- Productividad y eficiencia.
- Limitaciones en la velocidad.



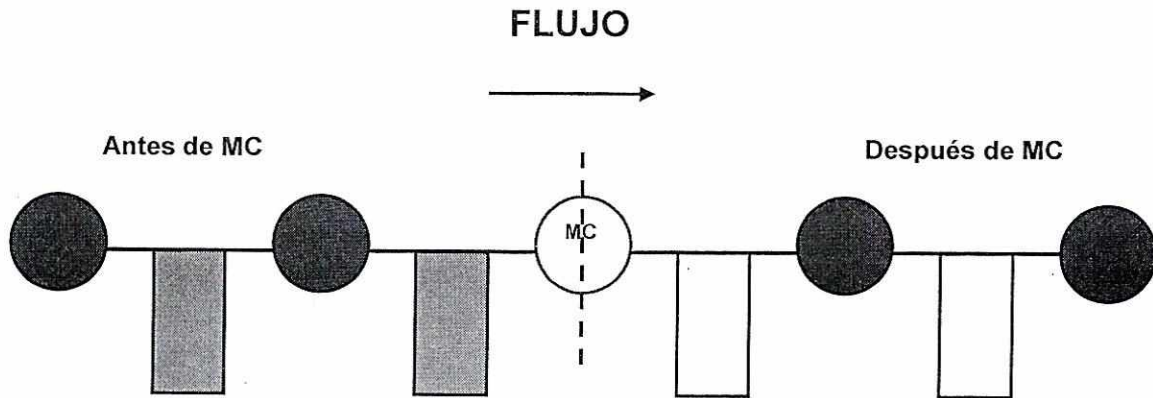
Gráfica #6: Máquina crítica

d. Principio de acumulación. Significa tener una reserva de contenedores antes de la máquina crítica y suficiente espacio para almacenar contenedores después de la máquina crítica. Los diseñadores de línea logran obtener acumulación ya sea con el uso de mesas de acumulación antes de la máquina crítica (acumulación estática) o bandas de transporte más largas (acumulación dinámica).



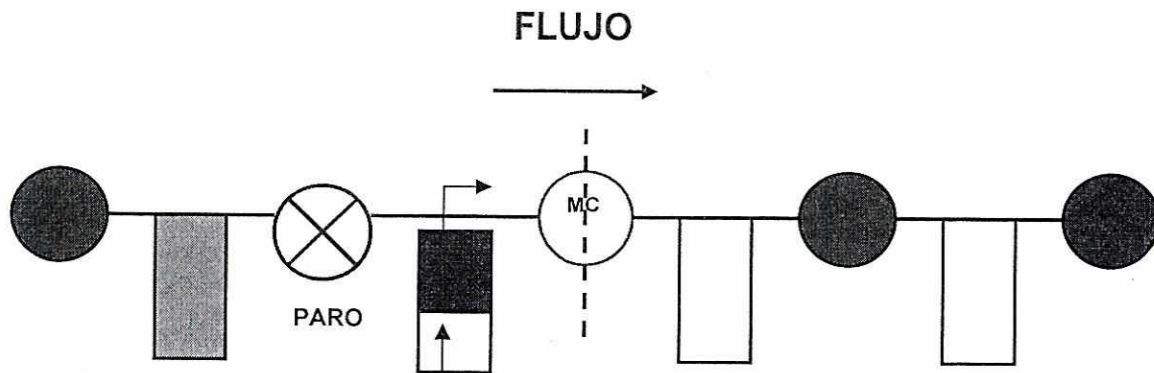
Gráfica #7: Acumulación en sistema de máquina crítica

1) Acumulación estática



Gráfica #8: Acumulación antes de máquina crítica

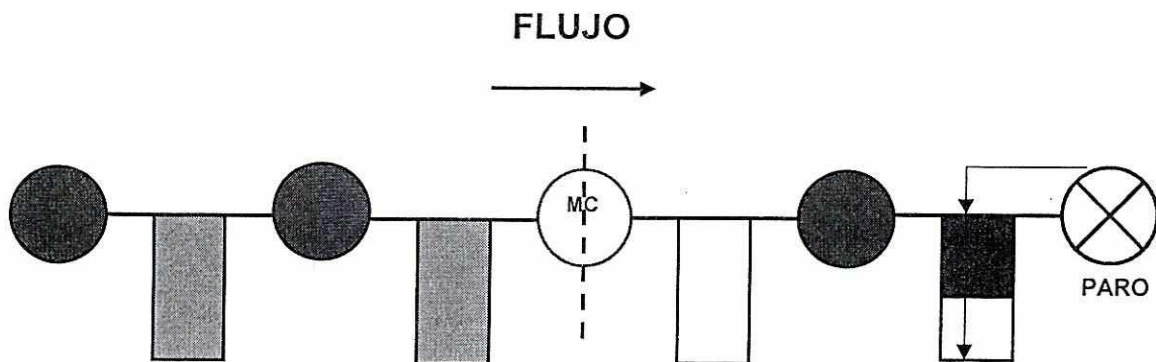
Si falla una máquina antes de la máquina crítica:



Gráfica #9: Fallo en máquina antes de máquina crítica

Si una máquina para antes de la máquina crítica, la máquina crítica continua operando usando la acumulación de contenedores en la banda de acumulación de la entrada.

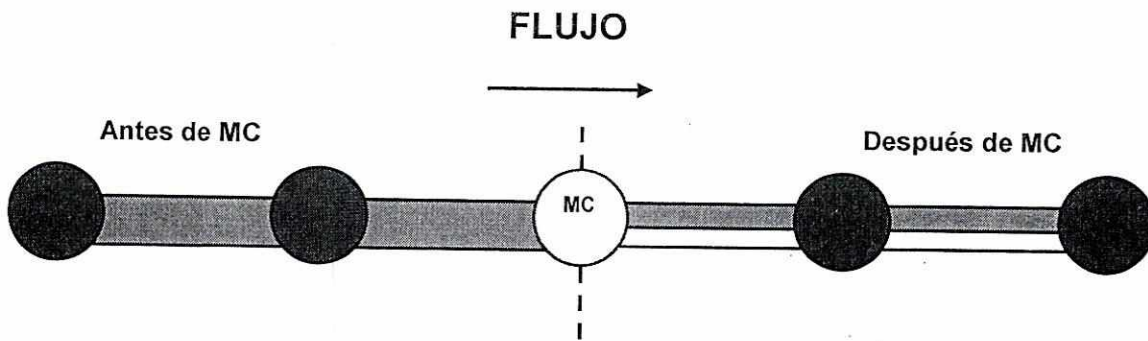
Si falla una máquina después de la máquina crítica:



Gráfica #10: Fallo en máquina después de máquina crítica

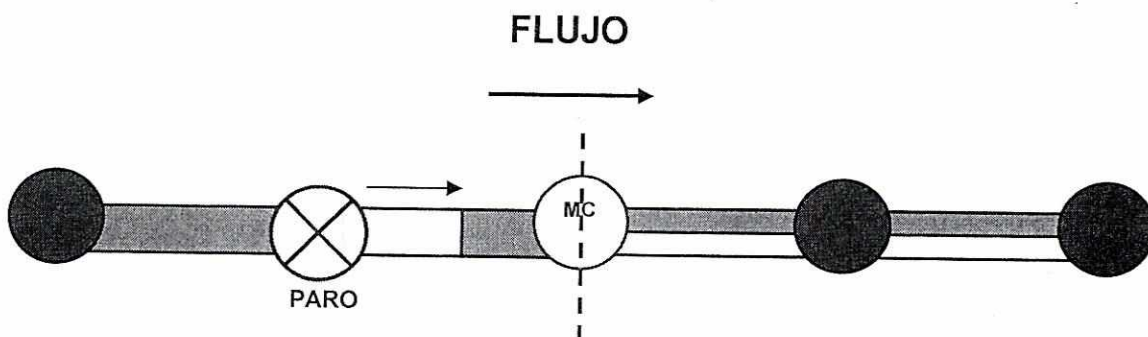
Si una máquina para después de la máquina crítica, la máquina crítica continúa operando usando el espacio de acumulación disponible.

2) **Acumulación dinámica.** En general, las bandas transportadoras entre cada máquina logran la acumulación dinámica. La densidad de contenedores antes o después de la máquina crítica determina la cantidad de acumulación. La velocidad y ancho de las bandas transportadoras determinan el flujo de contenedores entre cada máquina. En la práctica se busca que las bandas transportadoras estén totalmente llenas antes de la máquina crítica y 50% llenas después de la máquina crítica.



Gráfica #11: Acumulación dinámica

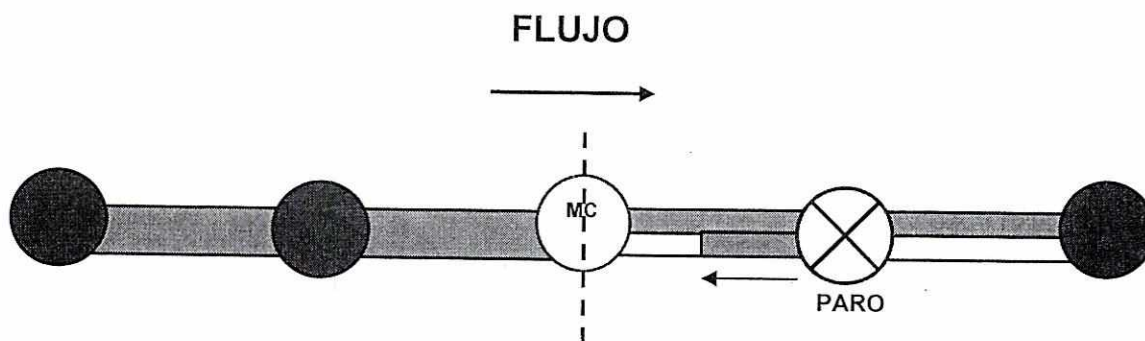
Si falla una máquina antes de la máquina crítica:



Gráfica #12: Fallo en máquina antes de máquina crítica

El que una máquina pare antes de la máquina crítica quiere decir que la banda transportadora antes de la máquina se está vaciando. Cuando la máquina parada se arranque de nuevo, los contenedores deben alcanzar a los contenedores de la banda transportadora antes de llegar a la máquina crítica. La acumulación dinámica opera como una función entre la diferencia de velocidad del contenedor tomado por la máquina siguiente y la velocidad de las bandas transportadoras que llevan el contenedor a la máquina.

Si falla una máquina después de la máquina crítica:



Gráfica #13: Fallo en máquina después de máquina crítica

Si una máquina para después de la máquina crítica, es necesario mantener un poco de espacio para poder acumular contenedores que salen de la máquina crítica. Con la acumulación dinámica es recomendable mantener la densidad de contenedores a 50% en condiciones normales de operación. De esta forma se puede mantener la velocidad constante de acuerdo a la velocidad de la máquina crítica.

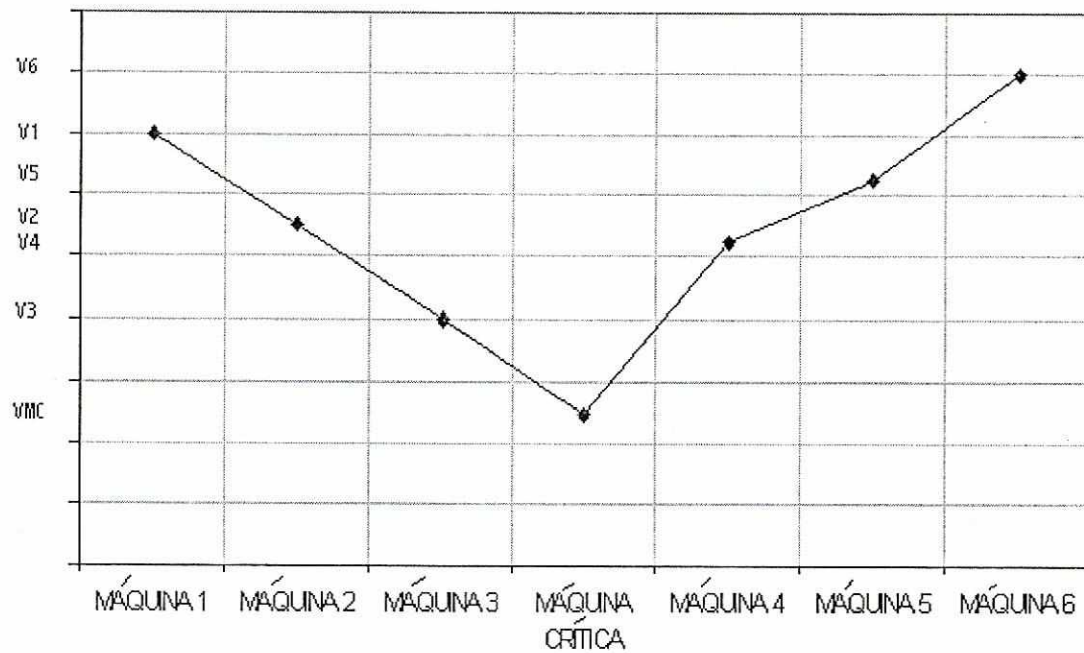
e. Principio de maximización de velocidad. La acumulación de contenedores es beneficiosa, únicamente si se tienen los medios para reestablecer el nivel normal de contenedores en cualquier sección de la línea después de cualquier paro en algunas de las máquinas no críticas.

Una vez se utilice la acumulación entre las máquinas (parcial o completamente), el sistema debe regresar a una situación normal de operación. Es decir, regenerar el nivel normal de acumulación lo más rápido posible. Si todas las máquinas funcionaran a una misma velocidad, sería imposible volver a generar la acumulación. De esta forma la máquina que sufrió el paro debe ser capaz de correr a una velocidad mayor que la máquina crítica para volver a generar acumulación en la línea.

El principio de maximización de la velocidad aplica tanto para las máquinas que se encuentran antes de la máquina crítica como las que se encuentran después de la misma.

f. La gráfica “V”. La gráfica “V” es una regla que ayuda a balancear eficazmente una línea de producción de acuerdo a los principios de la máquina crítica. Esta gráfica está edificada de acuerdo a un principio básico, este principio dice: <<Entre más lejos se está de la máquina crítica mayor tiene que ser la velocidad de cada máquina>>. Esto para lograr satisfacer los principios de acumulación vistos anteriormente.

A continuación se muestra un ejemplo de una línea de producción que está balanceada de acuerdo a la gráfica “V”:



Gráfica #14: Ejemplo de gráfica "V"

Para que la gráfica "V" se cumpla es necesario que las siguientes igualdades sean ciertas:

$$V1 > V2 > V3 > VMC$$

$$V6 > V5 > V4 > VMV$$

IV. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

A. Evaluación de situación actual

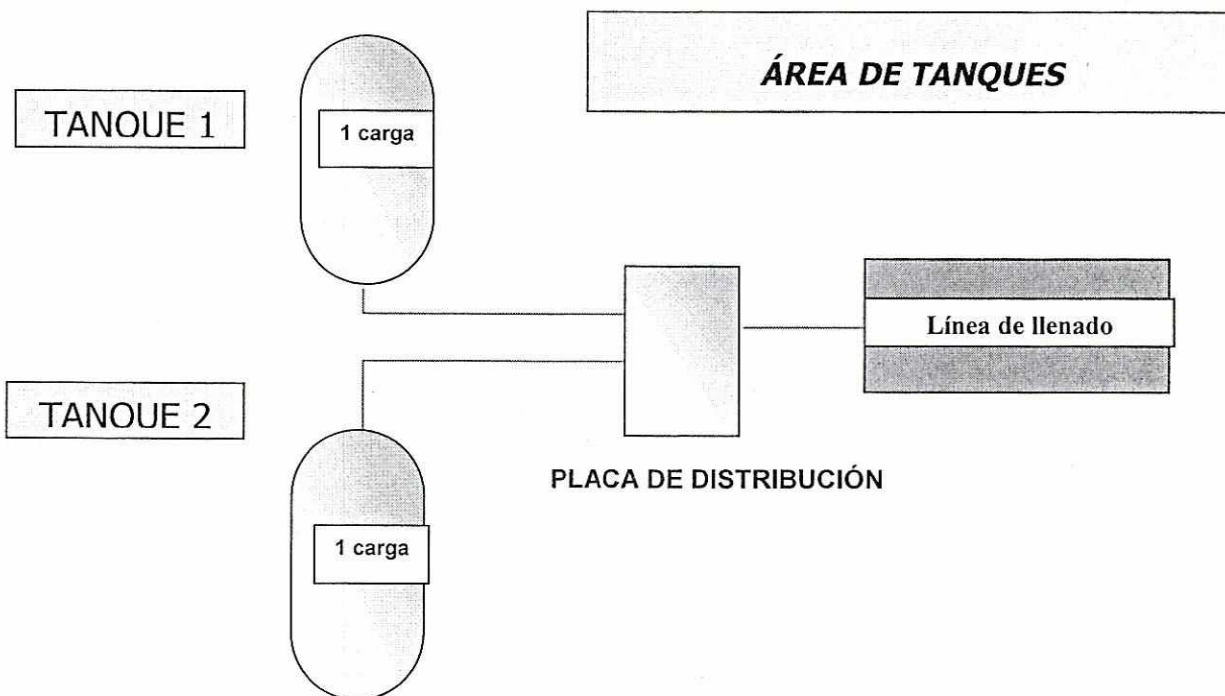
A continuación se presenta una breve descripción de cómo es la configuración actual de la línea de llenado que se analizara en este estudio. Algunos equipos que la línea posee han sido omitidos y/o modificados con el propósito de mantener cierto grado de confidencialidad que la empresa requiere.

La línea completa está subdividida en cinco etapas: Área de tanques, área de llenado, área de etiquetado, área de empaque y área de entarimado. Cada uno de los procesos anteriores están completamente en línea.

1. Área de tanques. El área de tanques es el punto de partida de todo el proceso. En esta área se realizan las cargas(mezclas) de producto que luego son enviadas a la línea de llenado por medio de un sistema de tuberías y bombas.

Esta área cuenta con dos mezcladores donde un operador, siguiendo rigurosos Procedimientos de Operación Estándar(SOP), realiza la mezcla de las materias primas. Una vez el producto mezclado cumple, tanto con las normativas de formulación y las normativas microbiológicas este es trasegado por medio de tuberías de acero inoxidable hacia la línea de llenado. La alimentación de la línea se da automáticamente por medio de sensores de nivel a medida que ésta lo requiera según la velocidad de llenado.

Tener dos tanques mezcladores ayuda a que la línea tenga menos paros por falta de líquido ya que mientras la carga del primer tanque esta siendo consumida es posible preparar simultáneamente una segunda carga en el otro tanque. Tener dos tanques también ayuda al momento de realizar cambios de aroma y/o producto, eliminando tiempos muertos. El cambio de un tanque a otro se controla por una placa de distribución que maneja el operador de turno. Al usarse correctamente los tanques tienen el doble de capacidad para que a la línea nunca le falte producto y para futuras expansiones.

