



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE DE LOS LISTONES
PORTANTES EN EL TRANSPORTE ASISTIDO POR AIRE DE ENVASES
VACÍOS DE PLÁSTICO, AIRCO**

JUAN ESTEBAN SIERRA ARIAS
Asesorado por Ing. Carlos Eduardo Rodríguez Pazos

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIRÍA

**FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE DE LOS LISTONES
PORTANTES EN EL TRANSPORTE ASISTIDO POR AIRE DE ENVASES
VACÍOS DE PLÁSTICO, AIRCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

JUAN ESTEBAN SIERRA ARIAS

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO RODRÍGUEZ PAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Elvis José Álvarez Valdez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE DE LOS LISTONES PORTANTES EN EL TRANSPORTE ASISTIDO POR AIRE DE ENVASES VACÍOS DE PLÁSTICO, AIRCO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 22 de julio de 2004.

JUAN ESTEBAN SIERRA ARIAS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XI
1 GENERALIDADES	
1.1 Desgaste	1
1.2 Tipos de desgaste	3
2 LISTONES PORTANTES	
2.1 Material de los listones portantes (UHMW-PE)	11
2.2 Propiedades mecánicas	14
2.3 Propiedades físicas	15
2.4 Composición química	17
3 ENVASE PLÁSTICO	
3.1 Material de los envases de plástico	21
3.2 Propiedades mecánicas	23
3.3 Propiedades físicas	25
3.4 Composición química	26

4	ANÁLISIS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN	
4.1	Curvas de esfuerzo-deformación del UHMW-PE	29
4.2	Gráficas de distribución de tensiones	32
4.3	Deformaciones propias del UHMW-PE y del envase plástico	37
4.3.1	Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE)	37
4.3.2	Polietileno de tereftalato (PET)	38
5	DESARROLLO PRÁCTICO DEL ANÁLISIS DEL DESGASTE DE LOS LISTONES PORTANTES	
5.1	Análisis del montaje de los listones portantes	39
5.2	Análisis del almacenamiento de los listones portantes	42
5.3	Ajustes de los listones portantes	43
5.4	Alineamiento de los listones portantes	46
5.5	Análisis de mediciones entre el envase y los listones Portantes	48
5.6	Análisis de la velocidad de los envases plásticos	50
5.7	Análisis de la temperatura en los listones portantes	53
5.8	Análisis del desgaste del material de los listones portantes nuevo y después de ser cambiado	55
6	EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL DESGASTE DE LOS LISTONES	
6.1	Recolección y análisis de los parámetros obtenidos	57
6.1.1	Ajuste	57
6.1.2	Velocidad	59
6.1.3	Temperatura	61
6.1.4	Nivelación	63
6.1.5	Distancia	64
6.1.6	Diferencia entre listones nuevos y usados	66

6.2 Estadísticas obtenidas del análisis del desgaste	67
6.2.1 Ajuste	68
6.2.2 Velocidad de los envases adquiridas en la planta	69
6.2.3 Temperatura	74
6.2.4 Nivelación	75
6.2.5 Distancia entre los envases y los listones portantes	76
6.2.6 Desgaste del listón portante	77
6.3 Discusión de resultados	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Modelo para el desgaste adhesivo	3
2	Modelo para el desgaste abrasivo, bi-elemento	4
3	Modelo para el desgaste abrasivo, tri-elemento	5
4	Modelo para el desgaste corrosivo oxidativo	6
5	Modelo para el desgaste por fatiga superficial	7
6	Modelo para el desgaste por erosión	8
7	Modelo para el desgaste por cavitación	9
8	Muestras del UHMW-PE	13
9	Muestras del UHMW-PE	13
10	Monómero y homopolímero	17
11	Fórmula del UHMW-PE	18
12	Envases plásticos	23
13	Fórmula del PET	27
14	Tipos de curvas de esfuerzo – deformación	29
15	Comportamiento viscoelástico	30
16	Diagrama de esfuerzo – deformación del UHMW-PE	32
17	Gráfica de distribución de tensiones	34
18	Diagrama de corte y momento	35
19	Sección del listón portante	36
20	Ajuste de los listones portantes	44
21	Distancia entre la botella y los listones portantes	49
22	Ventilador radial, y transporte de los envases plásticos	51
23	Gráfica de ajuste en los listones portantes	68

24	Gráfica de la velocidad en la sección inclinada	69
25	Grafica de la velocidad en la sección recta No. 1	70
26	Gráfica de la velocidad en la sección curva No 1 de 45°	71
27	Gráfica de la velocidad en la sección recta No. 2	72
28	Gráfica de la velocidad en la sección curva No. 2 de 45°	73
29	Gráfica de la temperatura de los listones portantes	74
30	Gráfica de nivelación de los listones portantes	75
31	Gráfica de la distancia entre envases y listones portantes	76
32	Gráfica del desgaste del listón portante en toda su longitud	77
33	Sección de los listones portantes	83
34	Sujetadores de los listones portantes	84
35	Vista superior de la planta transportadora	85

TABLAS

I	Propiedades mecánicas del UHMW-PE	14
II	Propiedades físicas del UHMW-PE	16
III	Propiedades mecánicas del PET	24
IV	Propiedades físicas del PET	25
V	Ajuste de los listones portantes	58
VI	Velocidad de los envases plásticos en cambio de secciones	60
VII	Temperatura de los listones portantes	62
VIII	Nivelación de los listones portantes	63
IX	Distancia entre los envases y los listones portantes	64
X	Diferencia entre listones nuevos y usados	66

LISTA DE SÍMBOLOS

g/mol	Gramo por cada unidad de mol.
kg/cm²	Kilogramo por cada unidad de centímetro cuadrado
m/s	Metro por cada unidad de segundo
°C	Grado Centígrado
GPa	Giga Pascal
MPa	Mega Pascal
Lbs/pulg²	Libras por cada unidad de pulgada cuadrada
C₂H₄	Etileno
K	Constante de conductividad térmica
W	Watt

GLOSARIO

Bi-elemento	Acción de contacto entre dos superficies.
Catalizador	Cuerpo dotado de propiedades capaces de acelerar una reacción química sin descomponerse ni combinarse.
Cetonas	Numerosos compuestos que se obtienen por oxidación de alcoholes secundarios.
Cristalización	Acción o efecto de cristalizarse, o en una sustancia de tomar forma cristalina.
Extrusión	Procedimiento de fabricación de perfiles continuos en prensas potentes que obligan a la materia a salir por una hilera cuya sección es la del perfil deseado.
Halógenos	Nombre dado a los elementos de la familia del cloro, como el flúor, bromo y yodo.
Polimerización	Reacción o serie de reacciones mediante las cuales numerosas moléculas pequeñas de un monómero son soldadas y forman moléculas gigantes de un polímero.

Polímero	Compuesto cuya molécula se halla constituida por la unión de varias moléculas idénticas.
Sinterización	Proceso para formar un cuerpo compuesto a partir de la combinación de cuerpos simples.
Supermolecular	Cuerpo que posee millones de moléculas en su estructura molecular.
Tereftálico	Ácido isómero del ácido ftálico, derivado del benceno, que entra en la fabricación de fibras sintéticas.
Termoplásticos	Plásticos que se reblandecen al calentarse y empiezan a fluir, y al enfriarlos se vuelven de nuevo sólidos.
Tri-elemento	Acción de contacto entre tres superficies.

RESUMEN

Con este trabajo de graduación se pretende conocer los factores que contribuyen en el desgaste de los listones portantes o rieles, donde circula la botella vacía de plástico, en un transporte asistido por aire; con el fin de analizar dichos listones y tomar una acción correctiva o preventiva sobre el sistema.

Para lograr esto se evaluó a los listones portantes, los factores de montaje, almacenamiento, ajuste, alineamiento, velocidad de los envases vacíos de plástico o botellas, temperatura, y la separación existente entre los envases y los listones portantes. Cada análisis se efectuó en una planta de refrescos de bebidas carbonatadas, para conocer los efectos directos que causan dichos factores sobre los listones portantes.

A pesar que dichos listones están hechos de un material plástico muy resistente al desgaste y al impacto, al analizar los datos obtenidos, se observó que los factores más influyentes en el desgaste de los listones portantes son la velocidad de los envases vacíos de plástico que circulan en su superficie y la distancia entre el par de los listones portantes y el envase plástico, cuyo sistema posee dimensiones no óptimas para un funcionamiento adecuado.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio para analizar el desgaste de los listones portantes utilizados en un sistema de transporte asistido por aire de envases vacíos de plástico.

Específicos

1. Conocer los factores internos que producen desgaste en los listones portantes.
2. Conocer los factores externos que producen desgaste en los listones portantes.
3. Analizar el tiempo de desgaste para reemplazar los listones portantes.
4. Analizar la cantidad de botellas transportadas por los listones portantes para reemplazarlos.
5. Analizar la cantidad de material desgastado entre reemplazo y reemplazo.

INTRODUCCIÓN

En un sistema de transporte asistido por aire AirCo, para envases vacíos de plástico, se considera que la parte que más sufre desgaste son los rieles o listones portantes por donde circulan las botellas plásticas vacías, los cuales guían la dirección de los envases por todo el sistema.

Los listones portantes son de plástico polietileno UHMW-PE (ultra-alto peso molecular), el cual posee una masa molecular por encima de los 3×10^3 kg/mol y es muy resistente al impacto, pero al igual que todos los materiales que están en constante abrasión, sufren desgaste y deterioro que ocasiona una mala circulación de los envases por el sistema de transporte asistido por aire.

1. GENERALIDADES

1.1 Desgaste

Hoy en día, la calidad de los productos depende de la condición de sus superficies y del deterioro de la superficie debido al uso. Este deterioro es importante también en la práctica de ingeniería; suele ser el factor principal que limita la vida y el desempeño de los componentes y el servicio de una máquina.

El desgaste se podría definir como el deterioro no intencional resultante del empleo o del ambiente; puede considerarse esencialmente como un fenómeno de superficie. Este deterioro puede ser en forma de pérdida de material, formación de microgrietas o también en términos de deformación plástica. El desgaste es una de las influencias más destructivas a la que están expuestos los elementos mecánicos.

En general, las tres variables más relevantes que afectan al desgaste son:

- el área de contacto,
- la fuerza de unión interfacial y
- la dinámica de los materiales.

El desgaste que implica un solo tipo es raro, en la mayoría de los casos ocurre el desgaste adhesivo y el abrasivo. Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones, que incluyen ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas que se acoplan, lubricante, temperatura, dureza, terminado de la superficie, presencia de partículas extrañas, composición y compatibilidad de las piezas de acoplamiento implicadas.