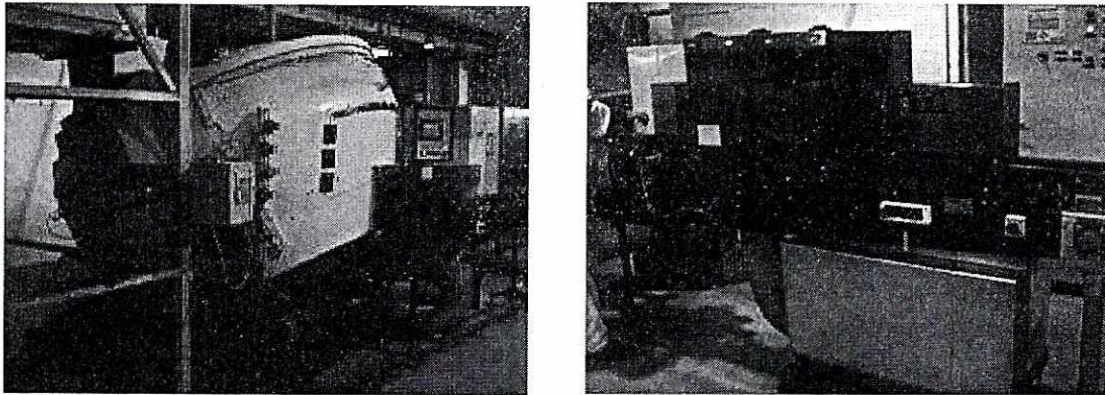


Gráfica #15: Área de tanques

2. Área de llenado. La función del área de llenado es llenar botellas de PET vacías con el producto que está contenido en alguno de los tanques. En esta misma etapa las botellas son tapadas.

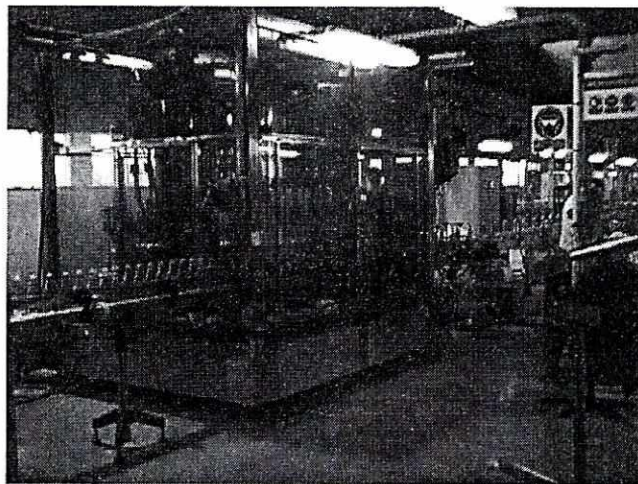
El área de llenado necesita de la alimentación de tres materiales, además del limpiador líquido de los tanques, para llevar a cabo todos los procesos del área. Estos materiales son: botellas de PET, tapas de plástico y etiquetas autoadhesivas.

Las botellas vacías son alimentadas por medio de un posicionador automático de botellas hacia la línea de llenado. La capacidad del posicionador es de 200 botellas por minuto.



Fotografía #3: Posicionador de botellas

Una vez las botellas estén posicionadas de forma adecuada sobre las bandas transportadoras están son llevadas hacia la llenadora que cuenta con 24 boquillas de llenado. En la llenadora se dosifica la cantidad de producto líquido en cada botella de acuerdo a los parámetros establecidos previamente.



Fotografía #4: Llenadora

A continuación se presentan las velocidades de llenado de los productos que se llenan actualmente en la línea:

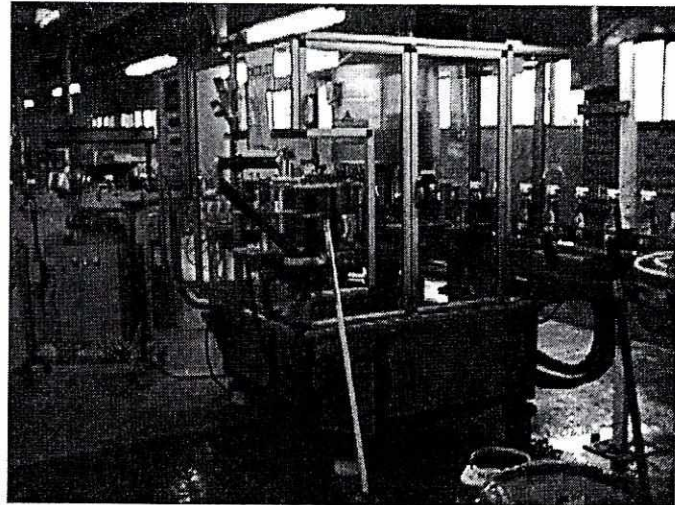
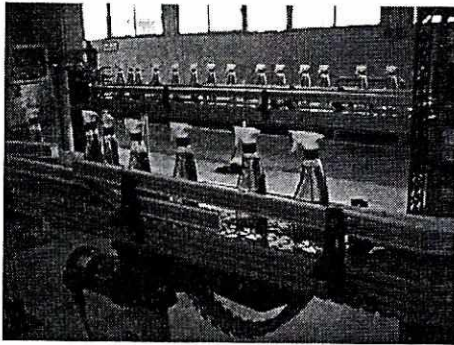
Tamaño	Velocidad de llenado
SKU 1 (Presentación Popular)	160 botellas por minuto
SKU 2 (Presentación Mediana)	160 botellas por minuto
SKU 3 (Presentación Mediana Producto 2)	160 botellas por minuto

Cuadro #1: Velocidad total de línea de llenado por SKU

Luego de que las botellas ya fueron llenadas se procede a colocarle la tapa a cada una de las botellas. Las tapas son colocadas por medio de una taponadora automática. Dicha taponadora coloca las tapas y aplica la cantidad de torque necesaria para que las botellas queden bien selladas y sin posibilidades de fuga. La máquina tiene capacidad para tapar 175 botellas por minuto.

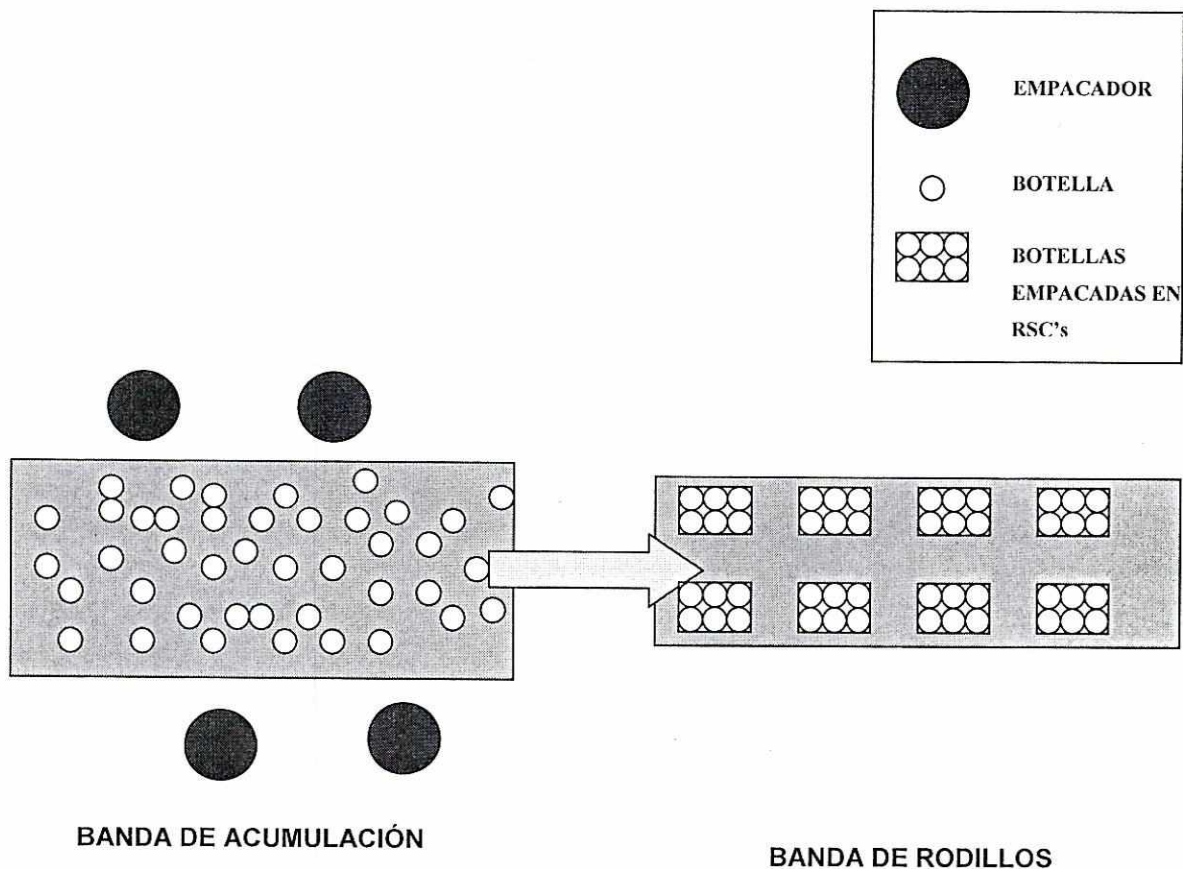
Tanto el posicionador de botellas como la taponadora son alimentados por un operador de la línea cada hora en el caso de las botellas y cada 2 horas en el caso de las tapas.

3. Área de etiquetado. Una vez las botellas estén llenas y bien tapadas se procede a la sección de etiquetado. En esta sección se le coloca la etiqueta y contraetiqueta a cada una de las botellas. Las etiquetas y contraetiquetas se alimentan a la línea por medio rollos. Estas poseen un pegamento sensible a la presión que hace que se adhieran a la superficie de las botellas a medida que estas pasan a través de la máquina. La capacidad de etiquetado es de 185 botellas por minuto.



Fotografía #5 y #6: Flujo del producto y etiquetadora

4. Área de empaque. El área de empaque es la etapa de mayor interés en lo que concierne a este estudio. Como se pudo ver anteriormente, la mayoría de las etapas previas al área de empaque son automatizadas o semi-automatizadas. Es decir la intervención humana es nula o relativamente baja. Todo lo contrario es cierto para el área de empaque. En esta área se cuenta con cuatro empacadores al final de una banda de acumulación de botellas. Los empacadores son los responsables de armar cajas de cartón corrugado, colocar un cierto número de botellas(según la unidad de empaque del producto) dentro de la caja, sellarla y luego enviarla al área de entarimado por medio de una banda de rodillos (Ver gráfica #16). La capacidad de empaque es variable debido a que el proceso es manual. Se trata de mantener a 160 botellas por minuto que es la velocidad de llenado.

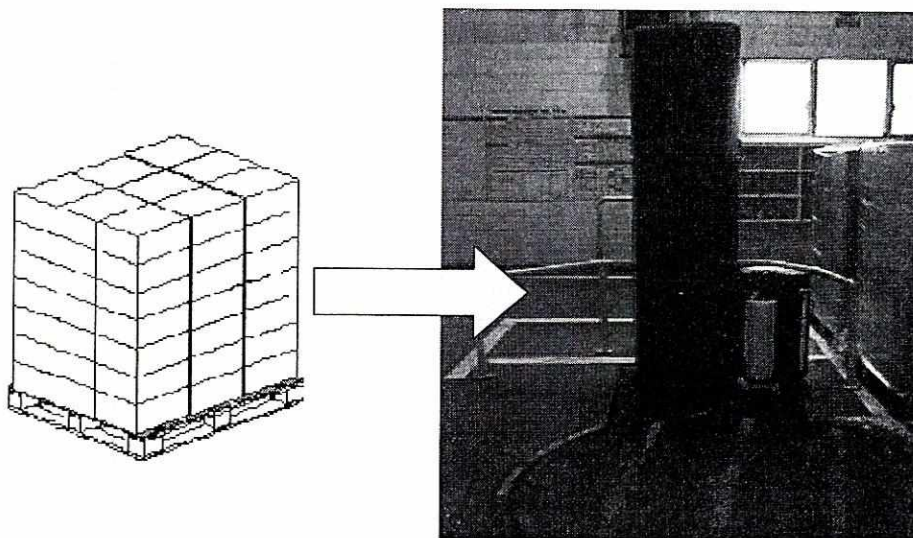


Gráfica #16: Área de empaque

5. Área de entarimado/paletización. El proceso de entarimar/paletizar consiste en juntar una cierta cantidad de cajas de producto terminado y formar una unidad cúbica de producto sobre una tarima o pallet, esto con el propósito de transportar y almacenar el producto de una manera más eficiente.

El proceso consiste en ir formando las capas de la estructura cúbica a medida de que vayan saliendo cajas de la línea. La disposición de las cajas dentro de la estructura cúbica es predeterminedada por un patrón de paletizado que esta impreso en cada caja de cartón corrugado. Una vez el pallet o tarima esté armado éste se envuelve con stretch film para unitizar la carga, es decir hacer que la estructura cúbica se comporte como una unidad de empaque transportable al cliente.

Esta área tiene capacidad para empacar polines con una velocidad equivalente de hasta 500 botellas por minuto.



Gráfica #17: Área de entarimado

Fotografía #7: Máquina aplicadora de stretch film

6. Limitaciones actuales y soluciones para las mismas al introducir empaquetadora automática. Se cree que los mayores beneficios monetarios al introducir la empaquetadora automática de botellas a la línea serán por el ahorro generado en material de empaque. Esto se pretende demostrar más adelante en un estudio económico detallado de todas las variables monetarias. Sin embargo vale la pena explorar las mejoras en productividad que generara la introducción de la empaquetadora en la línea.

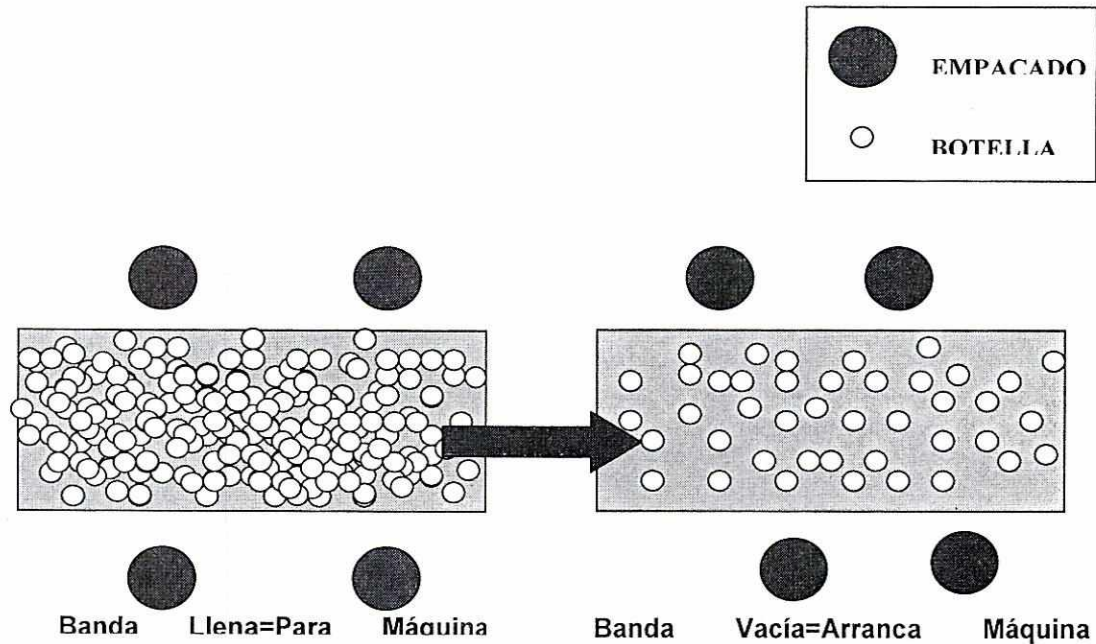
Actualmente todos los procesos de la línea de llenado se encuentran bastante automatizados. Como toda línea de producción, esta presenta microparos durante su ciclo de producción. La mayoría de estos microparos son controlables y normales en cualquier operación industrial. Todas las áreas funcionales de la línea tienen sus problemas de

microparos y rara vez ocurre un macroparo. A pesar de que la línea sufre de microparos estos son despreciables en comparación con el problema del área de empaque.

El diseño de la línea es bastante bueno y elimina muchos de los microparos que la línea tiene durante el tiempo de producción. Las dos limitaciones más importantes de la línea ocurren cuando alguna de las máquinas falla o cuando la gente de área de empaque no está empacando a la velocidad adecuada.

Los fallos de la máquina son aleatorios, eventuales y puntuales, además son controlados con mantenimientos preventivos ejecutados en su totalidad por el departamento de mantenimiento. Es por este motivo que se dedicara tiempo en la discusión para tratar únicamente el tema del área de empaque.

Lo que ocurre con el área de empaque es que varias veces durante el transcurso del turno de trabajo la mesa de acumulación es llenada en su totalidad y los empacadores no son capaces de empacar todas las botellas en las cajas. Entonces al estar llena la banda de acumulación se activan una serie de dispositivos electrónicos que le indican a la máquina de llenado que debe parar. La máquina de llenado para y se arranca de nuevo cuando el operador considere que hay suficiente espacio en la banda de acumulación. La gráfica 18 muestra dicho evento:



Gráfica #18: Problema del área de llenado

Desde el punto de vista de productividad se está perdiendo una gran cantidad de producción cada vez que la máquina para, 160 botellas por cada minuto que la máquina este parada. Se pueden hacer varias suposiciones de porque dichos paros ocurren.

La primera suposición es que los empacadores se cansen demasiado al realizar la tarea de empaque y necesiten más descansos de los que actualmente reciben. Si esto fuera cierto y se les diera más descanso a los empacadores, de igual forma se tendría que parar la llenadora en algún momento y esto ocasionaría las mismas pérdidas de eficiencia en la línea.

Una segunda suposición es que en realidad sea necesario un quinto elemento en la línea. Este elemento ayudaría a que la máquina llenadora nunca pare. Esto seguramente resolvería el problema, pero puede ser que no sea la solución más adecuada al problema y simplemente se este aumentando el costo de producción.

Otra suposición es que los empaques, buscando disminuir su esfuerzo diario, busquen manipular la situación y reduzcan su velocidad de empaque para descansar más o justificar un quinto elemento.

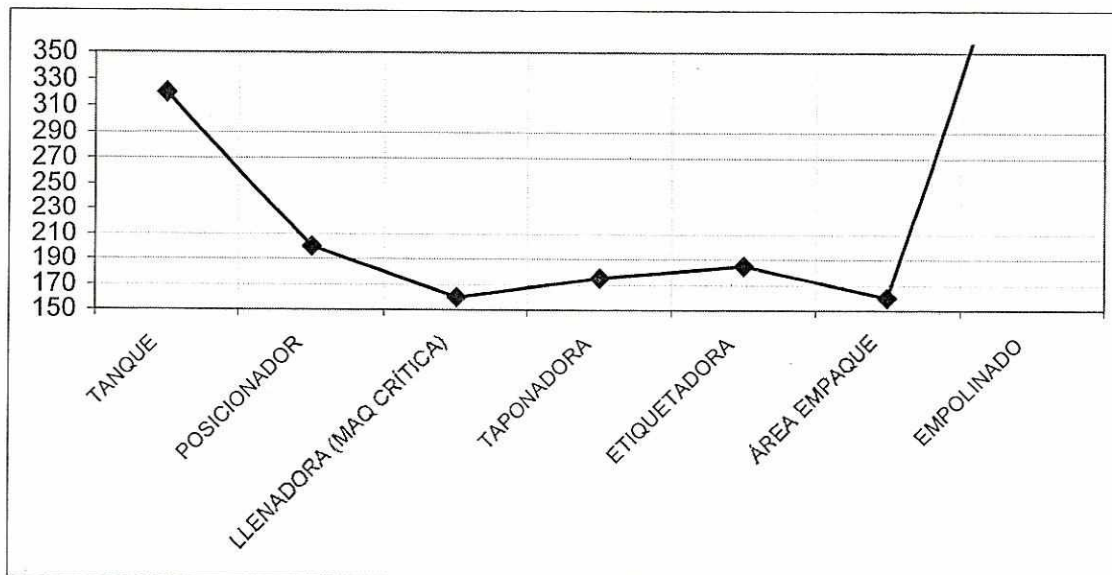
Todas estas suposiciones son válidas y cada una necesitaría de un estudio individual para buscar la mejor forma de resolver el problema. Sería necesario realizar de nuevo los estudios de tiempos y de ergonomía para poder tomar las decisiones pertinentes para resolver el problema del área de empaque. Sin embargo la mejor solución radica en balancear la línea de acuerdo al principio de la máquina crítica y esto se logrará al introducir una empaquetadora de botellas que satisfaga las necesidades requeridas por la línea.

En el caso de la línea se ha establecido que la máquina crítica es la llenadora. Esto debido a las limitaciones que ésta tiene en cuanto a velocidad. Por ende la llenadora es la que establece la velocidad de producción de toda la línea. Ya que la velocidad de llenado es de 160 botellas por minuto la velocidad total de la línea debe ser la misma. Debido a que la velocidad de la línea está limitada a la velocidad de la máquina crítica, es de suma importancia para la productividad de la línea que los paros en la máquina crítica sean mínimos durante el ciclo de producción. Esto se logrará con un estricto plan de mantenimiento preventivo que será diseñado por el departamento de mantenimiento de la empresa.

Para entender mejor la situación actual de la línea y cómo esta balanceada primero hay que explorar la configuración de velocidades que tiene la línea.

No.	EQUIPO	CAPACIDAD
1	Tanques	320 botellas por minuto
2	Posicionador	200 botellas por minuto
3	Llenadora (máquina crítica)	160 botellas por minuto
4	Taponadora	175 botellas por minuto
5	Etiquetadora	185 botellas por minuto
6	Área de empaque	160 botellas por minuto
7	Entarimado	500 botellas por minuto

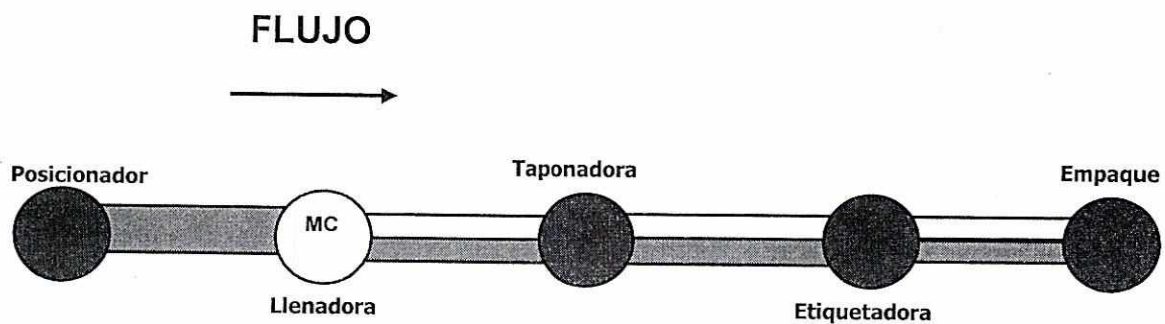
Cuadro #2: Velocidades actuales de línea de llenado por área



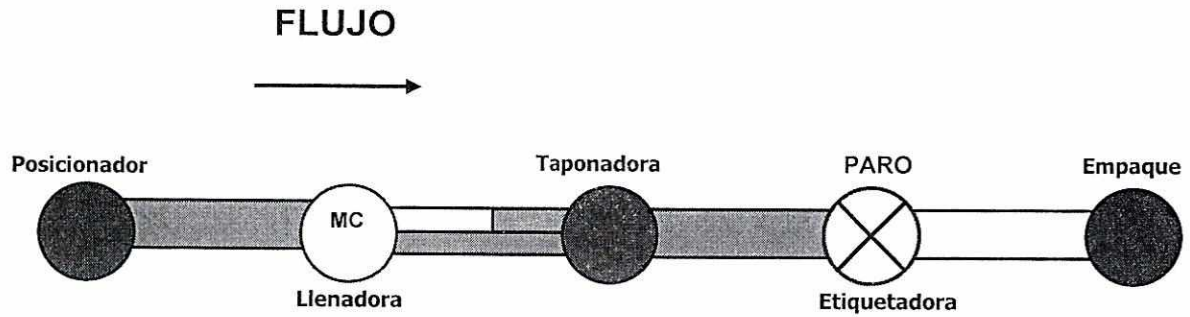
Gráfica #19: Gráfica "V" situación actual

Al seguir los principios de la máquina crítica y al observar la gráfica "V", la cual se deriva del mismo principio, podemos ver claramente que el problema radica en el área de empaque. El principio de la gráfica "V" es respetado por todas las demás máquinas de la línea a excepción del área de empaque.

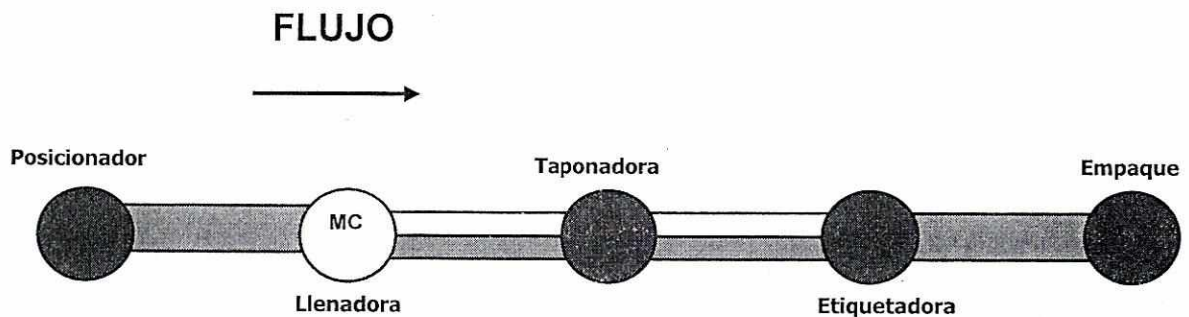
El problema del área de empaque se puede entender mejor con el siguiente ejemplo: Imaginémonos que la etiquetadora parara, la llenadora seguiría trabajando usando el espacio de acumulación entre la etiquetadora y la taponadora y la taponadora y la máquina de llenado. Una vez arranque de nuevo la etiquetadora deberá trabajar con una velocidad mayor para poder regresar a la línea a su estado normal de operación. Es decir, usar el principio de maximización de la velocidad para regresar al estado normal de operación. De no regresar a su estado normal de operación cualquier otro paro no podría ser absorbido por la acumulación de la línea. El problema de la línea de llenado radica en que se le hace imposible regresar a su estado normal de operación. Si la etiquetadora se colocara a su velocidad máxima llegaría un momento en que la acumulación estática del área de empaque llegaría a su máximo (Ver gráfica #19) entonces la máquina de llenado tendría que parar. Al hacer esto se está rompiendo el principio de la máquina crítica y se está perdiendo productividad en la línea. Por esta razón es necesario que la velocidad el área de empaque sea mayor que la de la etiquetadora y menor que el área de entarimado. Las figuras siguientes describen lo explicado anteriormente:



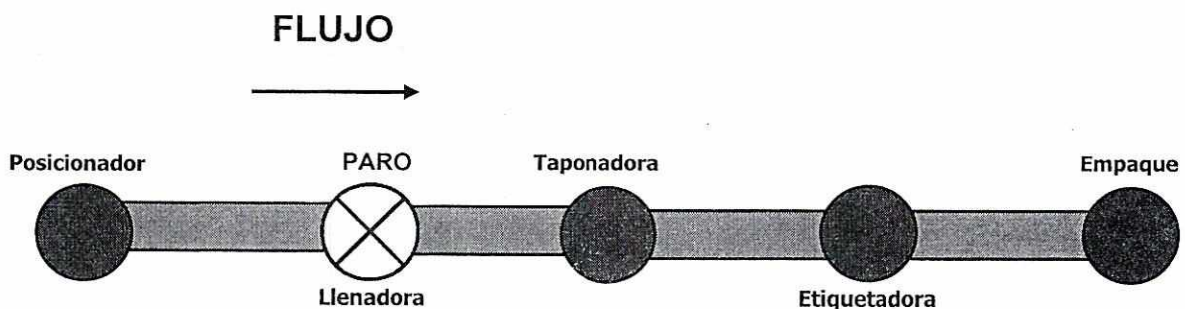
Gráfica #20: Línea en condiciones normales de llenado.



Gráfica #21: Etiketadora parada bandas de acumulación entre etiquetadora y llenadora llenándose, banda de empaque vacía



Gráfica #22: Taponadora y etiquetadora a mayor velocidad para alcanzar condición normal, banda de acumulación de área de empaque llenándose.



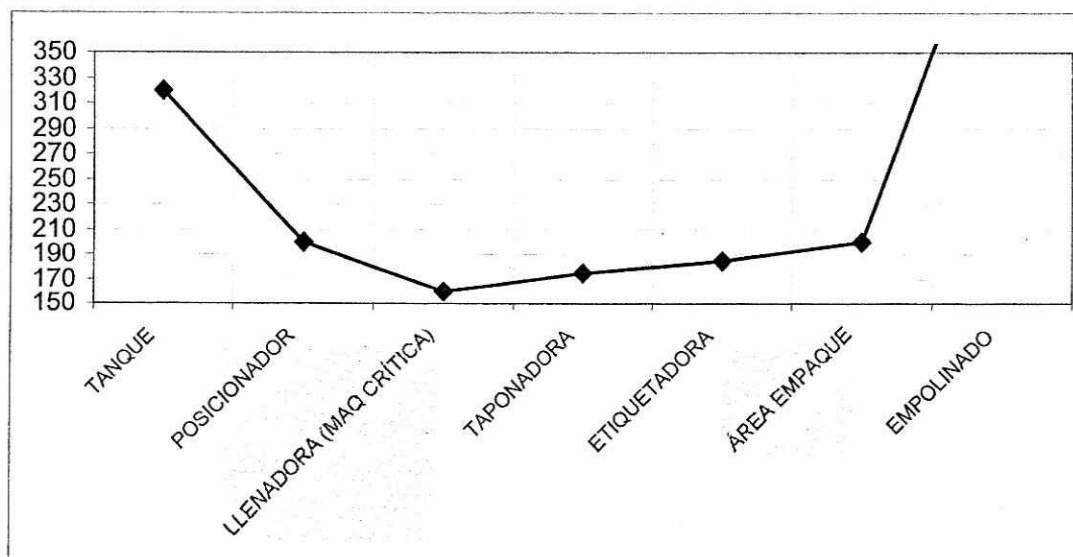
Gráfica #23 Máquina de llenado para debido a acumulación excesiva de producto, se vuelve a arrancar cuando haya suficiente espacio en las bandas de acumulación.

Por las razones explicadas anteriormente se cree que la solución para el área de empaque en cuanto a la productividad de la línea radica en la compra de una máquina empaquetadora que tenga una velocidad que se adecue a la gráfica “V” de la línea de llenado.

Una configuración de velocidades aceptable para la línea sería la siguiente:

No.	EQUIPO	CAPACIDAD
1	Tanques	320 botellas por minuto
2	Posicionador	200 botellas por minuto
3	Llenadora (máquina crítica)	160 botellas por minuto
4	Taponadora	175 botellas por minuto
5	Etiquetadora	185 botellas por minuto
6	Área de empaque	200 botellas por minuto
7	Entarimado	500 botellas por minuto

Cuadro #3: Velocidades propuestas de línea de llenado por área

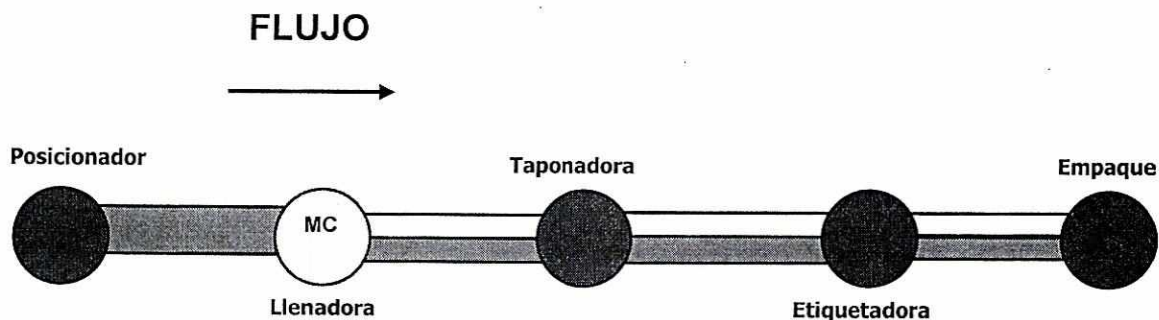


Gráfica #24 Gráfica “V” situación propuesta

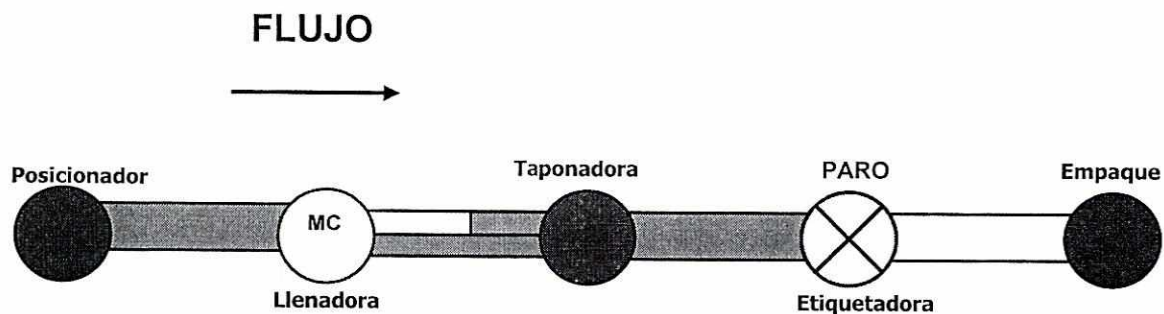
Al aumentar la velocidad del área de empaque a, por lo menos, 200 botellas por minuto al introducir una empaquetadora automática de botellas se está respetando los principios de la gráfica “V” explicados anteriormente.

Al tener la capacidad para aumentar la velocidad en cualquiera de las máquinas no críticas. Se está garantizando la operación de la máquina de acuerdo al principio de la máquina crítica.

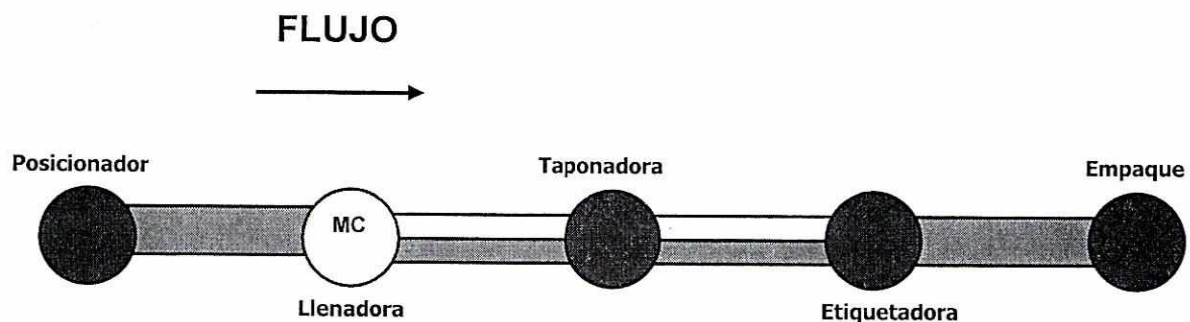
Para entender mejor cómo se resuelve el problema del área de empaque al estar alineados al principio de la gráfica “V” se tomará de nuevo el ejemplo en el cual la etiquetadora para. Imaginemos de nuevo que la etiquetadora para, la llenadora seguiría trabajando usando el espacio de acumulación entre la etiquetadora y la taponadora y la taponadora y la máquina de llenado. Las botellas acumuladas para la máquina empaquetadora se están consumiendo. Una vez arranque de nuevo la etiquetadora deberá trabajar con una velocidad mayor para poder regresar a la línea a su estado normal de operación. Es decir, usar el principio de maximización de la velocidad para regresar al estado normal de operación. La velocidad de la empaquetadora, etiquetadora y taponadora se modifican de acuerdo a lo que este pasando en la línea hasta llegar de nuevo al nivel de acumulación normal. La única máquina con la velocidad siempre constante es la máquina crítica. Las figuras siguientes describen lo explicado anteriormente:



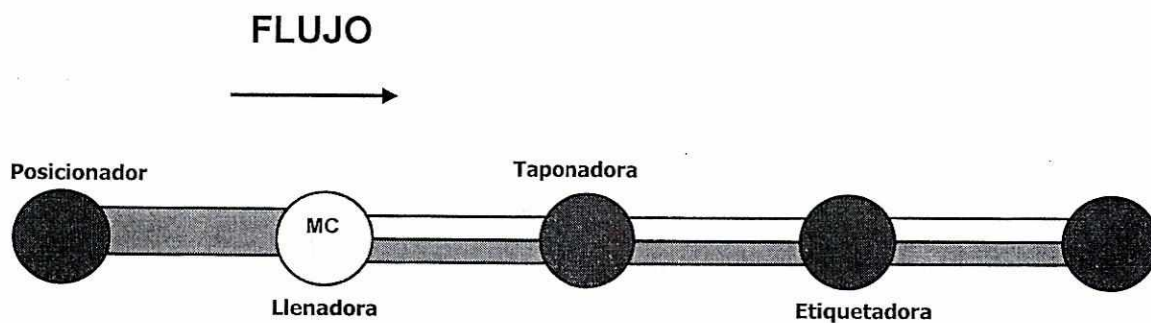
Gráfica #25 Línea en condiciones normales de llenado.



Gráfica #26 Etiquetaadora parada, bandas de acumulación entre etiquetaadora y llenadora llenándose, banda de empaque vacía o en camino a vaciarse



Gráfica #27: Taponadora y etiquetaadora a mayor velocidad para alcanzar condición normal, banda de acumulación de área de empaque llenándose.



Gráfica #28: Máquina empaquetadora aumenta velocidad y se logra normalizar el proceso

Como pudimos ver anteriormente, al introducir la máquina empaquetadora, se logra cumplir con el principio de la máquina crítica, logrando una velocidad estable para toda la línea en la mayor parte del tiempo de producción.

Mucho se puede hablar de los beneficios en productividad que la introducción de la empaquetadora puede ofrecer, como una velocidad de producción más estable, microparos menos frecuentes y posiblemente mayor calidad en el producto final. Pero al final del día la pregunta que se debe responder, es la siguiente: ¿Es justificable, desde el un punto de vista económico, una inversión sustancial de dinero en una empaquetadora automática, únicamente para balancear adecuadamente una línea de producción? Lo interesante es que toda mejora a la línea de producción indudablemente generara algún tipo de beneficio económico. La diferencia entre la ejecución de un proyecto u otro depende de cual proyecto generara mayores beneficios tanto en el área económica como en productividad para la empresa. Siempre debe existir algún beneficio monetario en todos los proyectos planteados para que estos se hagan realidad. Y en este caso se cree que el mayor beneficio monetario se dará en ahorros en material de empaque que generara el cambio de RSC's a bandejas y/o cajas wraparound.

Las siguientes secciones del trabajo se dedican a la búsqueda de la máquina empaquetadora que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa y a justificar el proyecto desde el punto de vista económico y de calidad.

B. Búsqueda de maquinaria adecuada

Al realizar la búsqueda de la máquina empaquetadora más adecuada para la línea de llenado es necesario formular las necesidades básicas que una empaquetadora debe satisfacer para poder ser considerada.

1. Necesidades de la línea

a. Versatilidad. Que la empaquetadora tenga la capacidad de empaclar ya sea en bandeja o caja wraparound. Esto debido a que el proyecto es de alto riesgo en cuanto a la calidad final del producto. Es decir, si empaclar en bandeja no funcionara para algunos de los tamaños se desearía tener la opción de empaclar el producto en cajas wraparound.