El desgaste de materiales, recursos y tiempo genera considerables pérdidas, además de una disminución de la producción, y conlleva a la pérdida de gran cantidad de medios para su reparación, así como en la elaboración o adquisición de nuevos elementos, si a estos factores se une la tendencia a incrementar las velocidades de trabajo, se tienen razones suficientes para entender por qué el incremento de la vida útil de los órganos de trabajo de las máquinas se ha convertido en un problema básico de la práctica de la ingeniería en los últimos años.

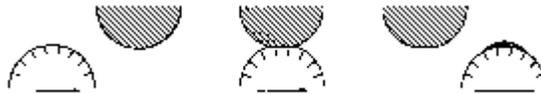
Dado que el desgaste no es un fenómeno simple, la resistencia al desgaste está representada en una menor cantidad de pruebas estandarizadas, por consiguiente una prueba “*universal*” de desgaste no es factible; por lo que se debe simular condiciones reales de servicio en la práctica del análisis.

1.2 Tipos o mecanismos de desgaste

Existen cuatro tipos principales de desgaste bien diferenciados, aunque todavía no hay un consenso en cuanto a la terminología utilizada:

Desgaste adhesivo: ocurre cuando dos superficies lisas entran en contacto deslizando la una respecto la otra, de modo que pequeños fragmentos de material son arrancados de una superficie y adheridos a la otra. Más tarde estos fragmentos pueden liberarse y ser transferidos a la superficie original a la cual pertenecen, o también pueden convertirse en partículas libres. (Ver Figura 1).

Figura 1. Modelo para el desgaste adhesivo



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de carburos cementados**, pág. 10.

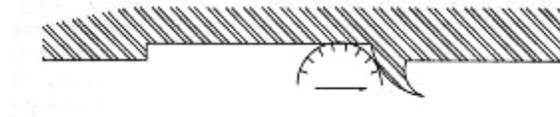
Este tipo de desgaste se da debido a las importantes fuerzas de adhesión que aparecen cuando dos superficies entran en contacto. Durante el deslizamiento, se puede formar un contacto entre las dos superficies, y existe una pequeña probabilidad de que cuando la unión se rompa, lo haga en una interfaz diferente a la original, de modo que un elemento transferido se habrá formado. El aspecto de la superficie desgastada será de ciertas ralladuras irregulares y superficiales.

Desgaste abrasivo: la abrasión se da cuando una superficie dura, o una superficie blanda con partículas duras, desliza sobre una superficie más blanda, causando una serie de cavidades y desplazando material de estas cavidades en forma de partículas generalmente libres. El desgaste abrasivo tiende a formar ralladuras profundas. Generalmente se distinguen dos tipos principales de contacto en el desgaste abrasivo:

- Desgaste bi-elemento: tiene lugar cuando una superficie (o elemento) abrasivo se desliza sobre otra superficie.
- Desgaste tri-elemento: la partícula abrasiva es retenida entre dos superficies.

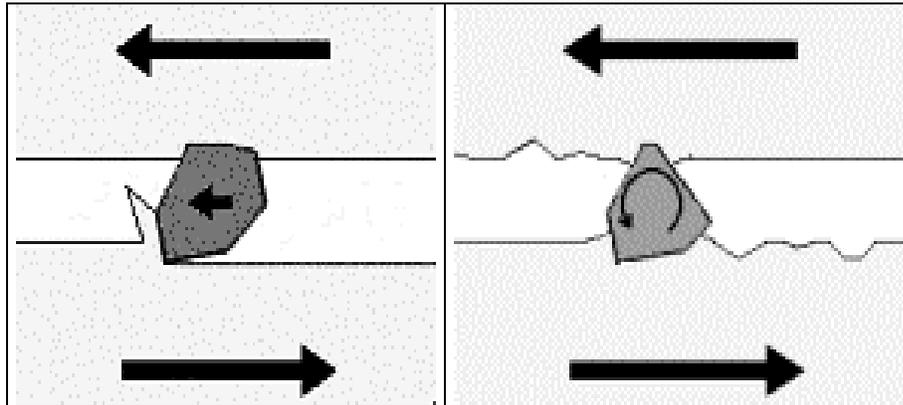
En las siguientes figuras se puede observar dichos mecanismos:

Figura 2. Modelo para el desgaste abrasivo, bi-elemento



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de Carburos Cementados**, pág. 11.

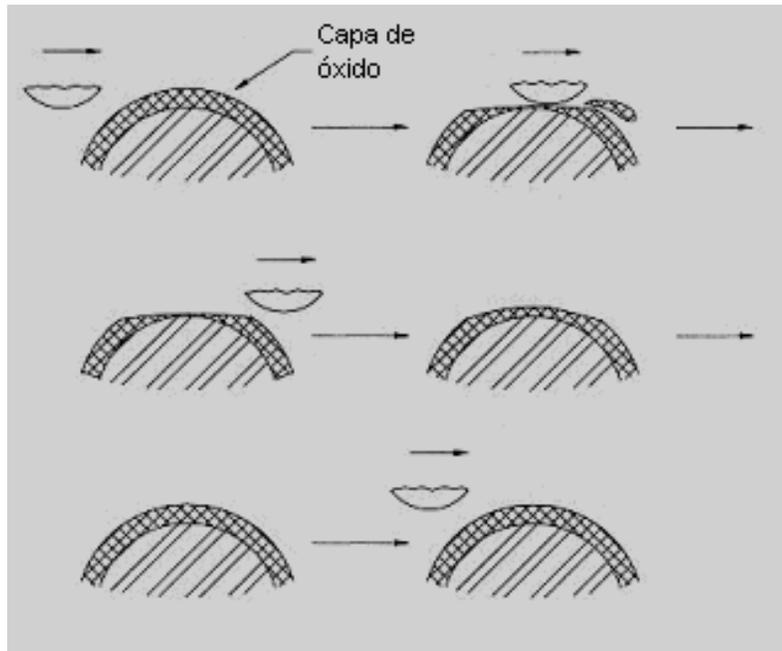
Figura 3. Modelo para el desgaste abrasivo, tri-elemento



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de carburos cementados**, pág. 11.

Desgaste corrosivo: cuando las superficies en contacto se encuentran en un medio corrosivo, los productos de la corrosión formarán una capa encima de las superficies que frenará o inhibirá la corrosión. Sin embargo, el continuo deslizamiento podría arrancar este film, y continuar el ataque corrosivo. Uno de los principales tipos de desgaste corrosivo es el producido por la simple oxidación de las capas superficiales del material:

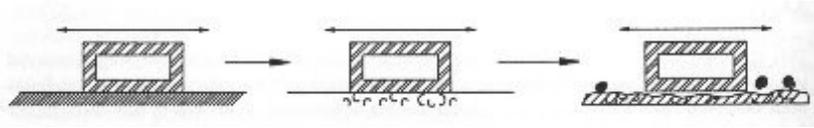
Figura 4. Modelo para el desgaste corrosivo oxidativo



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de carburos cementados**, pág. 12.

Desgaste por fatiga superficial: se observa durante el deslizamiento o rodamiento repetitivo a lo largo de una huella. La exposición a ciclos de carga y descarga de las superficies puede inducir la formación de grietas superficiales o justo por debajo de ella, que podrían romper la superficie en forma de grandes fragmentos, dejando grandes marcas en la superficie (ver Figura 4). Este desgaste aumenta cuando el deslizamiento es del tipo vaivén.

Figura 5. Modelo para el desgaste por fatiga superficial



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de carburos cementados**, pág. 13.

Existen también otras formas de desgaste que también afecta a los materiales mecánicos, y son las siguientes:

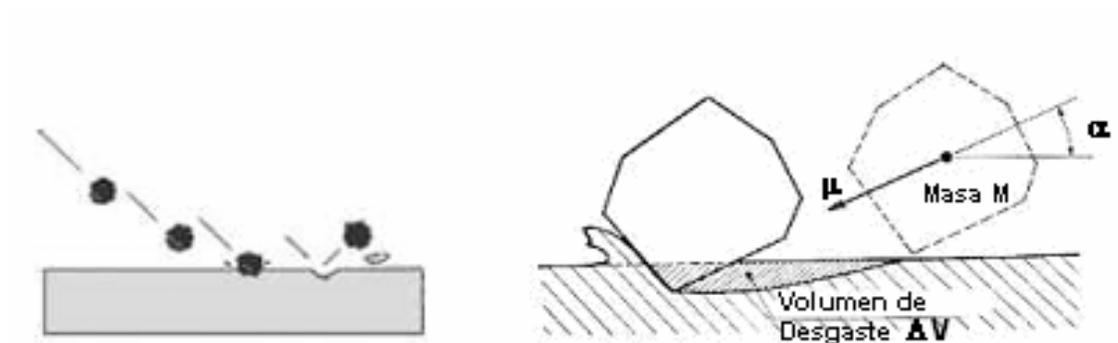
Frotamiento: se da cuando dos superficies deslizan entre ellas tangencialmente con un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Puede ser eliminado si se impide el deslizamiento, o inhibido usando lubricantes de “película gruesa”, lo cual dará una lubricación suficiente para eliminar por completo el contacto, y el desgaste se reduce a una cantidad despreciable.

Erosión: proceso por el cual una partícula transportada por un medio fluido impacta sobre una superficie y arranca material de ella. Existen dos tipos de erosión bien diferenciados:

Erosión a baja velocidad: cuando partículas pequeñas chocan contra una superficie y se deslizan a lo largo de ella, produciendo pequeñas partículas, solo una cierta distancia hasta que se separan. Las velocidades son del orden de 5-200 m/s.

Erosión a alta velocidad: cuando las partículas que impactan se mueven a gran velocidad, al chocar producen grietas que crecerán para finalmente liberar partículas. En un material dúctil, al principio no habrá desgaste, pero seguidamente se dará un desgaste por fatiga superficial. En un material frágil, la fractura superficial se dará en menos tiempo.

Figura 6. Modelo para el desgaste por erosión



Fuente: Cardellach R. Martha, **Desgaste de carburos cementados**, pág. 13.

Erosión-cavitación: una superficie es recubierta por un líquido en compresión hidrostática. En este líquido en tensión se pueden formar burbujas de aire simplemente, de modo que el líquido se encontrará otra vez en compresión, presionando las burbujas, que se pueden dirigir a velocidad supersónica contra la superficie del sólido, dañándola. El proceso de cavitación se resume en 4 fases principales:

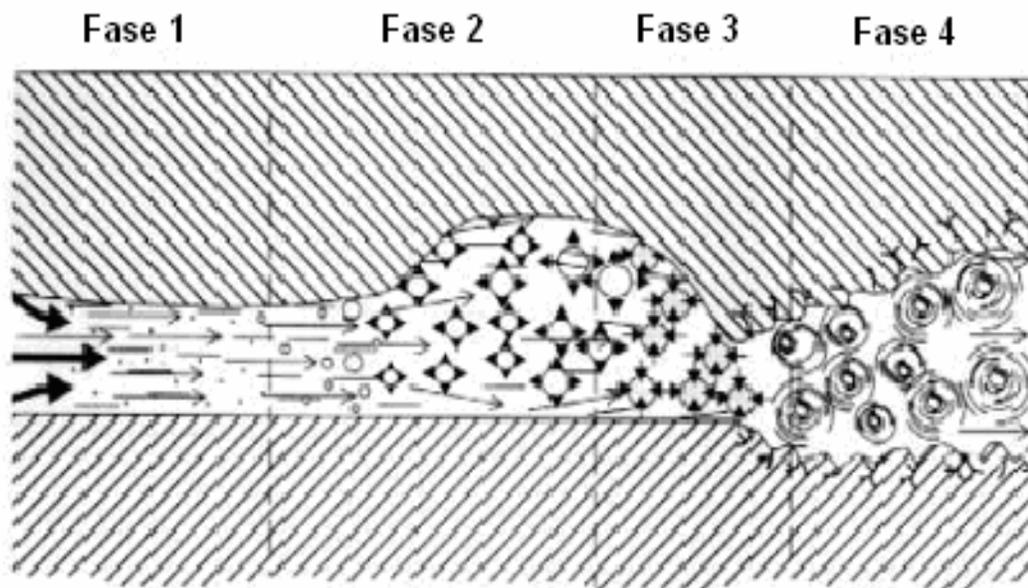
Fase 1: formación de burbujas de vapor en las regiones donde la presión es inferior a la presión de vapor del líquido.

Fase 2: crecimiento de las burbujas de vapor, favorecido por las microburbujas de aire atrapado, por otros gases atrapados en el fluido y por las pequeñas impurezas transportadas por el fluido.

Fase 3: compresión brusca de las burbujas al llegar el líquido a áreas de presión superior.

Fase 4: las burbujas son totalmente inestables estallando de manera violenta en la mayoría de los casos. El colapso de las burbujas desencadena microproyecciones de fluido que inciden directamente sobre la pared del sólido que lo contiene.

Figura 7. Modelo para el desgaste por cavitación



Fuente: Cardellach R. Martha, Desgaste de carburos cementados, pág. 14.

2. LISTONES PORTANTES

2.1 Material de los Listones Portantes (UHMW-PE)

Los listones portantes, en el transporte asistido por aire (AirCo), están hechos de un material que se caracteriza por su resistencia al desgaste y al buen resultado en el trabajo continuo. Este material es un polietileno de peso molecular ultra alto (*Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*) UHMW-PE, es un polímero único con propiedades físicas y mecánicas sobresalientes.

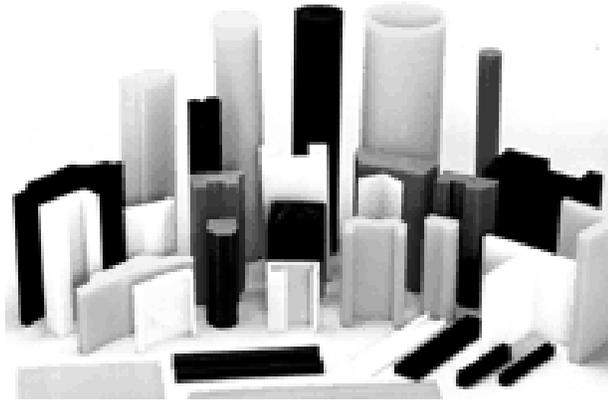
Es un Termoplástico industrial semicristalino, blanquecino y realmente opaco que químicamente es un Polietileno de alta densidad con un peso molecular muy elevado (3-6 millones g/mol), y puede operar perfectamente a temperaturas debajo de los -20 °C. Por consiguiente tiene una viscosidad de fundido extremadamente alta (efectivamente infinita) y sólo puede ser transformado por sinterización de polvo, y no por otros métodos comunes usados en la transformación de termoplásticos ordinarios. Su dureza y su resistencia química al desgaste y a la cizalla son excelentes y mejores que las del polietileno de alta densidad.

El UHMW-PE proviene de una familia de polímeros con una composición química engañosamente simple, compuesta sólo de hidrógeno y carbono. Sin embargo, la simplicidad inherente de su composición química se contradice con una jerarquía más compleja de estructuras organizativas en los niveles de longitud molecular y supermolecular. A nivel molecular, la estructura básica de carbono del polietileno puede torcerse, girarse y plegarse en regiones cristalinas ordenadas. A nivel supermolecular, el UHMW-PE está compuesto por polvo (también conocido como resina o escamas) que debe consolidarse a temperaturas y presiones elevadas para formar un material volumétrico. Los cambios químicos que se producen en el UHMW-PE debido a la esterilización por radiación y al procesamiento añaden más niveles de complejidad.

Durante los últimos 40 años, el UHMW-PE se ha utilizado en aplicaciones que incluyen muchas piezas sometidas al desgaste, por ejemplo, piezas de maquinas o listones de transporte de botellas, engranajes, cojinetes, juntas artificiales, transporte de maquinaria de bebida y comida, equipo recreacional, implantes ortopédicos, transportadores, equipo para minería y procesamiento de mineral etc. A pesar del éxito de estos procedimientos, los elementos mecánicos de UHMW-PE, tienen una vida finita. El desgaste y el daño de sus componentes es uno de los factores más importantes que limitan la longevidad de dichos elementos.

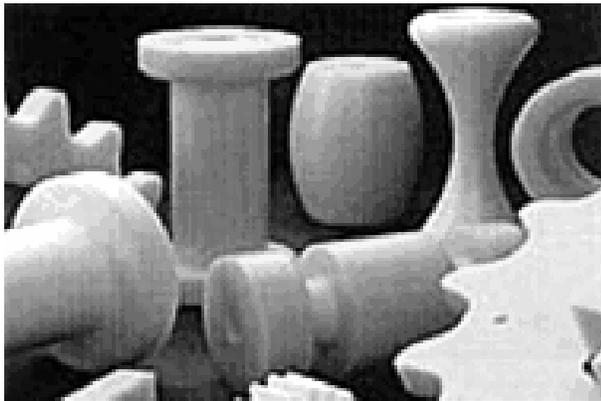
Fibras de orientación molecular también pueden fabricarse a partir de polietileno de peso molecular ultra alto, mediante fricción en gel y secado posterior para obtener fibras con una cristalinidad de hasta un 85% y una orientación paralela de un 95%. Se les conoce como polietileno de ultra alto módulo o fibra de polietileno de alto rendimiento. Estas fibras tienen propiedades de tracción muy elevadas y un (bajo) coeficiente de expansión térmica negativo. Algunos elementos mecánicos finalmente maquinados pueden observarse en la figura 8 y 9.

Figura 8. Muestras del UHMW-PE



Fuente: Propiedades de materiales plásticos, pág. 15.

Figura No. 9 Muestras del UHMW-PE



Fuente: Propiedades de materiales plásticos, pág. 15.

2.2 Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico del polietileno de peso molecular ultra alto (UHMWPE) está relacionado con su peso molecular promedio, el cual normalmente se infiere a partir de las medidas de viscosidad intrínsecas. El polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW-PE), tiene un peso molecular promedio de 6, 000,000 g/mol.

El peso molecular también influye en la respuesta de fractura estática así como en el comportamiento mecánico del polietileno molecular ultra alto (UHMW-PE) ante grandes deformaciones. Por ejemplo, más allá del punto de deformación del polímero, el comportamiento de la porción de endurecimiento o extrusión en frío bajo tensión uniaxial es sensible al peso molecular.

Las propiedades mecánicas más importantes que posee el polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW-PE), que al igual que su propio peso molecular caracterizan su comportamiento ante fuerzas externas o internas, son las siguientes:

Tabla I. Propiedades mecánicas del UHMW-PE

Propiedades mecánicas	UHMW-PE
Peso molecular (10 ⁶ g/mol)	2 - 6
Alargamiento a la rotura (%)	500
Coeficiente de fricción	0,09-0,2
Dureza - Rockwell	R50-70
Módulo de tracción (GPa)	0,2-1,2

Continuación tabla I.

Relación de Poisson	0,46
Resistencia a la tracción (MPa)	20-40
Resistencia al impacto Izod (J m ⁻¹)	>1000
Calor específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1900
Coeficiente de expansión térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	130-200
Conductividad térmica (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,42-0,51 a 23°C
Temperatura máxima de utilización (°C)	55-95
Temperatura de deflexión en caliente - 0.45MPa (°C)	69
Elongación última por tracción* (%)	350-525
Módulo de elasticidad por tracción* (GPa)	0.8-1.6
Temperatura de deflexión en caliente - 1.8MPa (°C)	42

*Pruebas realizadas a 23°C

Fuente: Propiedades de materiales plásticos, pág. 10.

2.3 Propiedades físicas

Las propiedades físicas del polietileno de peso molecular ultra alto, son las características necesarias e inherentes que se determinan sin alterar su composición, y están relacionadas con su existencia física.

Entre las propiedades más importantes que caracterizan al UHMW-PE, son las siguientes:

Tabla II. Propiedades físicas del UHMW-PE

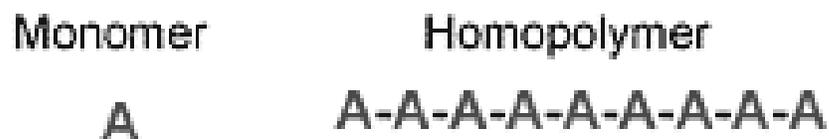
Propiedades físicas	UHMW-PE
Absorción de agua - en 24 horas (%)	<0,01
Densidad (g /cm ⁻³)	0,94
Índice de oxígeno límite (%)	17
Temperatura de degradación (°C)	135 - 137
Inflamabilidad	Combustible
Resistencia a los ultra-violeta	Aceptable
Gravedad específica	0.932-0.945
Grado de cristalinidad (%)	39-75
Temperatura de servicio continuo (máx.) °C	82
Deformación bajo presión (50 °C y 2000 Lbs/pulg ²), %	6 - 8
Resistencia a solución de sal inorgánica	Aceptable
Resistencia a ácidos concentrados	Aceptable
Resistencia a los ácidos - diluidos	Buena
Resistencia a las álcalis	Buena
Resistencia a los alcoholes	Buena
Resistencia a las cetonas	Buena
Resistencia a las grasas y aceites	Buena
Resistencia a los halógenos	Aceptable-Buena
Resistencia a los hidrocarburos aromáticos	Mala

Fuente: Propiedades de materiales plásticos, pág. 13.