Tanto el uso de cajas wraparound como el de bandejas representan ahorros en material de empaque. La diferencia radica en que el ahorro al usar bandejas es más sustancial debido a que se está comprando menos cartón corrugado.

b. Capacidad. Se necesita una máquina empaquetadora que tenga una velocidad de empaque que se ajuste a los parámetros de la gráfica "V" que se maneja en la línea, es decir que tenga una velocidad mayor a la etiquetadora y menor que el área de entarimado. Es decir, que la empaquetadora se ajuste al área de llenado y que ésta no sea un cuello de botella al momento de producir.

c. Poco tiempo para realizar cambios de productos (changeovers). Es necesario que la empaquetadora requiera de poco tiempo para realizar los cambios de un producto a otro para evitar tiempos muertos en el ciclo de producción.

d. Proceso controlado y automatizado. Es necesario que la máquina escogida pueda generar resultados consistentes en cada corrida de producción. Es decir que el producto final entre cada corrida sea consistente.

Además se necesita que la empaquetadora no requiera de mucho personal para su operación. Se requiere que la empaquetadora sea totalmente automatizada. De lo contrario sería regresar a la situación actual del área de empaque.

e. Respaldo y capacitación técnica. También es necesario que la máquina tenga algún tipo de respaldo o representación en nuestro país. Esto es muy importante en el

momento de que sea necesario realizar, ya sea, mantenimiento correctivo y/o preventivo a la máquina.

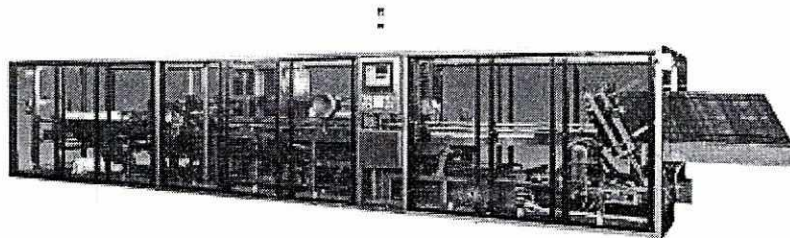
Además es necesario que la empresa suplidora ofrezca algún tipo de entrenamiento técnico al personal de mantenimiento de la empresa. Esto con el propósito de realizar la mayor cantidad del mantenimiento dentro de la misma empresa sin estar recurriendo a terceros por ayuda.

f. Retorno de Inversión. Se necesita que la inversión inicial sea recuperada en un termino máximo de cuatro años para que el proyecto sea justificable. De lo contrario el proyecto no puede llevarse a cabo por normativas de la empresa.

Debido a esto se necesita una máquina que se ajuste tanto a las necesidades técnicas como económicas. Se debe buscar un balance entre los costos y los beneficios que ofrece cada empaquetadora a evaluar.

2. Estudio comparativo entre diferentes opciones

a. Máquina A



Fotografía #8: Máquina A

1) Capacidad y versatilidad. La máquina A tiene capacidad para empaquetar en bandeja y en caja wraparound sin ningún problema. Las velocidades de empaque son las siguientes:

En bandeja:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por bandeja)	Velocidad de empaque (Bandejas por minuto)	Velocidad de empaque (Botellas por minuto)
SKU 1	48	11	528
SKU 2	24	11	264
SKU 3	24	11	264

Cuadro #4: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina A)

En caja tipo wraparound:

Tamaño	Unidad de Empaque (Botellas por caja)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)
SKU 1	48	11	528
SKU 2	24	11	264
SKU 3	24	11	264

Cuadro #5: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina A)

2) Poco tiempo para realizar cambios de productos (changeovers).

Para realizar cambios en la máquina es necesario tener herramientas adicionales y algunas piezas son demasiado grandes por lo que el operador necesitaría ayuda adicional para hacer el cambio entre productos. El tiempo de cambio de un producto a otro es de aproximadamente 40 minutos. Por el tiempo largo en los cambios, parece que esta máquina está diseñada para corridas largas y sin cambios.

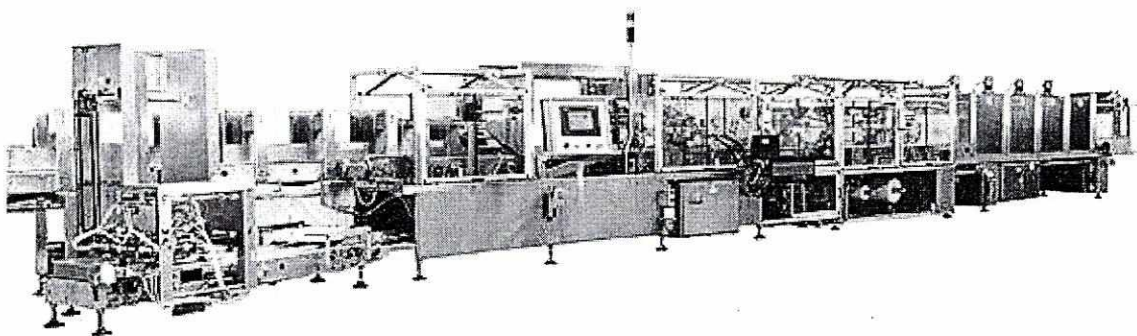
Tamaño	Tiempo de cambios entre productos(min)	Numero de cambios promedio por día	Tiempo perdido por día (minutos)
SKU 1	40	4	160
SKU 2	40	4	160
SKU 3	40	4	160

Cuadro #6: Tiempo de changeovers. (Máquina A)

3) **Proceso controlado y automatizado.** No necesita supervisión adicional al operador de la línea. Únicamente se necesita de alimentación eventual de planchas para formar las bandejas o cajas, film para envolver las bandejas y pegamento para pegar las bandejas y/o cajas wraparound.

4) **Respaldo y capacitación técnica.** La empresa ofrece curso de capacitación en la instalación del cliente y respaldo y garantía incondicional de un año a partir de la fecha de compra.

b. Máquina B



Fotografía #9: Máquina B

1) **Capacidad y versatilidad.** La máquina B tiene capacidad para empaquetar en bandeja y en caja wraparound sin ningún problema. Las velocidades de empaque son las siguientes:

En bandeja:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por bandeja)	Velocidad de empaque (Bandejas por minuto)	Velocidad de empaque (Botellas por minuto)
SKU 1	48	16	768
SKU 2	24	16	384
SKU 3	24	16	384

Cuadro #7: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina B)

En caja tipo wraparound:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por caja)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)
SKU 1	48	16	768
SKU 2	24	16	384
SKU 3	24	16	384

Cuadro #8: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina B)

2) **Poco tiempo para realizar cambios de productos (changeovers).** El tiempo de cambio de un producto a otro es de aproximadamente 10 minutos. Esta máquina esta muy bien diseñada y tiene capacidad de sobra para la llenadora.

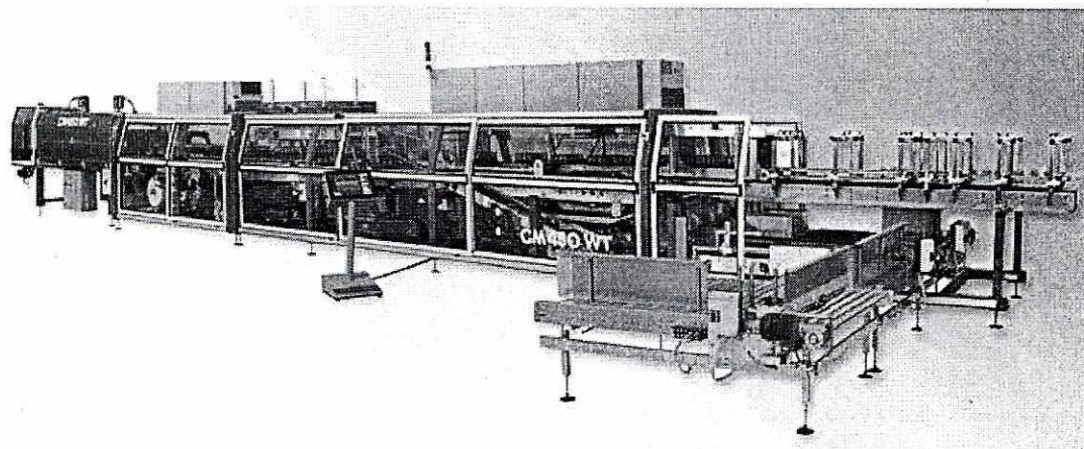
Tamaño	Tiempo de cambios entre productos(min)	Numero de cambios promedio por día	Tiempo perdido por día (minutos)
SKU 1	10	4	40
SKU 2	10	4	40
SKU 3	10	4	40

Cuadro #9: Tiempo de changeovers. (Máquina B)

3) **Proceso controlado y automatizado.** No necesita supervisión adicional al operador de la línea. Únicamente se necesita de alimentación eventual de planchas para formar las bandejas o cajas, film para envolver las bandejas y pegamento para pegar las bandejas y/o cajas wraparound.

4) **Respaldo y capacitación técnica.** La empresa ofrece curso de capacitación en sus instalaciones y además en la instalación del cliente. Además se ofrece un año de garantía a partir de la fecha de compra.

c. Máquina C



Fotografía #10: Máquina C

1) **Capacidad y versatilidad.** La máquina C tiene capacidad para empaquetar en bandeja y en caja wraparound sin ningún problema. Las velocidades de empaque son las siguientes:

En bandeja:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por bandeja)	Velocidad de empaque (Bandejas por minuto)	Velocidad de empaque (Botellas por minuto)
SKU 1	48	9	432
SKU 2	24	9	216
SKU 3	24	9	216

Cuadro #10: Velocidad de empaque en bandeja por SKU. (Máquina C)

En caja tipo wraparound:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por caja)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)
SKU 1	48	9	432
SKU 2	24	9	216
SKU 3	24	9	216

Cuadro #11: Velocidad de empaque en caja wraparound por SKU. (Máquina C)

2) **Poco tiempo para realizar cambios de productos (changeovers).** Para realizar cambios en la máquina no es necesario tener herramientas adicionales ya que la máquina tiene un sistema especial para realizar los cambios rápidamente. El tiempo de cambio de un producto a otro es de aproximadamente 15 minutos. Esta máquina está bien diseñada y tiene capacidad suficiente para cumplir con los principios de la máquina crítica, en este caso la llenadora.

Tamaño	Tiempo de cambios entre productos(min)	Numero de cambios promedio por día	Tiempo perdido por día (minutos)
SKU 1	15	4	60
SKU 2	15	4	60
SKU 3	15	4	60

Cuadro #12: Tiempo de changeovers. (Máquina C)

3) **Proceso controlado y automatizado.** No necesita supervisión adicional al operador de la línea. Únicamente se necesita de alimentación eventual de planchas para formar las bandejas o cajas, film para envolver las bandejas y pegamento para pegar las bandejas y/o cajas wraparound.

4) **Respaldo y capacitación técnica.** La empresa ofrece curso de capacitación en sus instalaciones y además en la instalación del cliente. Además se ofrece un 540 días de garantía a partir de la fecha de compra.

d. Comparación entre todas las propuestas. Las tres máquinas seleccionadas cumplen con todas las necesidades de la línea. La única variación que existe entre las tres es la capacidad de producción y el precio. El precio de cada máquina está regido en acorde a la capacidad de producción de las mismas. Como podemos ver en el cuadro #13 la máquina B es la más costosa y la de mayor capacidad de las tres, seguida por la máquina A y por último la máquina C.

Teniendo en cuenta que todas las máquinas generaran los mismos beneficios para la línea, el único criterio que tendrían que cumplir es de tener el retorno de la inversión en el plazo máximo de cuatro años para poder ser viables. En caso todas cumplieran con dicho criterio la elección se daría basándose en los planes futuros de la empresa. Son necesarios los resultados del estudio económico para tomar la decisión de la mejor máquina para el proyecto y además determinar si el proyecto es viable en el lapso estipulado de cuatro años.

	Máquina A	Máquina B	Máquina C
Precio total de máquina entregada en la fabrica (\$US)	\$462,000.00	\$641,344.00	\$363,744.00
Capacidad de producción (Bandejas/min)	11	16	9
Capacidad de producción (Cajass/min)	11	16	9

Cuadro #13: Precios y capacidad por máquina

C. Estudio económico: Situación actual vrs. Situaciones propuestas

1. Descripción de costos y gastos actuales. El fin de este proyecto es justificar en un plazo máximo de cuatro años la compra de una máquina empaquetadora de botellas. Lo que se busca es justificar el proyecto únicamente con los ahorros que generara la máquina en material de empaque y en reducción de personal operativo de la línea. Para fines de este estudio se considerarán en el análisis económico únicamente los gastos en la mano de obra y los costos en material de empaque secundario. Todos los ingresos y egresos externos a estos son considerados como constantes y por lo tanto no son utilizados en el estudio. A continuación se presentan los costos de los dos rubros a evaluar.

Descripción	Egresos (\$)
Gastos anuales en mano de obra (27 operadores)	113,400
Costos anuales en material de empaque secundario	282,099

Cuadro #14: Gastos y costos actuales

2.Descripción de costos y gastos al introducir empaquetadora automática. Al momento de instalar y poner en operación la empaquetadora automática de botellas inmediatamente se estará incurriendo en ahorros para la línea. El primer ahorro es generado por la reducción del personal del área de empaque. Se reduce en 12 personas el personal de la línea, cuatro personas por turno. El segundo ahorro se da en ahorros en material de empaque ya que al no utilizar cajas RSC y utilizar bandejas o cajas wraparound el costo del empaque disminuye drásticamente como podemos ver a continuación:

Descripción	Egresos (\$)
Gastos anuales en mano de obra (15 operadores)	63,000
Costos anuales en material de empaque secundario (Opción bandeja)	224,805
Costos anuales en material de empaque secundario (Opción C caja wraparound)	247,525

Cuadro #15: Gastos y costos al introducir propuesta

3. Descripción de ahorros al introducir empaquetadora automática.

La reducción de costos y gastos entre la configuración de empaques actual y la configuración de empaques propuesta es bastante notable. El ahorro que se obtiene en material de empaque se debe principalmente a la disminución del área de cartón corrugado utilizado por la bandeja en comparación con las cajas RSC. Lo mismo se puede decir para las cajas tipo wraparound, aunque el ahorro es menor debido a que no se elimina tanta área de cartón corrugado por cada empaque secundario. En resumen, se compra menos cantidad de cartón para empacar la misma cantidad de botellas.

En cuanto al ahorro de mano de obra éste se debe a la eliminación en la línea de 12 operadores del área de empaque. Esto genera un ahorro sustancial que unido a los ahorros en material de empaque ayudara a que la inversión de la empaquetadora en el proyecto sea retornada rápidamente. El ahorro de material de empaque no depende de la maquinaria que se compre al igual que el ahorro en mano de obra.

A continuación se presenta el ahorro que se obtiene con la configuración de bandeja:

Descripción	Ahorro (\$)
Ahorros anuales en mano de obra	50,400
Ahorros anuales en material de empaque secundario	57,294
Ahorros totales anuales al usar configuración de bandeja	107,694

Cuadro #16: Ahorros generados con propuesta en bandeja

A continuación se presenta el ahorro que se obtiene con la configuración de caja wraparound:

Descripción	Ahorro (\$)
Ahorros anuales en mano de obra	50,400
Ahorros anuales en material de empaque secundario	34,574
Ahorros totales anuales al usar configuración de bandeja	84,974

Cuadro #17: Ahorros generados con propuesta en caja wraparound

Como se puede ver en los cuadros anteriores, los ahorros generados por la configuración de empaque en bandeja son mucho más sustanciales que los ahorros proporcionados en la configuración de caja wraparound. La configuración de wraparound sería utilizada únicamente en caso los estudios de calidad para la configuración de bandeja demostraran que su uso no es factible dentro de la cadena de abastecimiento.

4. Inversión inicial. Todas las máquinas que se expusieron anteriormente satisfacen las necesidades actuales de la línea de llenado. La diferencia básica entre una empaquetadora y otra es su capacidad de producción y precio. El precio es directamente proporcional a la capacidad de producción de cada máquina. Para este estudio los ahorros serán constantes a través del tiempo sin importar cual máquina sea escogida.

Es obvio que la máquina menos costosa será la que tenga el retorno en la inversión en la menor cantidad de tiempo. Lo que se busca es verificar cuales de las propuestas de

máquina satisfacen la normativa de un retorno en la inversión en un máximo de cuatro años. Ya que si todas cumplen con el criterio se compraría la máquina con mayor capacidad para poder tener mayores opciones de crecimiento en el futuro. (Ver cuadro #13)

5. Flujo de efectivo neto y tasa interna de retorno. Para cada máquina propuesta se elaboro un flujo de efectivo neto entre los costos actuales de material de empaque y mano de obra de la línea para luego comparar estos valores con los costos resultantes de la nueva configuración de empaque y personas. Esto se hace para determinar qué cual máquina se escogerá tomando en cuenta la normativa de cuatro años máximo para el retorno de la inversión y la búsqueda constante de la empresa en buscar el crecimiento. Es decir, se esperaría poder comprar la máquina con mayor capacidad para futuras expansiones satisfaciendo la normativa de cuatro años máximo en recuperar una inversión.

Para el estudio del flujo de efectivo se usó una escala de diez años comparando el flujo actual de costos contra el flujo de costos al cambiar al empaque propuesto. Se evaluó por separado la configuración en bandeja y en caja wraparound para cada máquina propuesta. Además se calculó la Tasa Interna de Retorno en los años 5 y 10 para determinar la factibilidad del proyecto en estos periodos de tiempo. Se busca que el proyecto sea factible en un lapso no mayor a cuatro años. Todos los flujos de efectivo pueden observarse en el anexo 10.

a. Factibilidad de propuesta con bandeja en máquina A. Con esta configuración de máquina y empaque se obtiene una Tasa Interna de Retorno en 10 años del 27% y en cinco años la Tasa interna de Retorno es de 8%. Lastimosamente el retorno en la inversión se da hasta en el quinto año desde la puesta en marcha del proyecto. Por lo tanto la compra de esta máquina no es factible.

Máquina A (Propuesta con bandeja) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	27%
TIR (5 Años)	8%
Retorno de Inversión	Año 5

**Cuadro #18: TIR y tiempo de retorno de inversión
(Máquina A propuesta de bandeja)**

b. Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina A. Era de esperarse que la máquina A obtendría resultados menos satisfactorios con la configuración wraparound que con la configuración de bandejas. Esto debido a que los ahorros con cajas wraparound son menores en \$22,720. Con esta configuración de máquina y empaque se obtiene una Tasa Interna de Retorno en 10 años del 17% y en 5 años la Tasa interna de Retorno es de -4%. Cabe resaltar que aún en el año cuatro se reportan pérdidas por lo que la compra de esta máquina no es factible si se respeta la normativa de la empresa de obtener el retorno de la inversión en cuatro años máximo. El retorno en la inversión se da hasta el año seis.

Máquina A (Propuesta con caja wraparound) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	17%
TIR (5 Años)	-4%
Retorno de inversión	Año 6

**Cuadro #19: TIR y tiempo de retorno de inversión
(Máquina A propuesta de caja wraparound)**

c. **Factibilidad de propuesta con bandeja en máquina B.** Debido a que la máquina B es más costosa que la máquina A se espera que dicha propuesta tampoco sea factible dentro de la estructura de compras de la empresa. Al observar los resultados monetarios de dicha alternativa, $TIR(10 \text{ años})=14\%$ y $TIR(5 \text{ años})=-8\%$, es obvio que la compra de esta máquina no es factible desde el punto de vista económico. El retorno en la inversión se da en el año seis

Máquina B (Propuesta con bandeja) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	14%
TIR (5 Años)	-8%
Retorno de inversión	Año 6

**Cuadro #20: TIR y tiempo de retorno de inversión
(Máquina B propuesta de bandeja)**

d. Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina B. Obviamente no es factible la compra de la máquina B usando la configuración de cajas Wraparound ya que no fue factible al usar bandejas como alternativa de empaque. Esto debido a que los ahorros son menores en esta configuración de empaque. Aún así es importante notar que la TIR(10 años) fue de 7% y la TIR(5 años) fue de -17% también hay que notar que el retorno en la inversión no se da sino hasta el año 8.

Máquina B (Propuesta con caja wraparound) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	7%
TIR (5 Años)	-17%
Retorno de inversión	Año 8

**Cuadro #21: TIR y tiempo de retorno de inversión
(Máquina B propuesta de caja wraparound)**

e. Factibilidad de propuesta con bandeja en máquina C. La máquina C tiene una TIR(10 años)=48% y una TIR(5 años)=35%. Contrario a los resultados obtenidos en los flujos de la máquina A y B, la compra de esta máquina sí resulta factible en un término de cuatro años por lo cual sí puede ser considerada para formar parte del proyecto. Desde el punto de vista económico la compra de la máquina C es factible para llevar a cabo el proyecto de optimización de la línea usando bandejas como empaque secundario de las botellas. Sin embargo, es necesario realizar el estudio económico de la máquina C utilizando cajas tipo wraparound para determinar si el proyecto aún es factible con esta propuesta de empaque.

Máquina C (Propuesta con bandeja) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	48%
TIR (5 Años)	35%
Retorno de inversión	Año 4

**Cuadro #22: TIR y Tiempo de retorno de inversión
(Máquina C propuesta de bandeja)**

f. **Factibilidad de propuesta en caja wraparound con máquina C.** Con una TIR(10 años)=33%,TIR(5 años)=16% y un retorno de inversión en cuatro años, la propuesta de la máquina C resulta atractiva desde el punto de vista económico ya que satisface todas las normativas que la empresa requiere.

Máquina C (Propuesta con caja wraparound) vrs situación actual	
TIR (10 Años)	33%
TIR (5 Años)	16%
Retorno de inversión	Año 4

**Cuadro #23: TIR y tiempo de retorno de inversión
(Máquina C propuesta de caja wraparound)**

D. Descripción detallada de la maquinaria propuesta

Todas las máquinas estudiadas anteriormente (máquina A, B y C) satisfacían al proyecto desde un punto de vista técnico. La diferencia entre las tres máquinas yacía en su precio y en su capacidad siendo estos proporcionales entre sí. Al observar el estudio económico nos damos cuenta que únicamente la máquina C satisfizo al proyecto desde el punto de vista económico. Por este motivo la máquina empaquetadora elegida fue la máquina C.

1. Máquina C. A continuación se presenta una descripción detallada de la máquina empaquetadora que mejor se ajustó a las necesidades de la Línea de llenado y de la empresa, desde el punto de vista de productividad y económico, esta máquina es la empaquetadora C.

La máquina se subdivide en cinco secciones:

- Alimentador de cinta
- Enfajadora automática
- Almacén de cartones
- Encartonadora automática
- Túnel de termoretracción

Las velocidades de producción son las siguientes:

En bandeja:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por bandeja)	Velocidad de empaque (Bandejas por minuto)	Velocidad de empaque (Botellas por minuto)
SKU 1	48	9	432
SKU 2	24	9	216
SKU 3	24	9	216

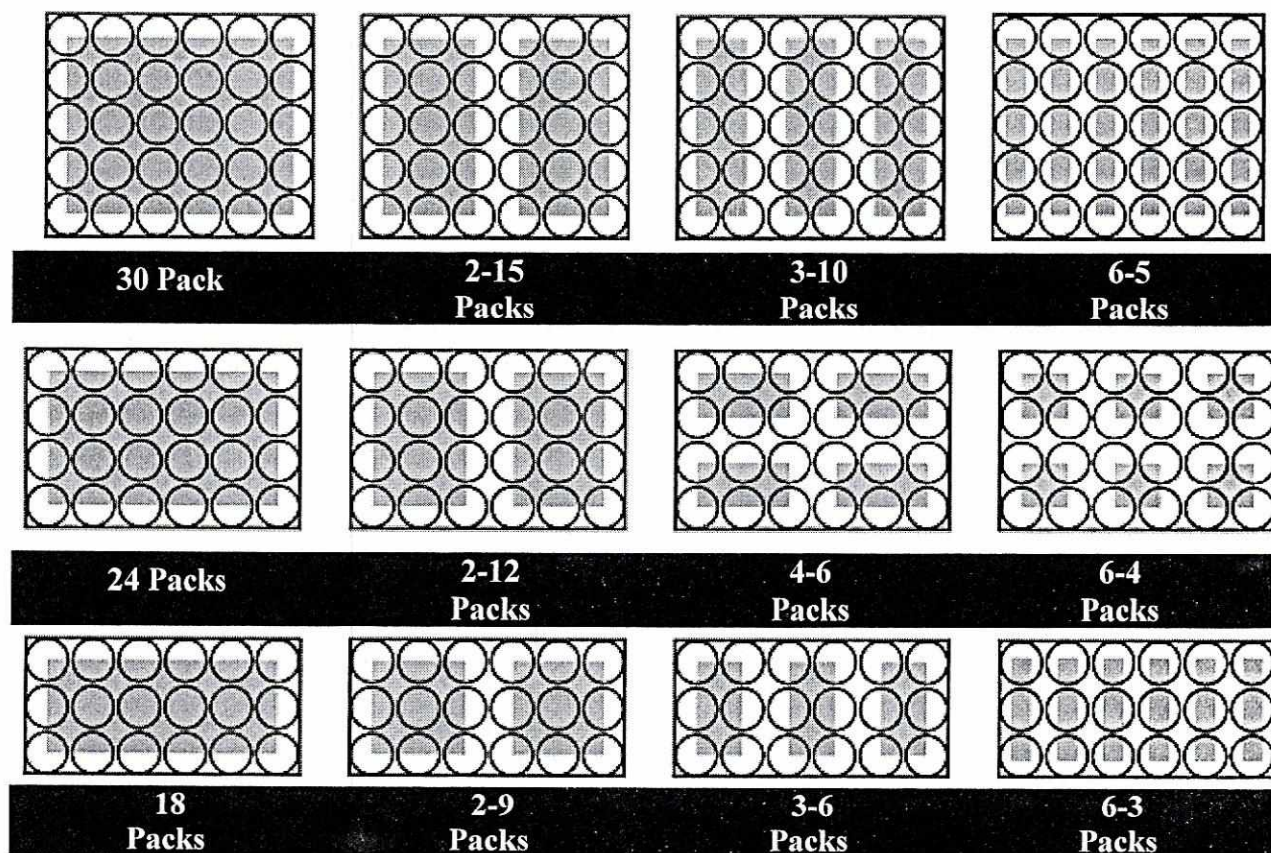
Cuadro #24: Velocidades de producción en bandeja de máquina C

En caja tipo wraparound:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por caja)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)	Velocidad de empaque (Cajas por minuto)
SKU 1	48	9	432
SKU 2	24	9	216
SKU 3	24	9	216

Cuadro #25: Velocidades de producción en caja wraparound de máquina C

Además la máquina tiene la capacidad para empaquetar botellas en las siguientes configuraciones de empaque, lo cual puede ser útil si se quiere expandir la línea de productos actuales.



Gráfica #29: Configuraciones de empaque posibles en máquina empaquetadora C

2. Descripción general de empaquetadora C

- Protecciones anti-accidente en acero pintado y lexan® según las normas de CE.
- Ejes de transmisión en acero inox AISI 416 afinado y templado, otras partes mecánicas en acero cromado, en acero inox y aluminio anticorrosión.
- Máquina provista de soportes “Y” SKF tipo Y-TECH de material compuesto y cojinetes lubricados de por vida con grasa y protección especiales.

- Cinta transporta producto a la entrada con cadenas en material termoplástico de bajo coeficiente de fricción completa de entrada progresiva y láminas guía producto.
- Control de filas llenas y disponibilidad del producto para la regulación automática de la velocidad de trabajo.
- Control en la entrada para evitar botellas volcadas.
- Estación de formación del paquete de manera continua con dedos sincronizados electrónicamente.
- Almacén de cartones al lado de la cinta de entrada, predispuesto para la carga automática: capacidad para 315 paquetes dispuestos de forma horizontal.
- Pasa cartones de tipo mecánico sin vacío.
- Control de presencia del cartón.
- Formadora de cajas de manera continua “Wraparound”; adaptable, con indicador de posición, a las diferentes dimensiones de las cajas.
- Bobina de Film colocada en la parte inferior de la máquina.
- Control de producto suelto antes de la formadora de bandejas/cajas.
- Desenrolle de la bobina controlado por un freno progresivo mecánico para la tensión constante del film.
- Mandriles porta bobinas con bloqueo neumático.

- Dispositivo de parada de la máquina cuando de acaba el film.
- Barra soldadora manual para la unión del film al agotamiento de la bobina.
- Carro para la sustitución de la bobina de film.
- Corte del film con cuchilla giratoria.
- Control del film envuelto en torno al producto.
- Variación electrónica de la longitud del film.
- Dispositivo para el centrado del film impreso.
- Barras antiestáticas de cepillos con fibras de carbono.
- Barras antiestáticas HAUG adicionales.
- Resistencias del túnel de termoretracción puestas en las paredes laterales.
- Banda transportadora del túnel con varillas en fibra de vidrio con tracción de cadenas laterales.
- Control electrónico de la temperatura.
- Armario eléctrico principal sobre la máquina, equipado con acondicionador.
- Controlador de procesos con microprocesador y consola operativa compuesta por ordenador PC compatible con MS-Windows XP EMBEDDED™, y display LCD a colores VGA “Touch Screen”, dotado de las siguientes funciones:

- Modificación directa de los parámetros de la máquina, con posibilidad de memorizar un número ilimitado de diferentes tipos de formato.
- Control de producción.
- Memoria de eventos.
- Monitoreo en tiempo real.
- Posibilidad de imprenta directa de los parámetros de la máquina.
- Transferencia de los datos de control del cliente por medio de red Ethernet y del protocolo MODBUS/TCP.

3. Especificaciones técnicas

- Tensión de red: de 380 a 480 V ($\pm 5\%$ max.) 50/60Hz 3PH+PE.
- Si la tensión de red es igual a 230 o 575 V, se proporciona un autotransformador.
- Tensiones secundarias 24 V DC.
- Protección armario eléctrico IP54 y teclados IP65 según normas IEC 259.
- Cables con aislamiento antifuego.
- Interruptores generales: MOELLER ELECTRIC.
- Telerruptores: MOELLER ELECTRIC.
- Interruptores magnetotérmicos: MOELLER ELECTRIC.
- Teclado Ø22: MOELLER ELECTRIC.
- Fin de carrera mecánicos: PIZZATO.

- Interruptores de proximidad Ø12 IP67: SICK e/o BALLUFF.
- Fotoceldas IP 67 diam.18 con conector: DATA SENSOR y SICK
- Fijación de rieles y bornes según normativas internacionales.
- Inverter: DANFOSS
- Sistema de control MotorNet System® con µP intel® Pentium®.
- Motores asíncronos: LAFERT/BONFIGLIOLI
- Servomotores “brushless”: LAFERT-IP65
- Servo-acondicionamiento para servomotores “brushless”: SMITEC COSMOS 1000.
- Protección a demás componentes eléctricos no inferior a IP54 según normas IEC 529.
- Motoreductores: BONFIGLIOLI
- Cojinetes: SKF-RHP-INA.
- Centralita de lubricación del horno: ILC.
- Aplicador de pegamento caliente: NORDSON
- Electro válvulas de conformidad con las normas ISO 505599/1/0.

- Cilindros neumáticos según normativa ISO 6431 o 6432 VDMA-CNOMO: METAL WORK/PNEUMAX.

4. Condiciones generales del funcionamiento de la máquina

- Temperatura del ambiente: min +10°C – max +35°C, con variaciones de ± 3 °C durante la actividad laboral diaria.
- Humedad relativa del ambiente: max 60%.
- Temperatura del producto: min 10°C.
- Espesor de film: máx. 80 micron.

5. Pintura estándar de la máquina

- Enarenado de la estructura principal con grado SAZ 2.5 según normas SIS y desengrase con disolventes.
- Pintura bicolor en polvos de cocción en horno a 160°C.
- Chasis: color RAL 7037.
- Protecciones: color RAL 1021.
- Pintura armario eléctrico a polvos color RAL 7035.
- Paneles del túnel de termorretracción: color RAL 7035.

6. Calidad aconsejada del cartón

- Cartón de onda baja: espesor 3mm.
- Cobertura exterior en papel test de 150 a 180g/m².
- Cobertura interior en papel test de 120 a 140g/m².
- Ondulado central en papel médium de 130 a 150g/m².

7. Calidad aconsejada de pegamento caliente

- Tipo de adhesivo: "Hotmelt".
- Viscosidad a 160°C: 80mPas.
- Viscosidad relativa Brookfield a 170°C: 600mPas.
- Viscosidad relativa Brookfield a 180°C: 500mPas.
- Tiempo de adhesión: Rápido.
- Tiempo abierto (170°C): Medio.
- Temperatura de trabajo: 160°C-180°C.

8. Datos técnicos requeridos para el film

CARACTERÍSTICA	NORMA	UNIDAD DE MEDICION	VALOR	
MATERIAL			LDPE	
DENSIDAD		g/cm ³		0.928
POLITENE		grade		0.3
ADITIVACIÓN CON ANTIESTÁTICO				
DIÁMETRO MAX BOBINA		mm		500
DIÁMETRO ALMA BOBINA		mm		76
ESPESOR		micron	de	30
			a	80
RETRACCIÓN LONGITUDINAL		%		80
RETRACCIÓN TRANSVERSAL		%	de	10
			a	20
CARGA DE ROTURA	ASTM D 882	N/mm ²	Long.	25
			Transv.	20
CARGA DE ENERVAMIENTO	ASTM D 882	N/mm ²	Long.	13
			Transv.	13
ESTIRAMIENTO DE ROTURA	ASTM D 882	%	Long.	450
			Transv.	700
RESISTENCIA DE LACERACIÓN	ASTM D 1922	g	Long.	300
			Transv.	500
COF (dinámico)	ASTM D 1894	g		>0.40
TEMPERATURA DE SOLDADURA	ITP	C		130-210
HAZE	ASTM D 1003	%		15

Cuadro #26: Datos técnicos de film de empaque

E. Estudio técnico de calidad del empaque

La información que a continuación se presenta está estrictamente ligada al estudio planteado para determinar la factibilidad del cambio de empaque desde un punto de vista enfocado a la calidad. La sección económica fue estudiada anteriormente en este trabajo. Cabe mencionar que tanto el estudio de calidad y los estudios económicos fueron realizados en paralelo ya que de ambos resultados depende la ejecución el proyecto.

1. Análisis del empaque actual

a. Botellas empacadas en cajas de cartón corrugado regulares(RSC). En la actualidad todas las presentaciones del limpiador líquido que serán impactadas por el cambio son empacadas en cajas de cartón regulares (RSC).

Hay que recordar que la configuración actual de empaque de las botellas en cajas RSC está validada por estudios similares a éste y a la vez está respaldada por su historial de uso a través de los años. Esto es cierto para los tres SKU's evaluados en este estudio.

Los resultados que a continuación se presentan son de la configuración actual del empaque. Esta configuración está basada en el paradigma de que las botellas son productos "No portantes", es decir, que el empaque secundario hace toda la función de resistencia a la compresión durante toda la cadena de abastecimiento.

Este paradigma es el que se busca cambiar con esta investigación

En los próximos párrafos se presentan las diferentes características técnicas para cada SKU a evaluar. Hay que recordar que estas mediciones se usaran como punto de comparación contra los resultados obtenidos del empaque propuesto. Se usará este punto de comparación ya que está demostrado que el empaque actual sí funciona en la cadena de abastecimiento.

Cada una de las pruebas que se realiza a los empaques ayuda a simular las condiciones a las cuales el producto será expuesto durante todo el flujo logístico.

A continuación se presentan las características del empaque actual:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por caja)	Unidad de empaque (Cajas por pallet)	Unidad de empaque (Camas por pallet)	Estiba máxima (Tarimas)	Peso caja llena (kg)
SKU 1 (Presentación popular)	48*	30	2	2	11.57
SKU 2 (Presentación mediana)	24	36	4	2	11.64
SKU 3 (Presentación mediana producto 2)	24	40	5	2	12.35

*La caja tiene dos capas de 24 botellas cada una.

Cuadro #27: Unidades de empaque y peso del empaque actual

Tamaño	Peso de botella/ peso de preforma (g)	Resistencia máxima de compresión en botella vacía (kg)	Deformación registrada en el punto de resistencia máxima (mm)
SKU 1	25.00	45.72	3.85
SKU 2	25.00	17.16	2.97
SKU 3	25.00	17.88	5.00

Cuadro #28: Resistencia a la compresión botella vacía

Tamaño	Resistencia máxima de compresión en botella llena (kg)	Deformación registrada en el punto de resistencia máxima (mm)
SKU 1	57.47	5.02
SKU 2	30.09	5.11
SKU 3	47.28	4.94

Cuadro #29: Top load (Resistencia a la compresión botella llena de limpiador)

SKU	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Mullen del corrugado	ECT del corrugado(kgf/mm)	Calibre (mm)
1	320	210	359	200	0.536	0.38
2	384	253	230	200	0.536	0.38
3	428	284	198	200	0.536	0.38

Cuadro #30: Características del empaque secundario (Caja de cartón corrugado)

SKU	Resistencia máxima de compresión corrugado vacío (kgf)	Deformación en punto de resistencia máxima (mm)
1	254.60	7.13
2	230.76	6.40
3	235.40	6.27

Cuadro #31: Squeeze test

(Resistencia a la compresión de la caja de cartón corrugado vacío)

2. Análisis del empaque propuesto

a. Botellas empacadas en bandejas con plástico termoencogible y/o botellas empacadas en cajas wraparound. Los resultados que a continuación se presentan son para el empaque de todas las botellas y variantes de limpiador líquido que se fabrican en la Línea de Llenado 1. En la configuración de empaque propuesta se sustituye la caja de cartón corrugado(RSC) por una bandeja de cartón corrugado envuelta en plástico termoencogible o una caja de cartón corrugado tipo wraparound. Tanto el uso de la bandeja como de la caja wraparound hacen que las botellas y no el empaque secundario resistan todas las fuerzas de compresión en ciclo de Distribución. En otras palabras, se cambia la estructura “No portante” de las botellas para convertirlas en producto “portante”.

A pesar de que los beneficios monetarios esperados con el cambio de empaque son altos, es muy difícil aceptar el cambio, sin antes evaluar el impacto que el empaque propuesto tendrá en la calidad final del producto. El cambio presenta muchos desafíos para los diseñadores del empaque nuevo. Ya que con cualquier cambio surgen nuevas variables y problemas que se deben resolver.

En los próximos párrafos se presentan las diferentes características técnicas para cada SKU a evaluar. Hay que recordar que estas especificaciones se usarán como punto de comparación contra los resultados obtenidos del empaque actual.

Cada una de las pruebas que se realiza a los empaques ayuda a simular las condiciones a las cuales el producto será expuesto durante todo el flujo logístico.

Es importante mencionar que todos los resultados que a continuación se presentan fueron medidos usando la configuración de bandeja de cartón corrugado ya que es el caso más extremo, en cuanto a la calidad del producto, de las dos configuraciones de empaque propuestas. Además la estructura con bandeja es la que mayores beneficios da, desde el punto de vista económico, por lo que es a la que mayor prioridad se le dio en el estudio. En caso las pruebas con bandeja fallen se tendrá que hacer un estudio similar con las

cajas wraparound para determinar la factibilidad del cambio, siempre y cuando se obtengan resultados favorables en el estudio económico.