2.4 Composición química

El polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW-PE) es un tipo de polímero clasificado como un homopolímero lineal, es una molécula compuesta por muchas (poli-) partes (-mero) iguales, que están fusionadas por uniones químicas covalentes.

Figura 10. Monómero y homopolímero

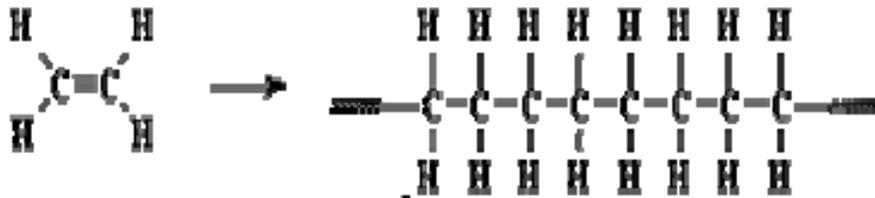


Fuente: Kurtz, Steven M., **El manual UHMWPE**, fundamentos, Pág. 2

Para el polietileno de peso molecular ultra alto, la cadena molecular puede consistir de hasta 200,000 unidades de repetición de etileno. En otras palabras, la cadena molecular del UHMW-PE contiene hasta 400,000 átomos de carbono.

Y así, al unir el etileno y el polietileno, la fórmula completa de polietileno del peso molecular ultra alto (UHMW-PE) quedaría como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Fórmula del UHMW-PE



Se resume la figura, para una mejor visualización.



Al resumir más, la fórmula quedaría así:



Fuente: Kurtz, Steven M., **El manual UHMWPE**, fundamentos, Pág. 3

Para la producción del polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW-PE), se necesitan los siguientes ingredientes principales: etileno (un gas reactivo), hidrógeno y tetracloruro de titanio (el catalizador).

La polimerización se desarrolla en un solvente utilizado para la transferencia de masa y calor a partir del gas etileno. Los ingredientes requieren que la polimerización se lleve a cabo en plantas de producción especializadas capaces de manejar estos productos químicos volátiles y potencialmente peligrosos. El último ingrediente (el catalizador) ha sido constantemente mejorado desde la década de 1950, dado que es la clave en la producción del UHMW-PE. Se presenta en forma de polvo blanco de resina con menos impurezas, debe consolidarse en un implante con forma de plancha, de varilla o cuasi red; se le debe dar la forma deseada al polvo plástico, para terminar el elemento mecánico que se diseña.

3. ENVASE PLÁSTICO

3.1 Material de los envases de plástico

Los envases plásticos o botellas, que circulan por los listones portantes, en el transporte asistido por aire (AirCo), son hechos de un material plástico duro y resistente a los golpes o impactos que se ocasionan en el sistema de transportación. El polietileno de tereftalato o PET, como se le conoce al material de los envases plásticos, es un polímetro formado por una combinación de dos monómeros, el etileno glicol y el ácido purificado de tereftalato, el cual es estable dimensionalmente y absorbe muy poca agua.

El polietileno de tereftalato (PET), tiene buenas propiedades de protección y una buena resistencia química excepto a los álcalis, que le hidrolizan. Su cristalinidad varía de amorfo a muy cristalino; puede ser muy transparente e incoloro, aunque secciones gruesas suelen ser opacas y blanquecinas. Sus aplicaciones incluyen botellas para soda, agua, jugo, frascos de mantequilla de maní, frascos de aderezos de ensalada y aceite, así como cosméticos, productos de limpieza y componentes eléctricos. El polietileno de tereftalato es también utilizado y conocido como la película orientada biaxialmente y estabilizada térmicamente que se utiliza para capacitadores, gráficos y cintas musicales y de vídeo.

A mediados de los años ochenta la botella de PET estaba bien introducida en Europa, contaba con la mayor cuota de mercado de los envases para refrescos carbonatados de tamaño superior a 1 litro.

El mercado continuó expandiéndose en los segmentos de agua mineral, zumos, aceites y finalmente en aplicaciones distintas a la alimentación, como detergentes y productos de higiene personal. El consumo aumentó de menos de 50.000 toneladas en 1980 a 500.000 en 1992.

Desde su aparición en el mercado, la industria del envase de PET ha logrado importantes modificaciones en los procesos de fabricación. La primera botella experimental de 2 litros que pesaba unos 100 g, quedó en 70 g. tras su lanzamiento comercial. Actualmente pesa aproximadamente 48 g.

En países como Alemania, Austria o los EE.UU., se ha introducido el envase de PET reutilizable, a modo de "*vidrio plástico para el siglo XXI*". Sin embargo, este proceso depende de ciertos aspectos técnicos a solucionar, como el rallado de los envases que se produce con su manipulación.

El polietileno de tereftalato (PET) es un polímero con gran demanda comercial y es popular en productos de comida y de no comida, debido a su termo estabilidad, su resistencia y transparencia. Y es escogido también, porque es barato, pesa poco, se puede volver a sellar, no se rompe fácilmente y es reciclable.

Figura 12. Envases plásticos



Fuente: Salvavidas S.A. y Provedora de servicios.

3.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del polietileno de tereftalato, reflejan las formas de su comportamiento, tanto externas como internas, a las que se somete dicho material. Este comportamiento también depende de su peso molecular, ya que entre mayor peso molecular, más resistencia mecánica, química y térmica poseerá ante las deformaciones expuestas.

Así, las propiedades mecánicas que sobresalen del polietileno de tereftalato (PET), que definen su comportamiento junto con el peso molecular son las siguientes:

Tabla III. Propiedades mecánicas del PET

Propiedades mecánicas	PET
Peso molecular (g/mol)	144
Coeficiente de fricción	0,2-0,4
Dureza - Rockwell	M94-101
Módulo de tracción (GPa)	2-4
Relación de Poisson	0,37-0,44
Resistencia a la tracción (MPa)	80, para filmes biax. 190-260
Resistencia al impacto Izod (J m ⁻¹)	13-35
Calor específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1200 - 1350
Coeficiente de expansión térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	20-80
Conductividad térmica (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0.15 - 0.4 a 23 °C
Temperatura máxima de utilización (°C)	115-170
Temperatura mínima de utilización (°C)	-40 a -60
Temperatura de deflexión en Caliente - 0.45MPa (°C)	115
Temperatura de deflexión en caliente - 1.8MPa (°C)	80
Elongación %	70

Fuente: Propiedades de materiales plásticos, pág. 25.

3.3 Propiedades físicas

Las características del polietileno de tereftalato (PET), reflejan las cualidades de la personalidad de dicho polímero, las cuales se determinan sin cambiar o alterar su composición física. Las propiedades físicas más sobresalientes que diferencian y caracterizan al polietileno de tereftalato, son las siguientes:

Tabla IV. Propiedades físicas del PET

Propiedades físicas	PET
Estructura	Cristalina
Absorción de agua - equilibrio (%)	<0,7
Absorción de agua - en 24 horas (%)	0,1
Densidad (g cm ⁻³)	1,3-1,4
Índice refractivo	1,58-1,64
Índice de oxígeno límite (%)	21
Inflamabilidad	Buena
Resistencia a la radiación	Buena
Resistencia a los ultra-violeta	Regular
Resistencia a los ácidos - concentrados	Buena-Mala
Resistencia a los ácidos - diluidos	Buena
Resistencia a los álcalis	Mala
Resistencia a los alcoholes	Buena
Resistencia a los cetonas	Buena-Aceptable
Resistencia a las grasas y aceites	Buena
Resistencia a los halógenos	Aceptable-Buena

Continuación tabla IV.

Resistencia a los Hidro-carbonos halógenos	Buena-Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Buena-Aceptable
Temperatura de Degradación (°C)	248
Temperatura de Utilización Mínima (°C)	-20
Temperatura de Utilización Máxima (°C)	100

Fuente: **Propiedades de materiales plásticos**, pág. 29

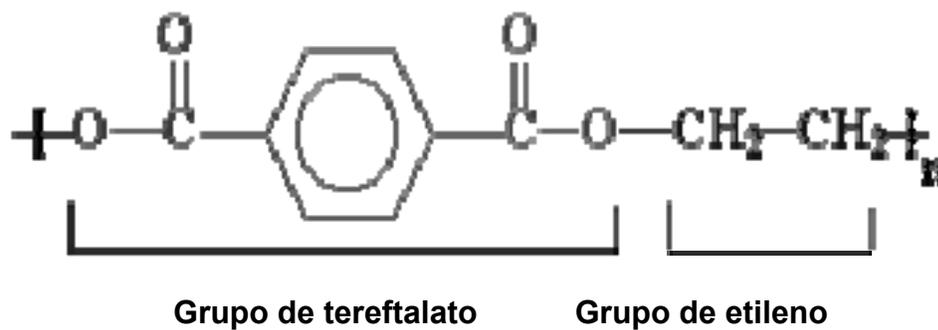
Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas o envases plásticos.

3.4 Composición química

El PET, es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, existiendo dos tipos: grado textil y grado botella. Para el grado botella se debe post condensar, existen diversos colores para estos usos.

Es un polímero lineal, fusionado por uniones químicas covalentes con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Figura 13. Fórmula del PET



Fuente: Dietrich, Braun. **Identificación de plásticos**. Pág. 22

Así se puede decir que el PET está compuesto por etileno (un gas reactivo), hidrógeno y el ácido tereftálico de alta pureza.

Los grupos éster en la cadena de poliéster son polares, donde el átomo de oxígeno del grupo carbonilo tiene una carga negativa y el átomo de carbono del carbonilo tiene una carga positiva. Las cargas positivas y negativas de los diversos grupos éster se atraen mutuamente. Esto permite que los grupos éster de cadenas vecinas se alinien entre sí en una forma cristalina y debido a ello, den lugar a fibras resistentes.