La selección de usar caja wraparound o bandeja dependerá en la combinación de resultados entre los estudios económicos y los estudios de calidad que siguen a continuación.

A continuación se presentan las características del empaque propuesto:

Tamaño	Unidad de empaque (Botellas por bandeja)	Unidad de empaque (Bandejas por pallet)	Unidad de empaque (Camas por pallet)	Estiba máxima (Tarimas)	Peso bandeja llena (kg)
SKU 1 (Presentación popular)	48*	30	2	2	11.32
SKU 2 (Presentación mediana)	24	36	4	2	11.39
SKU 3 (Presentación mediana Producto 2)	24	40	5	2	12.10

*La bandeja tiene dos capas de 24 botellas cada una.

Cuadro #32: Unidades de empaque y peso del empaque propuesto

Tamaño	Peso Botella/ Peso Preforma (g)	Resistencia Máxima de compresión en botella vacía (kg)	Deformación registrada en el punto de Resistencia Máxima (mm)
SKU 1	25.00	45.72	3.85
SKU 2	25.00	17.16	2.97
SKU 3	25.00	17.88	5.00

Cuadro #33: Top Load (Resistencia a la compresión botella vacía)

Tamaño	Resistencia Máxima de compresión en botella llena (kg)	Deformación registrada en el punto de Resistencia Máxima (mm)
SKU 1	57.47	5.02
SKU 2	30.09	5.11
SKU 3	47.28	4.94

**Cuadro #34: Top load
(Resistencia a la compresión botella llena de limpiador)**

SKU	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Mullen del Corrugado	ECT del Corrugado(kgf/mm)	Calibre (mm)
1	315	210	50	125	0.536	0.38
2	372	248	50	200	0.536	0.38
3	422	280	50	200	0.536	0.38

**Cuadro #35: Características del empaque secundario
(Bandeja de cartón corrugado)**

SKU	Resistencia máxima de compresión bandeja llena (kgf)	Deformación en punto de resistencia máxima (mm)
1	1036.75	16.67
2	718.14	7.33
3	775.50	5.97

Cuadro #36: Squeeze test
(Resistencia a la compresión de la bandeja llena)

3. Estudio comparativo entre el empaque actual y el empaque propuesto. Debido a que el cambio en el empaque no está siendo considerado únicamente para un SKU, es necesario realizar una discusión de resultados para cada SKU a evaluar.

a. Estudio comparativo SKU 1 (Presentación popular). Este SKU es el que menos riesgo presenta al momento de realizar el cambio. Esta aseveración se hace ya que los tres SKU's son soplados en base a una misma preforma de 25g(Ver Cuadro #33). Lo que diferencia a una botella de otra es el molde en el cual fueron sopladas. La botella del SKU 1 por requerir menor cantidad de líquido para ser llenada es más pequeña que los otros dos SKU's. Esto quiere decir que la concentración del material PET a través de todo el diseño de la botella será mayor que en las otras dos botellas.

Este hecho presupone que la botella del SKU 1 tendrá que ser más resistente que las botellas de los otros dos SKU's.

La primera prueba realizada a los empaques fue la de resistencia a la compresión de la botella vacía. Esto se hace para determinar cuánta carga es capaz de soportar cada botella vacía sin deformarse permanentemente. En el caso del SKU 1 la resistencia a la compresión de cada botella individual vacía fue de 45.72 kg y 3.85 mm de deflexión.

Luego de evaluar cuánta resistencia provee cada botella vacía a la estructura del empaque final es necesario calcular cuánta resistencia provee la botella llena y tapada. Una botella llenada con el producto a evaluar del SKU 1 tiene una resistencia a la compresión de 57.47kg y una deflexión de 5.02mm. (Ver Cuadro #34). Los 11.75kg más en resistencia, en comparación con la botella vacía, se debe a la resistencia que proporciona la burbuja de aire entre el líquido y la tapa. Cabe mencionar que en ningún momento el líquido debe ofrecer resistencia a la carga. Si esto ocurriese la resistencia a la compresión sería muy elevada debido a las propiedades hidráulicas del fluido. El punto donde el líquido ofrece la resistencia a la compresión es un límite crítico para la prueba, ya que en este punto el empaque esta totalmente vencido y deformado. El empaque ya no ofrece ningún tipo de resistencia a la compresión y no puede ser vendido al consumidor por su apariencia deformada.

Al multiplicar los valores de compresión de la botella llena(57.47kg) por el numero de unidades de cada caja (48 unidades p/caja) obtenemos una resistencia estimada a la compresión de 2758.56 kg. Esta resistencia es la que se tendría en caso la carga sobre cada botella fuera uniforme y centrada en la tapa, como al realizar la prueba de Top Load. En el caso del SKU 1 este valor de resistencia puede disminuir al realizar la prueba al empaque secundario debido a que las botellas tienen dos capas de estiba en cada caja y/o bandeja.

Al realizar la prueba de compresión al empaque secundario vacío se obtuvo un resistencia a la compresión de 254.60 kg con una deformación de 7.13mm. Esta es la configuración de empaque que actualmente esta funcionando en el proceso de distribución del producto. Analicemos esto más cuidadosamente. Si tomamos el punto más crítico de la tarima, siendo éste la caja de la esquina inferior, del pallet de abajo en una estiba de dos tarimas. La máxima carga que soportaría esta caja crítica sería la multiplicación del peso por caja(11.57kg) por la cantidad de cajas arriba de esta caja crítica. En este caso la cantidad máxima de cajas que puede tener encima es de 3. Al multiplicar dichos valores (11.57X3) obtenemos que la resistencia que el corrugado

debería tener es de 34.71 kg. Claro está que el corrugado está sobredimensionado en sus características técnicas para salvaguardar el producto en cualquier eventualidad. En el caso del SKU 1 el corrugado está sobredimensionado 7.34 veces para garantizar la calidad del producto por cualquier imprevisto en la distribución.

En el caso del empaque propuesto todas las condiciones y características de la botella se mantienen. También se mantienen todas las unidades de empaque del producto. Lo que cambia es que se elimina por completo la caja de cartón corrugado y se sustituye por una bandeja o caja wraparound. Al hacer este cambio se considera ahora que las botellas son productos autoportantes. Para el caso del SKU 1 la resistencia total a la compresión del empaque propuesto es de 1036.75kg con una deflexión en las botellas de 16.67mm. Esta deflexión debe dividirse en dos ya que cada bandeja y/o caja wraparound tiene doble estiba. Es decir cada botella se deflexiona 8.34mm. Realizando un análisis similar al efectuado al empaque actual. Si tomamos el punto más crítico de la tarima, siendo este la bandeja de la esquina inferior del pallet de abajo en una estiba de dos tarimas. La máxima carga que soportaría esta caja crítica sería la multiplicación del peso por caja(11.32kg) por la cantidad de bandejas arriba de esta caja crítica. En este caso la cantidad máxima de cajas que puede tener encima es de 3. Al multiplicar dichos valores (11.32X3) obtenemos que la resistencia que el corrugado debería tener es de 33.96kg. El resultado obtenido de resistencia en la prueba de compresión a cada bandeja fue de 1036.75kg lo cual es 30 veces 33.96kg. En términos simples de entender, cada bandeja tiene la capacidad de soportar, en una estiba columnar, el peso de 90 bandejas. Este evento es muy improbable que suceda, además nunca es saludable acercarse demasiado a los límites establecidos por las pruebas.

Vale la pena resumir los puntos tratados anteriormente para poder realizar la comparación del empaque propuesto con el empaque actual de una forma más eficiente.

En resumen, el empaque actual resiste lo siguiente. La fuerza total que resiste todo el empaque secundario es de 254.60 kg y se deflexiona 7.13mm (Ver Cuadro #33) utilizando un factor de seguridad de 7.34. Pero en ningún momento las botellas ejercen

algún tipo de resistencia en el empaque, es decir, las botellas son consideradas como productos totalmente no portantes. La resistencia de cada botella es de 57.47 kg de los cuales 45.72kg son de la botella vacía y 11.75 kg resultan de la interacción de la burbuja de aire entre el líquido y la tapa. La resistencia potencial al colocar las 48 botellas uniformemente es de 2758.56 kg que disminuye a 1036.75 kg debido a que la estiba por caja es doble. En general, el empaque actual tiene una resistencia total potencial de 1291.35 kg, que es la suma de la resistencia de las botellas con la resistencia del corrugado. En la actualidad únicamente el corrugado ofrece toda la resistencia a la compresión. Por otro lado, el empaque propuesto obvia todas las implicaciones de la caja de cartón corrugado y hace de las botellas producto autoportante. La resistencia final del empaque del SKU 1 es de 1036.75 kg.

Sin lugar a dudas al observar los resultados obtenidos se pueden realizar varias aseveraciones acerca de los empaques. Sin lugar a dudas el SKU 1 es producto portante. La resistencia de 1036.75kg es comparable al peso de 10 costales de cemento de 100kg c/u sobre una bandeja de botellas. En ningún momento se cree que soportara tanto peso. Diciendo esto, no está demás decir que, el empaque actual está sobredimensionado ya que la estructura fuerte y portante de las botellas no amerita un corrugado con una tanta resistencia. Se cree que al quitar dicho corrugado no causará mayores problemas en cuanto a la calidad de la botellas llenas durante el proceso de distribución del producto. Es decir, el empaque propuesto en bandejas tiene la capacidad de soportar las inclemencias del proceso de distribución. Además se cree que la capacidad del empaque propuesto (1036.75 kg) es aún demasiado alta para el tipo de producto que se está transportando. Es posible que en el futuro sea necesario realizar un estudio similar al empaque propuesto para disminuir la resistencia aún más de este SKU 1 con el propósito de buscar nuevos ahorros.

b. Estudio comparativo SKU 2 (presentación mediana). Este SKU presenta un mayor riesgo al momento de realizar el cambio debido al diseño más alto de la botella. La preforma utilizada es la misma que en el SKU 1 y pesa 25g (Ver Cuadro #33). En este SKU el material PET es distribuido en forma diferente en comparación al SKU 1, esto,

debido al molde y al hecho de que el envase debe contener mayor cantidad de líquido. Este SKU tiene menor cantidad de material PET a través de todo el diseño de la botella. No se sabe con certeza la forma en que se comportaran los empaques, pero se cree que sera más frágil que el SKU 1.

La primera prueba realizada a los empaques del SKU 2 fue la prueba de resistencia a la compresión de la botella vacía. En el caso de este SKU la resistencia a la compresión de la botella vacía fue de 17.16 kg y 2.97mm. Estos resultados son muchos más bajos en comparación con el SKU 1(Ver Cuadro #33). Aunque es muy probable que sea posible realizar el cambio al empaque propuesto. La resolución no era tan obvia como en el caso del SKU 1 que fácilmente se podía observar que la rigidez de dicha botella era bastante alta.

Para la prueba de compresión de la botella llena se obtuvo un resultado de 30.09 kg y 5.11mm de deflexión por cada botella. Esto quiere decir que la resistencia potencial de cada caja es de 722.16 kg. Este resultado se obtiene de la multiplicación de 30.09 kg por la unidad de empaque, en este caso 24 botellas por caja/bandeja. Debido a que este SKU es empacado en una sola fila es muy probable que al realizar la prueba de compresión a todo el empaque secundario el resultado sea parecido.

Cada caja del SKU 2 pesa 11.64 kg. En el peor de los casos, es decir desde el punto de vista de la caja inferior de la tarima de abajo, el corrugado tendría que soportar el peso de 81.48 kg como máximo. Tomando en cuenta que el corrugado actual tiene una resistencia de 230.76 kg y una deformación de 6.40 mm se obtiene que el factor de seguridad actual para el corrugado es de 2.83. Sabiendo que la configuración actual de empaque sí funciona y que en dicha configuración la botella se considera como no portante, es necesario comparar los resultados de las pruebas hechas a la bandeja para tomar una decisión sobre si el cambio de empaque es viable.

En cuanto al empaque propuesto de bandeja/caja wraparound, el peso por bandeja es de 11.39kg. La resistencia de la bandeja crítica debería ser de 79.73 kg. Al realizar la

prueba de compresión a la bandeja completa con botellas llenas el resultado de resistencia a la compresión fue de 718.14kg con 7.33 mm de deflexión de la botella siempre manteniendo sus propiedades plásticas, lo cual garantiza la venta del producto al consumidor.

Como podemos ver la resistencia obtenida en la prueba al empaque secundario y la multiplicación de los resultados de las botellas llenas por la unidad de empaque fueron bastante similares. La diferencia entre ambas pruebas fue de apenas 4.04 kg.

El empaque actual resiste lo siguiente. La fuerza total que resiste todo el empaque secundario es de 230.76 kg y se deflexiona 6.40mm (Ver Cuadro #31) utilizando un factor de seguridad de 2.83. Pero en ningún momento las botellas ejercen algún tipo de resistencia en el empaque, es decir, las botellas son consideradas como productos totalmente no portantes. La resistencia de cada botella es de 30.09 kg de los cuales 17.16 kg son de la botella vacía y 12.93 kg resultan de la interacción de la burbuja de aire entre el líquido y la tapa. El empaque actual tiene una resistencia total potencial de 948.90 kg que resulta de la suma de la resistencia de las botellas y de la resistencia otorgada por el corrugado (Ver Cuadros #31 y #36). Por otro lado, el empaque propuesto obvia todas las implicaciones de la caja de cartón corrugado y hace de las botellas producto autoportante. La resistencia final del empaque del SKU 2 es de 718.14 kg con una deformación no permanente de la botella de 7.33mm.

Al observar los resultados obtenidos se pueden sacar varias conclusiones acerca de ambos empaques. Sin lugar a dudas el SKU 2 es producto portante, aunque no tiene la misma resistencia que el SKU 1 en el cual se llegó a la conclusión de que tanto el empaque actual como el propuesto están sobredimensionados. La resistencia de 718.14 kg del SKU2 es comparable al peso de 10 persona de 75kg c/u sobre una bandeja de botellas. En ningún momento se cree que soportara tanto peso la tarima. Diciendo esto, no está demás decir que, el empaque actual está sobredimensionado ya que la estructura fuerte y portante de las botellas no amerita un corrugado con tanta resistencia. Se cree que quitar dicho corrugado no causará mayores problemas en cuanto a la calidad de las

botellas llenas durante el proceso de distribución del producto. Es decir, el empaque propuesto en bandejas tiene la capacidad de soportar las inclemencias del proceso de distribución. Se cree que la resistencia actual de las botellas es adecuada para el cambio de empaque que se realizara.

c. Estudio comparativo SKU 3 (presentación mediana producto 2). La botella del SKU 3 es similar con la del SKU 2 en que ambas contienen la misma cantidad de producto. La diferencia entre ambas radica en el diseño de la botella en sí. El diseño del SKU 3 es muy similar al del SKU 2, la diferencia radica en que SKU 3 es menos alto y un poco más ancho que el SKU 2. Debido a esto se esperaban resultados muy similares a los del SKU 2. Este SKU se produce con la misma preforma de 25g de los SKU's evaluados anteriormente. Como vimos en la sección anterior el SKU 2 satisface las condiciones mínimas para poder hacer el cambio de empaque. Lo único que falta determinar es si el SKU 3 tiene un desempeño mejor o peor que el SKU 2.

De nuevo se realizó la prueba de resistencia a la compresión de la botella vacía para determinar cuánta carga es capaz de soportar cada botella vacía sin deformarse permanentemente. En el caso del SKU 3 la resistencia a la compresión de cada botella individual vacía fue de 17.88 kg y 5.00mm de deflexión. Estos datos son un poco más altos que los del SKU 2 y mucho más bajos que los obtenidos por el SKU 1.

Para la prueba de compresión de la botella llena se obtuvo un resultado de 47.28 kg y 4.94 mm de deflexión por cada botella. Esto quiere decir que la resistencia potencial de cada caja es de 1,134.72 kg. Este resultado se obtiene de la multiplicación de 47.28 kg por la unidad de empaque, en este caso 24 botellas por caja/bandeja. Debido a que este SKU es empacado en una sola columna se cree que los resultados de compresión al empaque secundario sean similares.

Cada caja del SKU 3 pesa 12.35 kg. En el caso de la caja crítica el corrugado tendría que soportar 86.45 kg. El corrugado actual tiene una resistencia a la compresión de 235.40 kg y una deformación de 6.27 mm se obtiene que el factor de seguridad actual

para el corrugado es de 2.72. Sabiendo que la configuración actual de empaque si funciona y que en dicha configuración la botella se considera como no portante, es necesario comparar los resultados de las pruebas hechas a la bandeja previo a tomar cualquier decisión sobre el cambio de empaque. A pesar de que los resultados apuntan a que sí se podrá realizar el cambio ya que los resultados hasta el momento son similares a los del SKU 2.

El peso por bandeja es de 12.10kg. La resistencia de la bandeja crítica debería ser de 84.70 kg. En las pruebas de compresión realizadas a la bandeja/caja wraparound llenas se determino que la resistencia a la compresión fue de 775.50 kg con 5.97 mm de deflexión de la botella. Luego de la prueba, las botellas no estaban deformadas en ninguna área y su apariencia se mantenía intacta.

Contrario al SKU 2, la resistencia obtenida en la prueba al empaque secundario y la multiplicación de los resultados de las botellas llenas por la unidad de empaque fueron bastante diferentes. La diferencia entre ambas pruebas fue de 359.22 kg. Se cree la diferencia mayor se debe a una mejor adaptación del diseño de SKU 2 a las velocidades de la prueba. Es muy probable que en la prueba de Top Load para el SKU 3 en algún momento estuviera ofreciendo resistencia el líquido, lo cual explicaría la mayor resistencia en el resultado. De igual forma se tomaran como base los resultados de la prueba al empaque secundario por ser la menor y a la vez la más crítica.

El empaque tiene la siguiente resistencia a la compresión total de 235.40 kg con una deflexión de 6.27 mm con un factor de seguridad de 2.72. Para la configuración actual, las botellas son consideradas como productos totalmente no portantes. La resistencia que ofrece cada botella es de 47.28 kg de los cuales 17.88 kg son de la botella vacía y 29.4 kg resultan de la interacción de la burbuja de aire entre el líquido y la tapa. En este caso se cree que también el líquido ofreció resistencia en la botella y por este motivo se tomará únicamente el valor obtenido al evaluar las bandejas como punto de referencia. El empaque actual tiene una resistencia total potencial de 1010.90 kg que resulta de la suma

de la resistencia de las botellas y de la resistencia otorgada por el corrugado (Ver Cuadros #31 y #36). Por otro lado, el empaque propuesto obvia todas las implicaciones de la caja de cartón corrugado y hace de las botellas producto autoportante. La resistencia final del empaque del SKU 3 es de 775.50 kg con una deformación no permanente de la botella de 5.97mm.

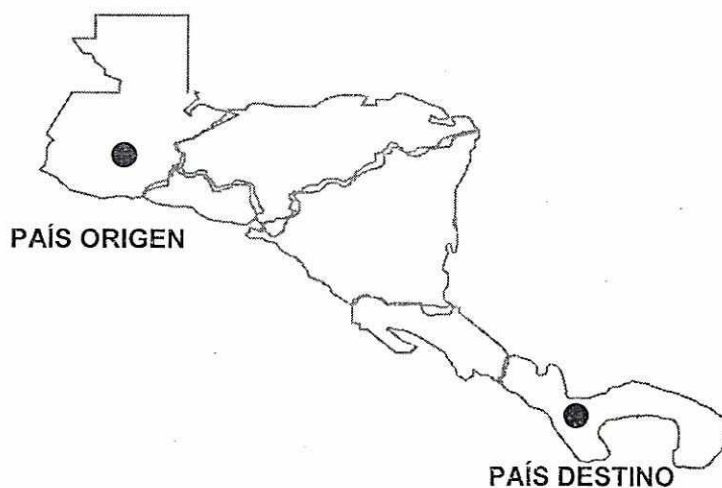
Con los resultados anteriores podemos aseverar que la nueva configuración del SKU 3 en bandejas tiene la capacidad suficiente para tolerar el flujo de distribución a los que va estar expuesto. El SKU 3 puede ser considerado como producto portante, a pesar de no tener la misma resistencia que el SKU 1. La resistencia de 775.50 kg del SKU 3 es comparable al peso de 7.66 refrigeradoras Whirpool de 101.15 kg c/u sobre una bandeja de botellas. Remover el corrugado no causará problemas en cuanto a la calidad de las botellas llenas durante todo el proceso de distribución del producto. Se cree que la resistencia actual de las botellas es adecuada para el cambio de empaque que se realizará.