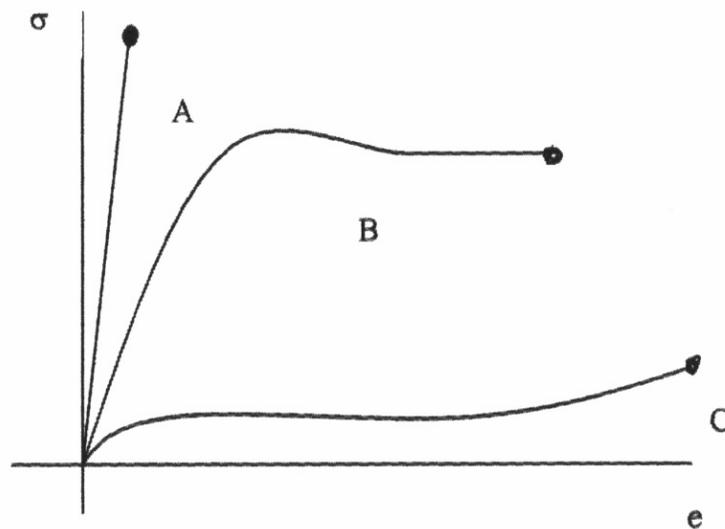
4. ANÁLISIS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN

4.1 Curvas de esfuerzo-deformación del UHMW-PE

Las propiedades mecánicas de los polímeros se encuentran o se analizan partiendo de la prueba a la tensión. Así, la mayoría de los polímeros son sensibles a la rapidez de deformación, a la temperatura y a la naturaleza química del ambiente que los rodea, presencia de agua, oxígeno, solventes orgánicos, etc..

Al analizar a los polímeros se encuentran 3 tipos típicos de curvas de esfuerzo-deformación unitaria; que son las siguientes:

Figura No. 14 Tipos de curvas de esfuerzo–deformación



Fuente: Amaya Nuria; **Deformación y falla de los materiales polímeros**; pág. 8

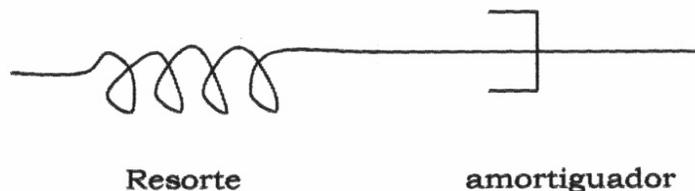
- A: polímeros frágiles
- B: materiales plásticos (similar a los metales)
- C: elastómeros.

Como se puede observar, el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE), se encuentra en la clase B, en materiales plásticos, similares a los metales, debido a su gran resistencia al desgaste y fuerza.

Las propiedades mecánicas de los polímeros son mucho más sensibles a los cambios de temperatura en los alrededores de la temperatura ambiente; existen tres temperaturas importantes en los materiales polímeros, la temperatura de fusión, degradación y transición vítrea.

En los polímeros siempre se da la deformación plástica y elástica casi al mismo tiempo, en la deformación plástica, las moléculas se desordenan y se deslizan entre sí, y en la deformación elástica, las moléculas se reacomodan. La deformación del material depende del esfuerzo aplicado y de la rapidez con que se aplica el esfuerzo. Debido a esto se dice que los polímeros tienen comportamiento viscoelástico.

Figura 15. Comportamiento viscoelástico



Fuente: Amaya Nuria; **Deformación y falla de los materiales polímeros**; pág. 10

En conclusión, si una fuerza se aplica lentamente, el amortiguador se extiende y la deformación es permanente. Pero si se aplica una fuerza rápida, el amortiguador se extiende muy poco estirándose el resorte, y se obtiene una deformación elástica.

Al conocer cómo actúan los polímeros o materiales plásticos en presencia del esfuerzo y la deformación, el UHMW-PE, tendría un comportamiento propio; es posible observarla en la siguiente curva, que refleja su comportamiento mecánico ante las variables de esfuerzo-deformación.

Datos de la muestra:

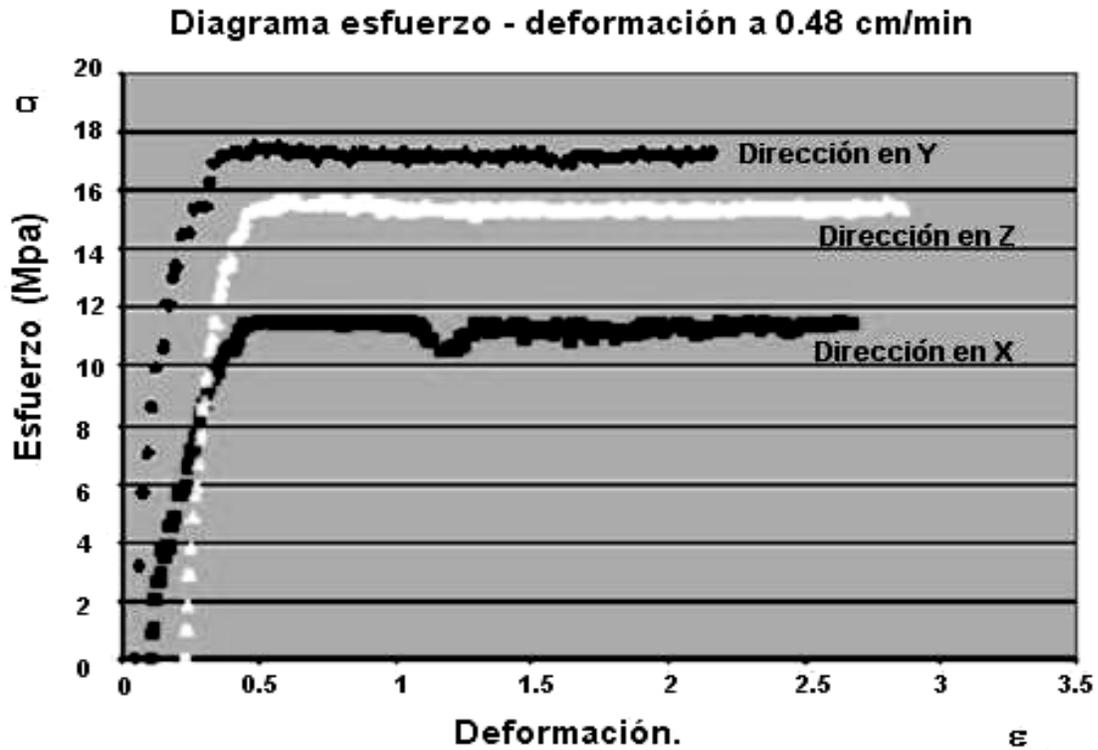
- Área (mm²) = **12.72**

- Longitud (mm) = **8.00**

- Espesor de la sección angosta (mm) = **4.00**

- Ancho de la sección angosta (mm) = **3.18**

Figura 16. Diagrama esfuerzo – deformación del UHMW-PE



Fuente: Amaya Nuria; **Deformación y falla de los materiales polímeros**; pág. 35

4.2. Gráficas de distribución de tensiones

Las gráficas de distribución de tensiones, se refieren a la distribución de las fuerzas a las que está sometido el listón o listones portantes en el transporte asistido por aire, con respecto al envase plástico, que circula sobre ellos. Se graficará una sección del listón portante, con relación a los envases plásticos que circulan por un área de contacto, dicha área es la distancia entre los sujetadores o cargadores de los listones en una línea recta.

Así también se proyectar las gráficas de corte y momento, que tienen, a la vez, un papel importante en la distribución de tensiones entre los listones portantes y el envase de plástico.

Nota: todos los valores serán calculados con envases de plástico o botellas de 2.0 litros, ya que para ellos se diseño el equipo; se tomará solo una sección, sólo un listón portante, dado que el otro tendría los mismos valores correspondientes.

Valores calculados:

- Peso total del envase: **$W = 54.84 \text{ g}$.**

- Peso sostenido por cada riel: **$w_1 = w_2 = 27.42 \text{ g}$.**

- Distancia entre sujetadores de los listones portantes: **63.00 cm .**

- Cantidad de botellas dentro del área de contacto entre sujetadores: **7**

- Tensión de los sujetadores: **$TA = TB = 644.44 \text{ gf}$.**

- Tensión sostenida por cada listón: **$t_1 = t_2 = 322.22 \text{ gf} = R1 = R2$**