Estos resultados ofrecen la posibilidad de concluir favorablemente para los tres SKU's evaluados. Sin lugar a duda la transición más fácil será la del SKU 1. Sin embargo tanto el SKU 2 como el SKU 3 no ofrecen mayores dificultades al observar los resultados obtenidos en las pruebas de compresión. Una vez obtenido el visto bueno de estas pruebas de laboratorio es necesario analizar las pruebas de Ruta de cada uno de los SKU's a evaluar.

4. Pruebas de ruta. Una vez los empaques propuestos pasan las pruebas de laboratorio disponibles en la empresa, es posible comenzar el proceso para ejecutar las pruebas de ruta para cada SKU. Estas pruebas son necesarias ya que colocan al producto en las circunstancias normales de transporte. Las pruebas de ruta son cualitativas en su mayoría, aún así, se cree que son de suma importancia para la validación de cualquier producto nuevo y/o que tenga algún cambio relevante en su estructura de empaque como es el caso en este proyecto.

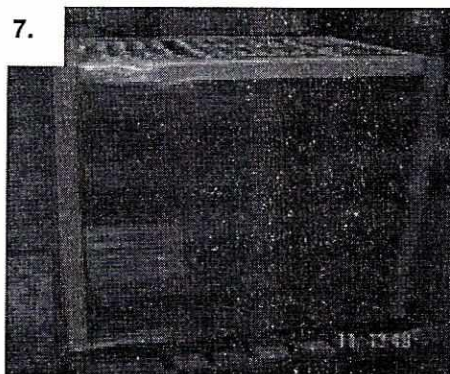
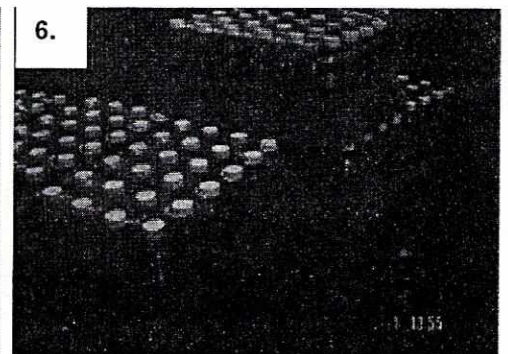
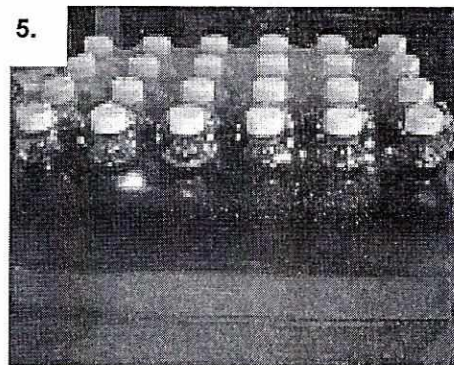
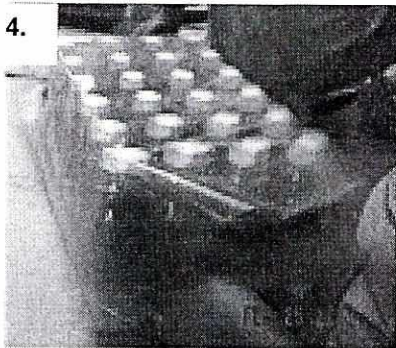
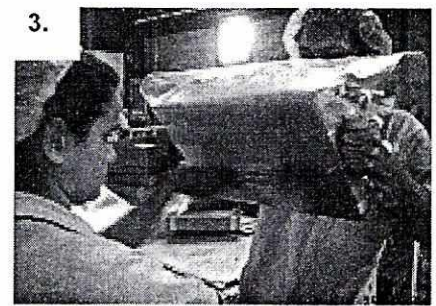
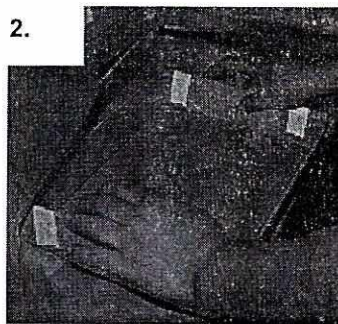
Para validar el proyecto desde el punto de vista de calidad es necesario que los resultados de la prueba de ruta para el empaque propuesto sean satisfactorios. En este caso lo importante es que el empaque propuesto se comporte de igual o mejor forma que el empaque actual. Aunque en este caso es dudoso que se comporte de mejor forma ya que en la nueva propuesta se elimina al corrugado que funcionaba como una barrera extra de protección.

Una vez se determina la necesidad de la prueba de ruta es necesario establecer un destino que sea crítico para el producto. Para este proyecto el destino elegido fue Panamá vía terrestre. Este destino es bastante crítico ya que durante todo el trayecto la carga experimenta diferentes condiciones climáticas y la calidad del asfalto es variable de país en país.



Gráfica #30: Destino de prueba de ruta

Para armar las tarimas de prueba fue necesario contactar al proveedor de bandejas y de film para obtener suficientes muestras para ejecutar la prueba. Una vez se obtuvieron muestras suficientes para armar las tarimas, se procedió a armarlas manualmente en la planta de producción. (Ver Fotografía 11)



1. Armado de bandejas
2. Armado de bandejas
3. Colocación de film termoencogible
4. Asegurar film termoencogible
5. Bandeja terminada
6. Conjunto de bandejas
7. Tarima terminada

Fotografía #11: Armado de tarimas de prueba

El armado de las tarimas testigo y las tarimas de prueba fue ejecutado de forma cuidadosa para satisfacer con las especificaciones de cada tarima. Las tarimas fueron identificadas con el país destino y con la persona encargada de evaluar la prueba en el país destino.

Una vez terminadas las tarimas de prueba para el SKU 1, 2 y 3 éstas fueron enviadas a su destino. El tiempo de respuesta de Panamá para una prueba es de 10 días, por ser tres pruebas simultáneas el tiempo de respuesta establecido fue de 20 días.

Durante el tiempo de tránsito hacia Panamá se enviaron los documentos para la revisión adecuada del producto en Panamá. Cada prueba de ruta es diferente por lo que es necesario mandar un cuestionario de acuerdo a lo que se pretende evaluar. En este caso lo que se busca evaluar son las tarimas del empaque actual contra el empaque propuesto de una forma equivalente y aleatoria.

Para fines de comparación la prueba tendrá una sección cualitativa y otra cuantitativa.

Para la sección cualitativa se pidió a la persona del país destino que evaluara cada pallet de acuerdo a una serie de preguntas enviadas que son necesarias para determinar si el producto llega en buenas condiciones a simple vista. (Ver Anexo 9, Cuestionario de Revisión). En todos los SKU's, tanto del empaque actual como del propuesto, los resultados fueron satisfactorios.

En la sección cuantitativa se utilizó un sistema de la empresa para seleccionar el tamaño de muestra para cada SKU de acuerdo a la criticidad de la prueba. Una vez se obtuvo la muestra se contó el número de botellas no defectuosas en cada categoría de evaluación para cada muestra de botellas y de esta forma se obtuvo el Índice de Calidad de cada tarima evaluada. (Ver Cuadros #38, #39 y #40) Las categorías críticas de evaluación fueron: rayones, fugas y botellas deformadas. La categoría de rayones se escogió ya que se creía que al eliminar el corrugado las botellas estarían más expuestas a laceraciones durante el transporte. La categoría de fugas se escogió ya que ésta es una categoría que siempre debe evaluarse al realizar pruebas con líquidos por la delicadeza de los mismos. De la misma forma la categoría de deformaciones permanentes se escogió ya que la eliminación del corrugado le quitaba en aproximadamente 200.00 Kg de resistencia a la compresión en cada SKU. Para aprobar la prueba de ruta es necesario que

la configuración de empaque propuesta tenga resultados similares a la configuración de empaque actual.

Tamaño	Numero total de botellas por tarima	Tamaño de muestra (n)
SKU 1	1440	1104
SKU 2	864	600
SKU 3	960	648

Cuadro #37: Tamaño de muestra

Tamaño	Tamaño de Muestra para ambas propuestas de empaque	Muestras en buen estado Empaque Actual	Índice Calidad Empaque Actual (%)	Muestras en buen estado Empaque Propuesto	Índice Calidad Empaque Propuesto (%)	Variación en Índice de Calidad (%)
SKU 1	1104	1104	100.00	1104	100.00	0.00
SKU 2	600	600	100.00	598	99.67	0.33
SKU 3	648	648	100.00	648	100.00	0.00

Cuadro #38: Resultados de rayones en las botellas

Tamaño	Tamaño de Muestra para ambas propuestas de empaque	Muestras en buen estado Empaque Actual	Índice Calidad Empaque Actual (%)	Muestras Defectuosas Empaque Propuesto	Índice Calidad Empaque Propuesto (%)	Variación en Índice de Calidad (%)
SKU 1	1104	1104	100.00	1104	100.00	0.00
SKU 2	600	593	98.83	597	99.50	0.67
SKU 3	648	648	100.00	645	99.54	0.46

Cuadro #39: Resultados de fugas en las botellas

Tamaño	Tamaño de Muestra para ambas propuestas de empaque	Muestras en buen estado Empaque Actual	Índice Calidad Empaque Actual (%)	Muestras Defectuosas Empaque Propuesto	Índice Calidad Empaque Propuesto (%)	Variación en Índice de Calidad (%)
SKU 1	1104	1104	100.00	1104	100.00	0.00
SKU 2	600	585	97.50	582	97.00	0.50
SKU 3	648	640	98.76	641	98.92	0.16

Cuadro #40: Resultados de botellas deformadas permanentemente

En todos los SKU's los resultados cuantitativos fueron satisfactorios tanto para el empaque actual como para el empaque propuesto. Los resultados del Índice de Calidad para todos los SKU's fueron satisfactorios para ambas configuraciones de empaque y todos arriba del 97%. Las variaciones son leves para cada (Ver Cuadros #38, #39 y #40) Estas variaciones eran de esperarse ya que al quitarle el corrugado al empaque este se hace más frágil. Lo que no se esperaba es que las variaciones fueran tan pequeñas. Por ser tan pequeñas las variaciones en todos los productos evaluados estas son despreciables y se puede seguir adelante con el proyecto desde el punto de vista calidad. El Índice de Calidad promedio para el empaque actual fue de 99.45% mientras que para el empaque propuesto el resultado fue de 99.40% para las tres categorías críticas. Los resultados entre ambas configuraciones de empaque son casi idénticos y por lo tanto se debe seguir adelante con el proyecto. Vale la pena recalcar que las pruebas realizadas en laboratorio indicaban también la funcionalidad del empaque propuesto.

IV. CONCLUSIONES

Con todas las observaciones y resultados que aparecen en el cuerpo de este trabajo de graduación se puede concluir que el proyecto de introducir una empaquetadora automática de botellas es factible para la empresa tanto desde el punto de vista económico como de uno enfocado a la calidad.

Del estudio de la evaluación de la línea se puede concluir que al introducir una empaquetadora de botellas se estará balanceando la línea de acuerdo al principio de la máquina crítica. Además se estará automatizando toda el área de empaque, lo cual garantizara un flujo de producto más uniforme y continuo.

Para recibir todos los beneficios de productividad es necesario que la máquina empaquetadora que se compre tenga una velocidad que se adecue a la gráfica "V" de la línea de llenado.

Al tener la capacidad para aumentar la velocidad en cualquiera de las máquinas no críticas. Sé esta garantizando la operación de la máquina de acuerdo al principio de la máquina crítica.

En cuanto al aspecto económico, la reducción de costos y gastos entre la configuración de empaques actual y la configuración de empaques propuesta es bastante notable. El ahorro que se obtiene en material de empaque se debe principalmente a la disminución del área de cartón corrugado utilizado por la bandeja en comparación con las cajas RSC. Este ahorro es de \$57,294. Lo mismo se puede decir para las cajas tipo wraparound, aunque el ahorro es menor debido a que no se elimina tanta área de cartón corrugado por cada empaque secundario. El ahorro al usar cajas wraparound es de \$34,574. En resumen se compra menos cantidad de cartón para empaquetar la misma cantidad de botellas.

En cuanto al ahorro de mano de obra éste se debe a la eliminación en la línea de 12 operadores del área de empaque. Esto genera un ahorro de \$50,400 que unido a los ahorros en material de empaque ayudara a que la inversión de la empaquetadora en el proyecto sea retornada rápidamente.

Para la configuración en bandeja la única máquina que satisface la normativa de la empresa de obtener el retorno de inversión en un lapso no mayor a cuatro años es la máquina C. Con la Máquina C se obtiene una TIR(10 años)=48% y una TIR(5 años)=35%.

Para la configuración en caja wraparound la única máquina que satisface la normativa de la empresa de obtener el retorno de inversión en un lapso no mayor a cuatro años es la máquina C. Con la máquina C se obtiene una TIR(10 años)=33% y una TIR(5 años)=16%.

Del empaque se puede decir que tanto el uso de la bandeja como de la caja wraparound hacen que las botellas y no el empaque secundario resistan todas las fuerzas de compresión en el ciclo de Distribución. En otras palabras, se cambia la estructura “No portante” de las botellas para convertirlas en producto “autoportante”.

Sin lugar a dudas el SKU 1 es producto autoportante. En general, el empaque actual tiene una resistencia total potencial de 1291.35 kg, que es la suma de la resistencia de las botellas con la resistencia del corrugado. En la actualidad únicamente el corrugado ofrece toda la resistencia a la compresión. Por otro lado, el empaque propuesto obvia todas las implicaciones de la caja de cartón corrugado y hace de las botellas producto autoportante. La resistencia final del empaque propuesto del SKU 1 es de 1036.75 kg. Debido a los pocos daños y a la alta resistencia del SKU 1 se cree que éste está sobredimensionado.

Al hablar del SKU 2 se cree que éste presenta un mayor riesgo al momento de realizar el cambio de configuración de empaque debido al diseño más alto de la botella.

La fuerza total que resiste todo el empaque secundario del SKU 2 es de 230.76 kg y se deflexiona 6.40mm. El empaque actual tiene una resistencia total potencial de 948.90 kg que resulta de la suma de la resistencia de las botellas y de la resistencia otorgada por el corrugado. La resistencia final del empaque propuesto para el SKU 2 es de 718.14 kg con una deformación no permanente de la botella de 7.33mm.

El SKU 2 es producto autoportante, aunque no tiene la misma resistencia que el SKU 1 en el cual se concluye que tanto el empaque actual como el propuesto están sobredimensionados.

El empaque del SKU 3 tiene una resistencia a la compresión total de 235.40 kg con una deflexión de 6.27 mm. El empaque actual tiene una resistencia total de 1010.90 kg que resulta de la suma de la resistencia de las botellas y de la resistencia otorgada por el corrugado. La resistencia final del empaque propuesto del SKU 3 es de 775.50 kg con una deformación no permanente de la botella de 5.97mm.

Con los resultados anteriores podemos aseverar que la configuración del SKU 3 en bandejas tiene la capacidad suficiente para tolerar el flujo de distribución a los que va estar expuesto. El SKU 3 puede ser considerado como producto autoportante, a pesar de no tener la misma resistencia que el SKU 1

En las pruebas de ruta los resultados del Índice de Calidad para todos los SKU's fueron satisfactorios para ambas configuraciones de empaque y todos arriba del 97%.

El Índice de Calidad promedio para el empaque actual fue de 99.45% mientras que para el empaque propuesto el resultado fue de 99.40% para las tres categorías críticas. Los resultados entre ambas configuraciones de empaque son casi idénticos y, por lo tanto, se considera que el proyecto es factible desde el punto de vista de calidad.

VI. RECOMENDACIONES

Se considera que el empaque actual del SKU 1 está sobredimensionado ya que la estructura fuerte y portante de las botellas no amerita un corrugado con tanta resistencia. Además se cree que la capacidad del empaque propuesto (1036.75 kg) es aún demasiado alta para el tipo de producto que se está empacando. Una recomendación para otro proyecto de ahorro es disminuir el gramaje de la preforma actual en el SKU 1 para ahorrar en gastos de material siempre y cuando se realicen las pruebas pertinentes para validar dicho proyecto.

Se recomienda buscar otros productos dentro de la empresa que puedan ser incluidos en proyectos similares de reducción en material de empaque para generar ahorros.

Una vez el proyecto esté en marcha se recomienda monitorear esporádicamente el desempeño del producto tanto en la bodega como en los países destino para determinar si el proyecto es totalmente autosostenible.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Fabricantes de Cartón Ondulado(AFCO). 1999. *Manual de Formación Técnico Comercial del Cartón Corrugado*. Primera Edición.

Madrid. AFCO. Pp. 263.

Baca Urbina, Gabriel. 1997. *Evaluación de Proyectos*. Tercera Edición. González Hernández, Filiberto. México.

McGraw-Hill. Pp.339.

Barry Wehmiller Design Group. 2003.<<Line Design Principles>>Boletín Informativo.

Blank, Leland y Tarquin, Anthony. 2004. *Ingeniería Económica*. Quinta Edición. Hano Roa, María del Carne.

Guatemala. McGraw-Hill Interamericana. Pp. 796.

FEFCO Testing Method No.50. Determination of the Compression Resistance of Corrugated fibreboard containers. <http://www.fefco.org>

Maltenfort, George G. 1990. *Corrugated Shipping Containers: An Engineering Approach*. Segunda Edición.

Plainview, NY. Jelmar Publishing Co. Pp. 291.

<http://www.packexpo.com>

PBI Testing Method PBI3-1968. Vertical Compresión Test.

<http://www.plasticsindustry.org>

Sapag Chain, Nassir y Sapag Chain, Reinaldo. 2003. *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Cuarta Edición.

Guatemala. McGraw-Hill Interamericana. Pp. 439

ANEXO 2. RESULTADOS DE PRUEBAS A BOTELLAS VACÍAS

TOP LOAD							
Botella Vacía							
Fecha:	03-Feb-05			Máquina:	xxxx		
No. Cavidad:	1 cavidad			Molde:	xxxx		
Producto:	SKU 1, 2 y 3			Preforma:	PET		
Hora de Inicio:	11:00 HRS			Peso:	25 gr		
Hora Final:	15:00 HRS						
Analista	xxxx			Solicitado por:	xxxx		
		SKU 1		SKU 2		SKU 3	
Muestra	Peso (g)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)
1	25	46.64	4.11	17.9	3.26	18.03	5.08
2	25	48.25	4.06	17.83	3.58	17.97	5.15
3	25	47.2	4.02	17.48	3.23	17.97	4.95
4	25	50	4.65	17.54	3.14	18.38	5.2
5	25	44.82	3.68	16.85	2.87	17.97	5.04
6	25	45.59	3.78	16.85	2.86	17.9	4.83
7	25	46.15	3.99	17.27	2.91	17.83	5.03
8	25	44.68	3.53	16.71	2.58	17.76	4.83
9	25	45.24	3.78	16.85	2.63	17.9	5.19
10	25	44.68	3.51	15.8	2.77	18.03	5.02
11	25	45.94	3.83	17.76	2.79	17.9	4.9
12	25	44.68	3.64	17.54	3.01	17.34	4.88
13	25	44.89	3.78	17.13	2.73	17.83	5.19
14	25	44.68	3.68	16.78	2.86	17.9	5.03
15	25	44.4	3.83	17.76	3.07	17.83	5.04
16	25	43.56	3.55			17.76	4.84
17	25	43.7	3.55			17.76	4.78
MAX	25	50	4.65	17.9	3.58	18.38	5.2
MIN	25	43.56	3.51	15.8	2.58	17.34	4.78
PROM	25	45.72	3.85	17.16	2.97	17.88	5.00

ANEXO 3. RESULTADOS DE PRUEBAS A BOTELLAS LLENAS

TOP LOAD							
Botella Llena							
Fecha:	06-Feb-05			Máquina:	xxxx		
No. Cavidad:	1 cavidad			Molde:	xxxx		
Producto:	SKU 1, 2 y 3			Preforma:	PET		
Hora de Inicio:	6:00 HRS			Peso:	25 gr		
Hora Final:	13:00 HRS						
Analista	xxxx			Solicitado por:	xxxx		
		SKU 1		SKU 2		SKU 3	
Muestra	Peso (g)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)
1	25.00	59.23	3.83	29.00	4.00	45.52	4.37
2	25.00	55.17	3.64	32.00	6.00	44.82	5.04
3	25.00	60.42	4.00	31.00	5.86	48.95	5.00
4	25.00	56.08	3.68	28.36	4.57	47.83	4.70
5	25.00	61.75	6.16	27.32	5.00	46.08	5.13
6	25.00	54.33	10.00	29.14	6.14	49.30	5.23
7	25.00	55.31	3.81	31.56	5.95	45.30	4.74
8	25.00	56.33	4.02	32.44	4.20	48.46	5.00
9	25.00	57.84	5.97	31.89	4.56	47.27	4.70
10	25.00	58.24	5.05	28.19	4.81	49.31	5.50
MAX	25.00	61.75	10.00	32.44	6.14	49.31	5.50
MIN	25.00	54.33	3.64	27.32	4.00	44.82	4.37
PROM	25.00	57.47	5.02	30.09	5.11	47.28	4.94

ANEXO 4. RESULTADOS DE PRUEBAS A CORRUGADO VACÍO

TOP LOAD							
Corrugado Vacío							
Fecha:	09-Feb-05			Máquina:	xxxx		
No. Cavidad:	xxxx			Molde:	xxxx		
Producto:	SKU 1, 2 y 3			Preforma:	PET		
Hora de Inicio:	8:00 HRS			Peso:	25 gr		
Hora Final:	14:00 HRS						
Analista	xxxx			Solicitado por:	xxxx		
		SKU 1		SKU 2		SKU 3	
Muestra	Mullen	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)
1	200.00	256.70	6.79	253.00	5.28	222.00	5.51
2	200.00	245.00	7.57	215.00	6.60	250.00	4.94
3	200.00	252.00	7.71	254.00	7.69	247.00	5.07
4	200.00	265.30	6.27	223.80	4.70	250.00	7.14
5	200.00	254.00	7.30	208.00	7.75	208.00	8.68
MAX		265.30	7.71	254.00	7.75	250.00	8.68
MIN		245.00	6.27	208.00	4.70	208.00	4.94
PROM		254.60	7.13	230.76	6.40	235.40	6.27

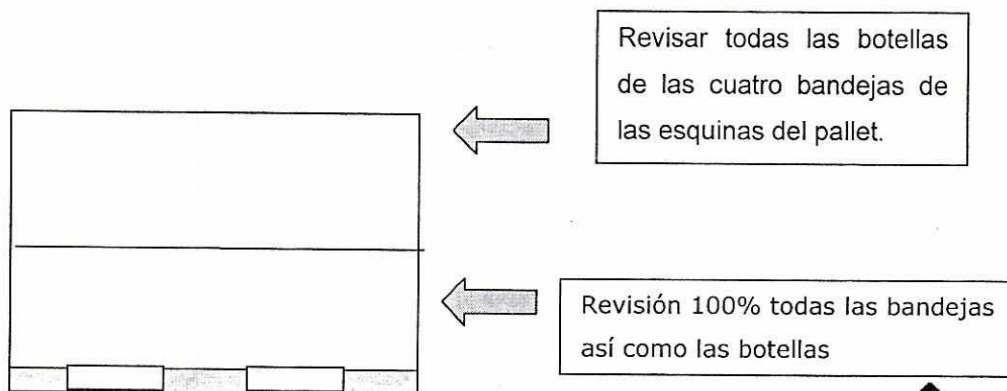
ANEXO 5. RESULTADOS DE PRUEBAS A BANDEJA LLENA

TOP LOAD							
Bandeja Llena							
Fecha:	09-Feb-05			Máquina:	xxxx		
No. Cavidad:	xxxx			Molde:	xxxx		
Producto:	SKU 1, 2 y 3			Preforma:	PET		
Hora de Inicio:	8:00 HRS			Peso:	25 gr		
Hora Final:	14:00 HRS						
Analista	xxxx			Solicitado por:	xxxx		
		SKU 1		SKU 2		SKU 3	
Muestra	Mullen	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)	Fuerza (Kg)	D max (mm)
1	200.00	1018.05	15.33	698.14	7.66	748.00	6.80
2	200.00	1042.00	16.80	717.13	6.99	787.00	5.39
3	200.00	1039.00	16.53	724.76	6.57	790.00	5.46
4	200.00	1038.40	17.00	695.44	7.32	767.26	6.00
5	200.00	1046.30	17.67	755.23	8.12	785.24	6.18
MAX		1046.30	17.67	755.23	8.12	790.00	6.80
MIN		1018.05	15.33	695.44	6.57	748.00	5.39
PROM		1036.75	16.67	718.14	7.33	775.50	5.97

ANEXO 6. PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE PRUEBA DE RUTA DEL SKU 1 EMPAQUE ACTUAL Y PROPUESTO

PROYECTO: Sustitución de caja por film y bandeja para limpiadores líquidos

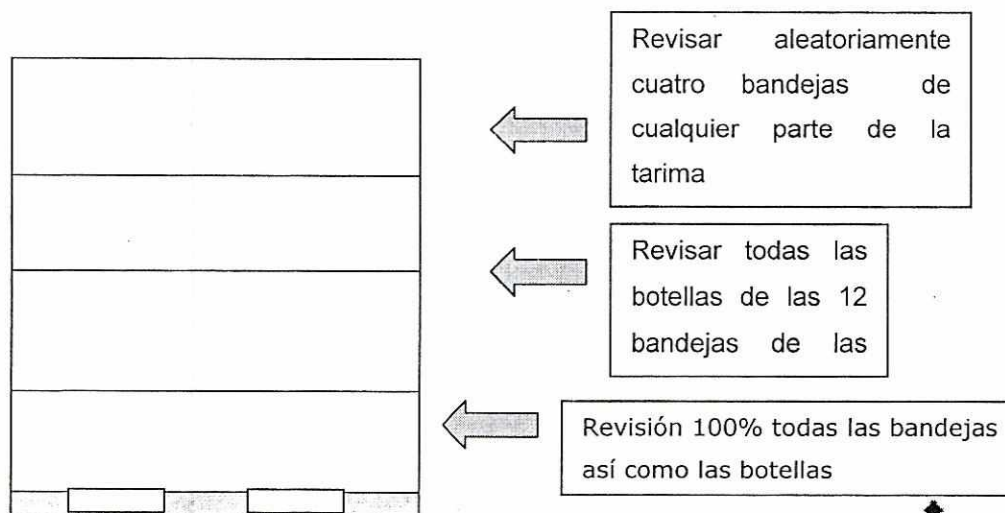
1. Tomar fotografías de las tarimas a su llegada a la bodega
2. Inspeccionar el estado general de las botellas, si existen daños importantes en cuanto a rayones, deformaciones de la botella y fugas
3. Revisar completamente la cama inferior de la tarima (720)botellas, realizando una revisión del 100% de las botellas de limpiador líquido de todas las bandejas.
4. De las camas restantes muestrear ocho bandejas (384 botellas), de la siguiente manera: cuatro bandejas de las esquinas restantes. Las otras cuatro bandejas deben ser muestreadas aleatoriamente de la segunda cama
5. Tomar fotografías de los defectos encontrados, y si lo amerita, enviar muestras de los mismos.
6. Debe realizarse el mismo muestreo a las cajas de la tarima testigo del SKU1.
7. Llenar el cuestionario de la prueba de ruta.



ANEXO 7. PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE PRUEBA DE RUTA DEL SKU 2 EMPAQUE ACTUAL Y PROPUESTO

PROYECTO: Sustitución de caja por film y bandeja para limpiadores líquidos

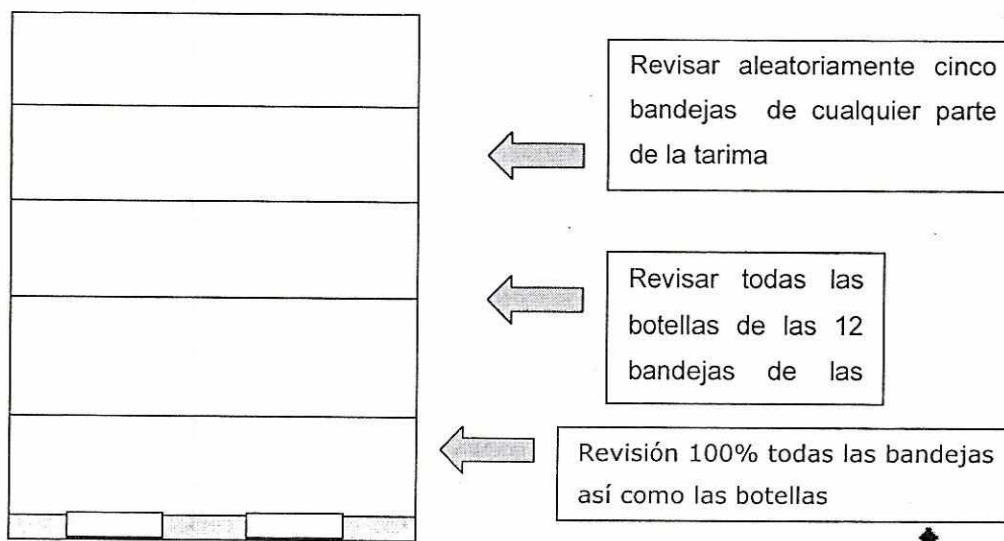
1. Tomar fotografías de las tarimas a su llegada a la bodega
2. Inspeccionar el estado general de las botellas, si existen daños importantes en cuanto a rayones, deformaciones de la botella y fugas.
3. Revisar completamente la cama inferior de la tarima (216)botellas, realizando una revisión del 100% de las botellas de limpiador líquido de todas las bandejas.
4. De las camas restantes muestrear 16 bandejas (384 botellas), de la siguiente manera: 12 bandejas (288 botellas) de las esquinas restantes. Las otras cuatro bandejas (96 botellas) deben ser muestreadas aleatoriamente de toda la tarima
5. Tomar fotografías de los defectos encontrados, y si amerita, enviar muestras de los mismos.
6. Debe realizarse el mismo muestreo a las cajas de la tarima testigo del SKU2.
7. Llenar el cuestionario de la prueba de ruta.



ANEXO 8. PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE PRUEBA DE RUTA DEL SKU 3 EMPAQUE ACTUAL Y PROPUESTO

PROYECTO: Sustitución de caja por film y bandeja para limpiadores líquidos

1. Tomar fotografías de las tarimas a su llegada a la bodega
2. Inspeccionar el estado general de las botellas, si existen daños importantes en cuanto a rayones, deformaciones de la botella y fugas.
3. Revisar completamente la cama inferior de la tarima (240)botellas, realizando una revisión del 100% de las botellas de limpiador líquido de todas las bandejas.
4. De las camas restantes muestrear 17 bandejas (408 botellas), de la siguiente manera: 12 bandejas (288 botellas) de las esquinas de las camas 2, 3 y 4. Las otras cinco bandejas (120 botellas) deben ser muestreadas aleatoriamente de toda la tarima
5. Tomar fotografías de los defectos encontrados, y si amerita, enviar muestras de los mismos.
6. Debe realizarse el mismo muestreo a las cajas de la tarima testigo del SKU3.
7. Llenar el cuestionario de la prueba de ruta.



ANEXO 9. MUESTRA DE REPORTE DE PRUEBA DE RUTA

REPORTE DE PRUEBA DE RUTA		
PLANTA GUATEMALA		
Fecha de Evaluación Marzo 20 del 2005	Nombre Ingeniero de Empaque XXXXXXX	
Producto SKU 1 Prueba de Bandeja	Nombre del proyecto Sustitución de Caja por Film y bandeja	
Objetivo de la Prueba Evaluar el uso de film y bandejas como embalaje secundario de las botellas de limpiador liquido		
INFORMACION DE LA PRUEBA DE RUTA Y REPORTE		
a) Filled (Location): Guatemala	c) Fecha de Despacho Marzo 3 del 2005	
b) Destino PANAMA	d) Fecha de recibo a bodega Marzo 18 del 2005	e) DESTINO PANAMA
INFORMACION Y REPORTE DE PALETIZADO & CORRUGADO		
a) Cajas por cama 15	e) Bandejas en su lugar? Si todas las bandejas estaban en su lugar	
b) Camas por tarina 2	f) Stretch Film o.k. ? Si, no existe problema con el stretch film	
c) Cajas por tarima 30	h) Algun otro daño? A simple vista no se encuentra ningun dano.	
d) Especificaciones de Paletizado Columnar		
INFORMACION DEL PRODUCTO EMPACADO & RESULTADOS		
a) Las botellas estan bien dispuestas dentro de la bandeja? Si, todas la botellas estan bien dispuestas dentro de la bandeja.		
b) Existe algun dano a simple vista en las botellas? Ningun dano observable a simple vista.		
c) Existe al dano a simple vista en las Etiquetas? Las etiquetas no presentan ningun dano aparente.		
d) En comparacion a la tarima testigo como cree que se comporto el empaque propuesto? De igual forma. Sin danos aparentes.		
e) Algun otro comentario?		
Comentarios Generales, Observaciones y/o Recomendaciones		
EN GENERAL EL PRODUCTO LLEGO EN PERFECTAS CONDICIONES.		
Prueba de Ruta Aprobada?		
<input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> RECHAZADO		
Prueba de Ruta Aprobada?	Rechazado	
Reporte y Analisis hecho por (en destino) XXXXXXX	Fecha: Marzo 20 del 2005	Firma: XXXXXX
Ingeniero de Empaque responsable XXXXXXX	Fecha: Marzo 25 del 2005	Firma Ing. De Empaque XXXXXX
Test Description & Objective: Evaluar el uso de film y bandejas como embalaje secundario de las botellas de limpiador liquido		

IX. GLOSARIO

Bandejas de cartón corrugado

Embalaje con cuatro solapas que se unen una con otra por medio de algún adhesivo y/o pestaña (Maltenfort, 1990.)

Cartón corrugado u ondulado

El cartón ondulado es el resultado de la aplicación de la teoría de la resistencia de los materiales al campo del papel. Esta culmina, como en el caso de los materiales de construcción, en el reemplazo de vigas pesadas con mucha masa, por estructuras estilizadas y con la misma rigidez, pero mucho más ligeras (AFCO, 1999.)

El cartón corrugado es un material de celulosa, constituido por la unión de varias hojas lisas que uno o varios ondulados mantienen equidistantes. Ello confiere al cartón la propiedad de ser indeformable (AFCO, 1999.)

Las hojas lisas exteriores se llaman caras o cubiertas, las hojas intermedias se llaman caras lisas y las hojas onduladas que forman los canales o flautas se les llaman ondulados o "médiun" (AFCO, 1999.)

ECT (Edge-Wise Crush Test)

Prueba de resistencia a la compresión del canto de una muestra de cartón corrugado (AFCO, 1999.)

Embalaje

Contenedor que constituya una unidad de agrupación, manipulación y de transporte (AFCO, 1999.)

Flujo de efectivo

Las entradas(ingresos) y salidas(costos) estimadas de dinero reciben el nombre de flujos de efectivo. Sin estimaciones del flujo de efectivo durante un periodo establecido resulta imposible llevar a cabo un estudio de Ingeniería Económica (Leland y Tarquin,2004:11).

Índice de calidad

Es la división de las piezas satisfactorias dividido dentro del total de piezas dentro de la muestra tomada. Indica el porcentaje de unidades no defectuosas dentro de una muestra cualquiera.

$$\text{Índice de Calidad} = (\text{Piezas Satisfactorias} / \text{Total de Piezas en Muestra}) \times 100\%$$

(http://www.oeo.com/calculating_oeo.html)

Hotmelt

Mezcla de productos químicos dotados de propiedades adhesivas al enfriarse. Se utiliza a altas temperaturas cuando se requiere de un pegado instantáneo (AFCO, 1999.)

Mullen

Índice de resistencia al reventamiento en el cartón corrugado (AFCO, 1999.)

PET (Polietileno Tereftalato)

Material plástico utilizado en contenedores que necesitan alta resistencia. Es usado en botellas de agua gaseosa, agua pura, limpiadores. Etc.

(<http://www.mindfully.org/Plastic/Polyethylene/Polyethylene-Terephthalate-Sheftel.htm>)

Regular Slotted Container (RSC)

Embalaje con cuatro solapas superiores y cuatro inferiores, idénticas dos a dos y de las que dos se unen a tope y dos no (AFCO, 1999.)

SKU (Stock Keeping Unit)

Es una identificación, generalmente alfanumérica, que se le hace a los productos para su manejo adecuado en el inventario de un empresa. El número SKU es asignado por el fabricante de acuerdo a sus necesidades.

(http://whatis.techtarget.com/gDefinition/0%2C294236%2Csid3_gci213590%2C00.html)

Stretch Film

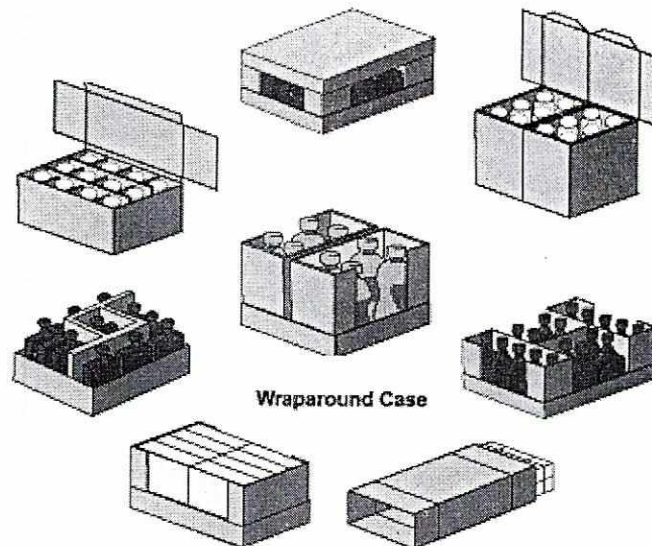
Film plástico dotado de características elásticas utilizado para unitizar cargas (AFCO, 1999.)

Tasa de rendimiento

Es la tasa pagada sobre el saldo no pagado del dinero obtenido en préstamo, o la tasa ganada sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma que el pago o entrada final iguala el saldo exactamente a cero con el interés considerado. La tasa de rendimiento está expresada como un porcentaje por periodo. (Leland y Tarquin,2004:12).

Wraparound Cases

Tipo de caja formada por agrupamiento automático donde una plancha de papel corrugado troquelado se dobla hasta que cubra todo los recipientes de empaque. Las solapas son pegadas con Hotmelt (AFCO, 1999.)



. Gráfica #31: Caja Wraparound