Figura 17. Gráfica de distribución de tensiones

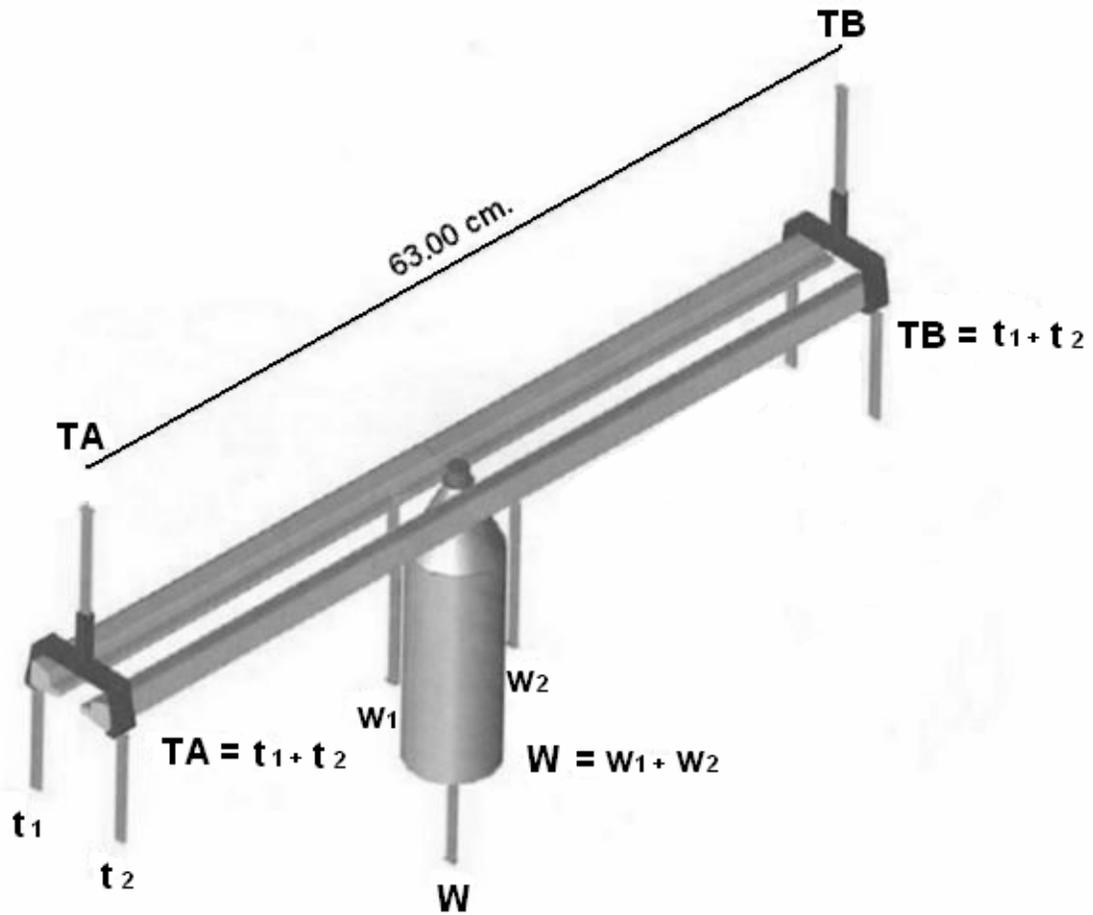
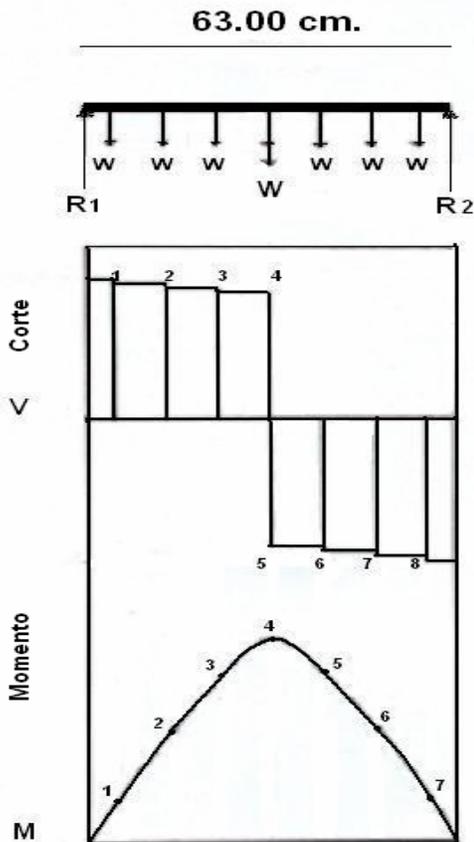


Figura 18. Diagrama de corte y momento



$$+MR1 = 0$$

$$+MR1 = 472.5 (31.5) + 27.42$$

$$(4.5) + 27.42 (13.5) + 27.42 (22.5) + 27.42$$

$$(31.5) + 27.42 (40.5) + 27.42 (49.5) + 27.42$$

$$(58.5) + R2 (63)$$

$$R2 = 332.22 \text{ gf.} = R1$$

$$V0 = 332.22 \text{ g.}$$

$$V4.5 = 332.22 - 27.42 = 304.80 \text{ g.}$$

$$V13.5 = 304.80 - 27.42 = 277.38 \text{ g.}$$

$$V22.5 = 277.38 - 27.42 = 249.96 \text{ g.}$$

$$V31.5 = 249.96 - 27.42 - 472.5 = -249.96$$

$$V40.5 = -249.96 - 27.42 = -277.38 \text{ g.}$$

$$V49.5 = -277.38 - 27.42 = -304.80 \text{ g.}$$

$$V58.5 = -304.80 - 27.42 = -332.22 \text{ g.}$$

$$V63 = -332.22 + 332.22 = 0 \text{ g.}$$

$$M0 = 0 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M4.5 = 332.22 (4.5) = 1494.99 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M13.5 = 304.80 (9) + 1494.99 = 4238.19 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M22.5 = 277.38 (9) + 4238.19 = 6734.61 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M31.5 = 249.96 (9) + 6734.61 = 8984.25 \text{ gf} \cdot \text{cm.} = \mathbf{M \text{ máximo.}}$$

$$M40.5 = -249.96 (9) + 8984.25 = 6734.61 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

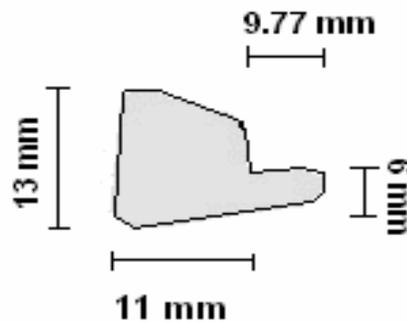
$$M49.5 = -277.38 (9) + 6734.61 = 4238.19 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M58.5 = -304.80 (9) + 4238.19 = 1494.99 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

$$M63 = -332.22 (4.5) + 1494.99 = 0 \text{ gf} \cdot \text{cm.}$$

Al obtener el momento máximo sobre el listón portante se puede concluir al desarrollar el esfuerzo máximo a la tensión y la deflexión máxima que se genera en la sección del listón analizada.

Figura 19. Sección del listón portante



$$EN = \frac{13 (1) (6.5) + 6 (9.77) (3)}{13 (11) + 6 (9.77)} = 5.48 \text{ mm.}$$

$$I_{EN} = 1/12 (11) (13)^3 + (13) (11) (1.02)^2 + 1/12 (9.77) (6)^3 + (9.77) (6) (2.48)^2$$

$$I_{EN} = 2699.07 \text{ mm}^4$$

$$\text{Esfuerzo Máximo a la Tensi3n } \sigma = \frac{M Y}{I_{EN}}$$

$$\sigma = \frac{89842.5 \text{ gf} \cdot \text{mm} (5.48 \text{ mm})}{2699.07 \text{ mm}^4} = 182.41 \text{ gf} / \text{mm}^2$$

$$\text{Deflexi3n máxima} = \frac{F \cdot L^3}{(432) E \cdot I} + \frac{(5 \cdot w \cdot L^4)}{432 (1.63 E+7 \cdot 0.269907 \text{cm}^4)} = \frac{472.5 \cdot (63)^3}{(432) E \cdot I} + \frac{(5 \cdot 27.42q \cdot 63^4)}{432 (1.63 E+7 \cdot 0.269907 \text{cm}^4)}$$

$$\text{Deflexi3n máxima} = 1.19 \text{ cm.} = 11.9 \text{ mm. desde el eje central.}$$

4.3 Deformaciones propias del UHMW-PE y del envase plástico

Las deformaciones propias que sufre el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE), y los envases plásticos, son aquellas que en cierta forma limitan la funcionalidad de estos materiales, considerando tanto los factores externos o internos que podrían ayudar al deterioro o al mismo desgaste, tanto de la botella como de los listones portantes como producto final.

Las deformaciones propias más importantes y frecuentes del UHMW-PE y el PET, describen a continuación:

4.3.1 Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW-PE)

- Sufren daño físico, al no estar bien aisladas de golpes y trabajos duros, su polímero puede pandearse o astillarse, por lo que es necesario que donde se almacena esté a una altura de 15 cm. del suelo.
- Al exceder una temperatura mayor de los 95 °C, empieza una lenta y larga deformación.
- Si se produce un alargamiento o una presión muy excesiva sobre ellos, disminuye sus propiedades mecánicas y se produce un mayor desgaste.
- Dado que es un polímero de alto peso molecular, tiene un alto índice de inflamabilidad, por lo que tiene que estar retirado de cualquier fuente de calor, ya que sufriría una deformación instantánea.

- El UHMW-PE no debe de pasar más de 5 años en almacenaje, ya que pierde muchas de las propiedades para las que fue diseñado, dado que ciertas moléculas suelen quedarse en reposo, por lo que sufre un desgaste más rápido.

4.3.2 Polietileno de tereftalato (PET)

- La botella de PET, no debe exponerse a la luz solar (infrarroja y calorífica), ya que sufre una total deformación, y tiende a plastificarse.
- Necesita una muy buena ventilación, y no debe de estar a más de 70 °C, ya que puede cambiar de volumen y por ende deformarse.
- Se debe almacenar en un lugar alejado de cualquier luz, 20 cm. arriba del suelo y también por donde no circulen vehículos, como montacargas, ya que el calor generado por ellos, produce una deformación física.
- Debe colocarse, en un lugar donde no circule humedad y polvo, ya que éste contiene energía y se adhiere al envase plástico, lo que origina costras en el envase y lo hace inutilizable.
- No se debe almacenar, pesos arriba de los 4.59 Kg/cm², ya que ésta es la fuerza a la máxima deformación vertical que soportan los envases plásticos.
- Tienen una vida de 6 meses, ya que después de este tiempo pierden sus propiedades mecánicas y su barrera que es lo más importante en los envases plásticos.

5. DESARROLLO PRÁCTICO DEL ANÁLISIS DEL DESGASTE DE LOS LISTONES PORTANTES

En la práctica desarrollada dentro de la planta donde se localiza el transporte asistido por aire de envases vacíos de plástico, se tomó en cuenta aspectos necesarios para conocer los factores que contribuyen al desgaste de los listones portantes en el transporte. Entre ellos destacan los puntos de instalación; requerimientos básicos; puntos de cambio de sección; secciones rectas; secciones curvas; sección inclinada.

Los puntos de cambio de sección donde se analizaron las prácticas que componen el transporte asistido por aire de envases plásticos, constan de una línea inclinada, 2 líneas rectas y 2 curvas de 45°.

5.1 Análisis del montaje de los listones portantes.

Como se sabe, el montaje es la acción de ensamblar, renovar o cambiar, piezas mecánicas que por alguna razón voluntaria o involuntaria, dejan de dar el servicio para el que fueron diseñadas.

El montaje de los listones portantes es un trabajo de mucho cuidado; es importante, ya que aquí es donde se inician los primeros daños del listón portante.

Para un buen montaje son necesarios tres elementos principales,

- una adecuada herramienta,
- un equipo de protección y
- un manual de mantenimiento.

Desde aquí, ya empieza el primer factor del desgaste por el mal uso de la herramienta para el montaje de los listones portantes, y por no consultar el manual de mantenimiento. Las herramientas que se utilizan a la hora del montaje, deben ser de la medida de todas las piezas que ajustan a los listones portantes, de lo contrario dañan los elementos mecánicos de fijación. Esto provoca un desvalance en la línea, que ocasionaría un desnivel entre la pareja de listones portantes; algunas veces puede llegar a sobarse estos elementos o la misma herramienta, y dañar el perfil de los listones portantes por donde circula el envase plástico, lo cual llevaría a un desgaste prematuro, y significaría menos tiempo de vida para el listón portante.

Trabajos que se realizan en el montaje y desmontaje de los listones portantes.

1. Desmontar los ventiladores de aire.
2. Extraer, los canales de conductos de aire, quienes a la vez protegen a los listones portantes.
3. Aflojar los sujetadores de los listones portantes.
4. Desmontar las barandillas de guía al tipo de envase de guía de envases.
5. Extraer los listones desgastados o dañados.

6. Limpiar los conductos de aire y las áreas cercanas por donde se encuentran los listones portantes.
7. Montar los listones portantes nuevos.
8. Ajustar los sujetadores de los listones portantes.
9. Observar en el montaje los dispositivos de agarre; el dispositivo de cambio tiene que ser el adecuado para el dispositivo de agarre respectivo.
10. El dispositivo de cambio debe instalarse solamente en los puntos previstos y comprobar si el dispositivo de cambio tiene una posición fija y segura.
11. Limpiar los listones portantes con agua y jabón, sin utilizar detergentes muy ácidos y sosas cáusticas.
12. Ajustar las barandillas de guía al tipo de envase.
13. Ajustar todos los puntos de ajuste que correspondan al montaje.
14. Montar los canales de conductos de aire.
15. Montar los ventiladores de aire.
16. Revisar nuevamente todos los puntos de ajuste.

17. Que no existan cuerpos extraños en la línea de trabajo.
18. Avisar a todas las personas que llevan a cabo el trabajo de montaje, antes de poner en marcha nuevamente la máquina.
19. Antes de poner en marcha la máquina, el responsable del montaje, debe asegurarse que los trabajos estén completamente acabados; que la maquina está en condiciones para el servicio; que todas las personas que han llevado a cabo los trabajos hayan abandonado la zona de peligro de la máquina.
20. Poner en marcha la máquina.

5.2 Análisis del almacenamiento de los listones portantes

El almacenamiento es otro factor muy importante en el análisis del desgaste, ya que aquí es donde se guarda los listones portantes a la espera de un reemplazo. Los listones portantes deben almacenarse en lugares donde la temperatura no exceda los 95 °C, que exista una elevación de 15 cm. sobre el suelo y que esté protegido por elementos que aseguren su estado físico, como esponjas o cartón, lo que ayudaría a la eliminación de contacto físico entre ellos o entre otros elementos mecánicos.

En el almacén, donde se aseguran o guardan los listones portantes, comprenden varias literas, donde se colocan en forma horizontal, pero en ocasiones no poseen elementos que aseguren su protección, lo que provoca daño físico en ellos, antes de llegar a ser instalados.

Se tendría otro factor anticipado del desgaste ya que esto debilita la funcionalidad del perfil de los listones portantes.

Por eso, a la hora de almacenarlos, debe hacerse una inspección visual de su estado de protección, y posteriormente revisar si no poseen otros elementos mecánicos por encima de ellos que pudieran llegar a lastimarlos.

El almacenamiento es sencillo, pero puede resultar complicado al no poseer personal calificado, que tenga un control de orden y protección sobre los listones portantes, lo que llevaría a una complicación o daño en los elementos de repuesto, que deben estar bien protegidos para la hora de ser utilizados y satisfacer las necesidades óptimas requeridas.

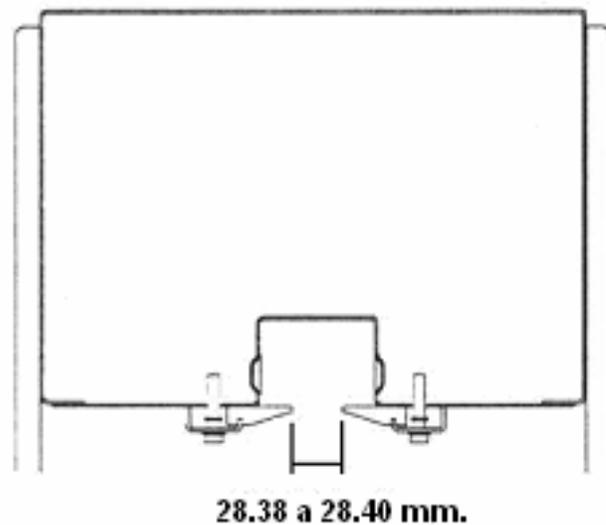
5.3 Ajuste de los listones portantes

El ajuste de los listones portantes, es la calibración que se realiza con el fin de que los puntos de sujeción estén totalmente apretados y estables y asegurar una distancia óptima entre la pareja de listones, para el buen transporte de los envases de plástico o botellas sobre ellos. El ajuste se realiza únicamente en los puntos de sujeción; se debe utilizar el calibre de ajuste como un dispositivo auxiliar. Los puntos de sujeción examinados, se realizaron en los cambios de sección ya especificados.

El calibre de ajuste debe medir de 28.38 mm. a 28.40mm, que es la distancia permitida para que el funcionamiento sea óptimo. Los listones portantes, deben ajustarse o cambiarse cuando ya no posean esta medida de ajuste.

Para conocer la distancia exacta a la que se encuentra el par de listones separados, se midió la distancia en los puntos de sujeción arriba mencionados, para conocer su estado actual.

Figura 20. Ajuste de los listones portantes



Fuente: **Manual técnico**; Salvavidas S. A. Pág. 50

El primer factor que identifica el mal ajuste entre los listones portantes, es cuando las botellas se caen de ellos, lo que provoca un desgaste máximo en los listones portantes por exceder la distancia requerida. Esto se debe a que en el momento de una inspección, sólo se realizan los trabajos de asegurar los ajustes, y no el trabajo de medir la distancia requerida entre listón y listón.

Se realiza un intervalo de mantenimiento donde se inspecciona el ajuste de los rieles, por lo menos una vez a la semana, o cada 50 horas de servicio para tener un equipo estable, obviando la supervisión del ajuste de separación.

Se enumerarán los pasos a seguir, para realizar la operación del análisis de ajuste de los listones portantes, son los siguientes.

1. Tener acceso a la sección de ajuste de los listones portantes del manual de mantenimiento.
2. La máquina debe estar desconectada.
3. Pulsar el interruptor de emergencia.
4. Establecer los puntos de medición.
5. Medir la distancia entre los listones portantes.
6. Reporte de la distancia entre los listones portantes.
7. Revisar el ajuste de los elementos de sujeción.
8. Reportar una orden de calibración de la distancia entre los listones portantes, donde se necesite.
9. Reportar una orden de ajuste de los elementos de sujeción, donde se necesite.
10. Eliminar con agua y jabón los residuos que existan en la máquina.

11. Asegurarse antes de cada puesta en marcha de la máquina, de que los diferentes componentes estén debidamente fijados; que todos los trabajos de ajuste realizados estén completamente terminados; y que no existan objetos sueltos en la máquina, como trapos de limpiar y herramientas.

12. Poner en marcha nuevamente la máquina.

5.4 Alineamiento de los listones portantes

Cuando se habla de alineamiento, se hace referencia a la posición lineal paralela entre el par de listones portantes que están acoplados en todo el recorrido de la maquinaria en el transporte de las botellas. La nivelación se realiza en los puntos de sujeción, y se utiliza un nivelador como un dispositivo auxiliar.

El alineamiento en los listones portantes, es muy importante ya que al no estar en posición lineal, puede desgastarse un listón más rápido que el otro, cuando circulan los envases plásticos por encima ellos; también puede ocurrir que los envases se traben y no circulen libremente, lo cual produciría un mayor impacto que significaría otro factor influyente en el desgaste de los listones portantes.

En la instalación se realiza el único alineamiento principal de los listones portantes, posteriormente sólo se supervisa una vez por semana los elementos de sujeción de los listones portantes que suelen aflojarse por el constante tráfico de envases. No se toma en cuenta el alineamiento, al haber desajuste en los elementos de sujeción también podría existir un desalineamiento, lo que llevaría a un desgaste mayor e innecesario de los listones portantes.

Se enlistan los pasos a seguir para poder analizar la alineación de los listones portantes.

1. Tener acceso a la sección de ajuste de los listones portantes del manual de mantenimiento.
2. La máquina tiene que estar desconectada.
3. Pulsar el interruptor de emergencia.
4. Establecer los puntos de medición.
5. Utilizar el nivelador entre los listones portantes, para medir la nivelación entre ellos.
6. Reporte de la nivelación entre los listones portantes.
7. Reportar una orden de alineamiento de la distancia entre los listones portantes, donde se necesite.
8. Revisar los elementos de sujeción.

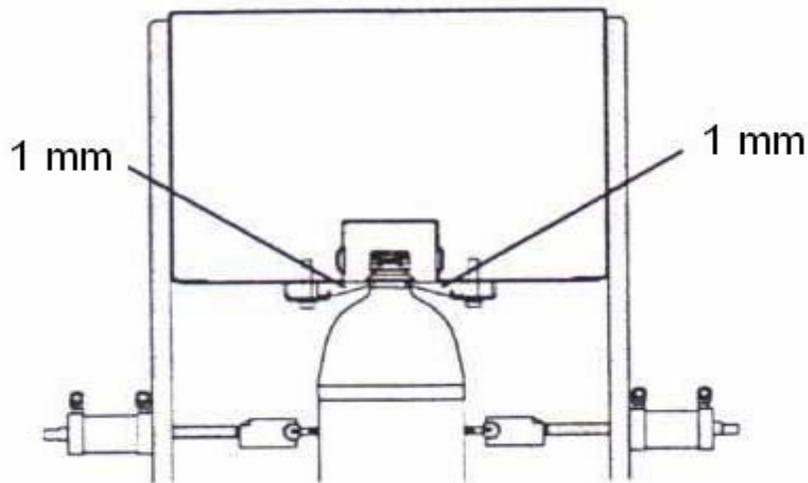
9. Limpiar la superficie trabajada.
10. Asegurarse antes de cada puesta en marcha de la máquina, de que los diferentes componentes estén debidamente fijados y nivelados y que no existan objetos sueltos en la máquina, como trapos de limpiar y herramientas.
11. Poner en marcha nuevamente la máquina.

5.5 Análisis de mediciones entre el envase y los listones portantes

Las mediciones entre el envase de plástico o botella y los listones portantes, es la medida más importante que se debe de analizar junto con el ajuste.

Estas mediciones deben ser precisas para que el transporte sea óptimo y se evite un nuevo factor contribuyente al desgaste. La distancia que se requiere entre los envases y los listones portantes en ambos lados no debe de comprender más de 1 mm. de separación. Los valores de separación también se analizaron en los puntos de cambio de sección que comprende el sistema de transporte.

Figura 21. Distancia entre la botella y los listones portantes



Fuente: **Manual técnico**; Salvavidas S. A. pág. 61

En el análisis de medición entre los listones portantes y el envase de la botella se utilizó un vernier de calibración digital y un micrómetro, con los cuales se obtuvo los valores de separación en los puntos de ajuste de la línea de transporte.

Con el equipo necesario para realizar las mediciones, se procede a realizar ciertos pasos indispensables antes de evaluar la separación entre envase y los listones portantes, y otros después de la misma, los cuales se enumeran a continuación.

1. La máquina tiene que estar desconectada.
2. Pulsar el interruptor de emergencia.

3. Establecer los puntos de medición.
4. Medir la separación entre las botellas y los listones portantes.
5. Realizar un apunte de las mediciones analizadas.
6. Reportar que puntos necesitan un ajuste entre el envase plástico y el listón portante.
7. Limpiar la superficie trabajada.
8. Asegurarse antes de cada puesta en marcha no existan objetos en la máquina, como trapos de limpiar y herramientas.
9. Poner en marcha nuevamente la máquina.

5.6 Análisis de la velocidad de los envases plásticos

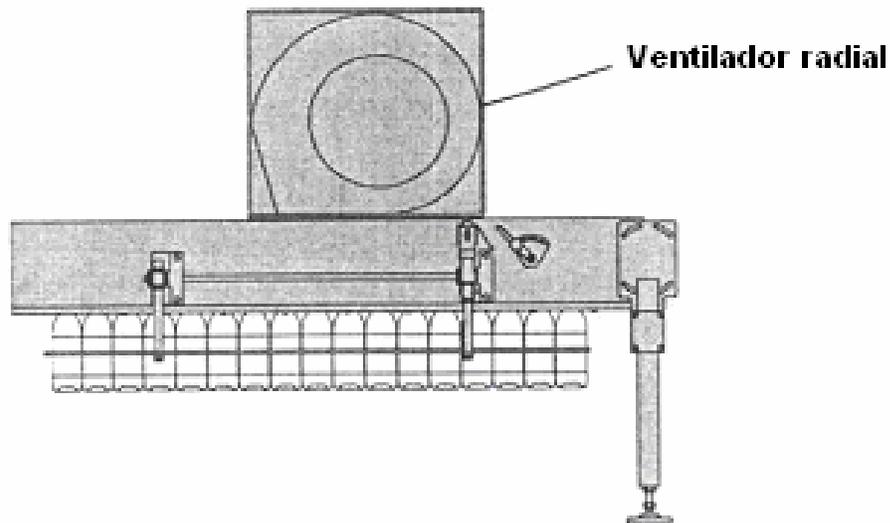
Se sabe que la velocidad es el factor más importante en el desgaste, ya que siempre están relacionados directamente. Así el efecto general del incremento de la velocidad, es provocar una reducción en la razón del desgaste en la interfase de deslizamiento. En este caso, incrementar la velocidad de los envases plásticos, provocaría una reducción de los listones portantes.

El desgaste originado por la velocidad también se relaciona con la fricción, ya que el desgaste y la fricción dependen principalmente de la interacción de asperezas entre las dos superficies deslizantes.

Al existir partículas extrañas en el sistema, el envase plástico en cierta forma lastima los listones portantes produciendo un desgaste continuo, por lo que se conseguiría un tiempo de vida negativo.

El transporte de los envases se realiza por medio de un sistema de aire que lo impulsa por todo el trayecto. Este sistema de aire, está compuesto por un ventilador radial, que produce una corriente de aire, el cual circula por conductos y sale por toberas especiales y hace avanzar los envases sujetos por los listones portantes. La máxima presión de servicio de estos ventiladores es de 101.719 psia., a una temperatura admisible de 25°C a 50°C, trabajando en un rango de 2870 a 3460 rpm, se tiene una llave para abrir y cerrar el flujo del aire.

Figura 22. Ventilador radial, y transporte de los envases plásticos



Fuente: Manual técnico; Salvavidas S. A. pág. 42

Se utilizó un tacómetro de reflexión a distancia, para analizar la velocidad a la cual las botellas circulaban por los listones portantes. El análisis se realizó cuando la producción estaba al 90% - 100%, dado que es el momento cuando todas circulan juntas, arrastrándose una con otra produciendo más desgaste, también se calculó cuando se inicia la producción, que es cuando circulan con mayor velocidad, aunque es poco el tiempo que circulan a esta velocidad, por lo que no se produce el mayor desgaste en este espacio de tiempo, excluyendo la línea inclinada, que es la salida de los envases donde siempre circulan a velocidad alta. Para este análisis se observó y se analizó en los puntos de cambio de sección.

Para realizar el análisis de la velocidad de los envases plásticos sobre las líneas y curvas mencionadas, se presentarán los pasos a seguir una vez que se obtengan los elementos para la medición.

1. Obtener permiso para ingresar a la planta cuando se encuentre en funcionamiento.
2. Adquirir una redecilla para el cabello.
3. Adquirir tapones para los oídos.
4. Establecer los puntos de medición.
5. Al trabajar en la zona alta del sistema de transporte, se debe utilizar medios auxiliares adecuados como una escalera estable.
6. Medir la velocidad en los puntos de medición.

7. Realizar un apunte de las mediciones calculadas.
8. Despejar del área de trabajo los medios auxiliares utilizados para la medición.
9. Reportar fin del análisis practicado.

5.7 Análisis de la temperatura en los listones portantes

Cuando existe el rozamiento o una elevada velocidad entre dos piezas, como en el caso de los listones portantes con los envases plásticos, se eleva la temperatura que endurece el material, y llega a ser un factor más que influye en el desgaste, siempre y cuando esté en los límites o exceda los rangos permitidos de temperatura.

La temperatura máxima que debe existir en los listones portantes, producto del rozamiento de los envases plásticos y de la velocidad es de 65 °C, de lo contrario, es necesario utilizar enfriadores externos, para optimizar el sistema.

En el análisis de temperatura sobre los listones portantes, al igual que los demás análisis también se realizaron en los puntos donde los listones tienen cambio de sección, utilizando para tal efecto un termómetro infrarrojo digital a una distancia promedio de medio metro.

Los pasos a realizar en el análisis para la toma de la temperatura sobre los listones portantes es muy similar al del análisis de la velocidad, los cuales se describen a continuación.

1. Obtener permiso para ingresar a la planta cuando se encuentre en funcionamiento.
2. Adquirir una redecilla para el cabello.
3. Adquirir tapones para los oídos.
4. Establecer los puntos de medición.
5. Al trabajar en la zona alta del sistema de transporte, se debe utilizar medios auxiliares adecuados como una escalera estable.
6. Medir la temperatura en los puntos de medición.
7. Realizar un apunte de las mediciones calculadas.
8. Despejar del área de trabajo los medios auxiliares utilizados para la medición.
9. Reportar fin del análisis practicado.

5.8 Análisis del desgaste del material de los listones portantes nuevo y después de ser cambiado

El desgaste producido en los listones portantes, por el rozamiento continuo del envase plástico, y otros factores tanto internos como externos ya mencionados, son la razón de que exista un cambio de listones en el sistema de transporte.

En este cambio de listones se analiza la cantidad de desgaste producido en el tiempo que estuvo funcionando. Esta cantidad de material desgastado, es la que determina el fin de funcionalidad óptima de los listones portantes.

En la recolección de los datos analizados se podrá observar, cómo difiere la cantidad de material desgastado según de los puntos seleccionados en el sistema del transporte de envases plásticos.

También se analizó, el tiempo promedio del reemplazo de los listones portantes, contabilizando la cantidad de botellas que circulan por el transporte, se tiene así un parámetro de producción para conocer anticipadamente cuando se requiere de una inspección, para analizar si es necesario un reemplazo. Tomando en cuenta que la producción diaria consta de 23 horas, en las cuales circula un aproximado de 5,000 botellas a la hora, se tendría entonces un promedio de 115,000 envases plásticos transportados diariamente.

Para el análisis entre los listones nuevos y el cambiado se utilizó un vernier de calibración digital, para medir en distintos puntos de las secciones del listón portante nuevo y del listón portante cambiado, la cantidad del material plástico que los diferencia.

6. EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS DEL DESGASTE DE LOS LISTONES PORTANTES

En este capítulo se describirá el resultado de los parámetros sobre los factores que contribuyen al desgaste en los listones portantes que se realizaron y obtuvieron en la práctica, los cuales se especificaron en el capítulo 5, al igual que la evaluación de los resultados.

6.1 Recolección y análisis de los parámetros obtenidos

Los parámetros obtenidos dentro del análisis de los factores que contribuyen al desgaste en los listones portantes, como el ajuste, la velocidad, la temperatura, la nivelación, el desgaste entre los envases y los listones portantes y la cantidad de desgaste entre listones nuevos y usados son los siguientes.

6.1.1 Ajuste

El análisis de los ajustes de los listones portantes, se tomó entre los sujetadores de los lugares especificados de cambio de sección, que comprenden el recorrido del transporte del envase plástico. En este análisis se visualizará la distancia actual entre el par de listones portantes, para conocer si requieren un mayor ajuste o una separación. La separación no debe medir más de 28.40 mm, ni menos de 28.38 mm.

Tabla V. Ajuste de los listones portantes

Línea inclinada	Valor de separación (mm)
Punto de sujeción # 1	27.69
Punto de sujeción # 2	28.23
Punto de sujeción # 3	27.17
Punto de sujeción # 4	27.19
Línea recta No. 1	Valor de separación (mm)
Punto de sujeción # 5	27.85
Punto de sujeción # 6	28.20
Punto de sujeción # 7	28.00
Punto de sujeción # 8	27.63
Curva de 45° No. 1	Valor de separación (mm)
Punto de sujeción # 9	27.74
Punto de sujeción # 10	26.90
Punto de sujeción # 11	29.21
Punto de sujeción # 12	28.16
Línea recta No. 2	Valor de separación (mm)
Punto de sujeción # 13	28.80
Punto de sujeción # 14	29.03
Punto de sujeción # 15	28.13
Punto de sujeción # 16	28.09

Continuación tabla V.

Curva de 45° No. 2	Valor de separación (mm)
Punto de sujeción # 17	26.84
Punto de sujeción # 18	27.62
Punto de sujeción # 19	29.24
Punto de sujeción # 20	30.35

Por lo notado en la tabla anterior, se puede apreciar que el ajuste distancial de los listones portantes en todo el recorrido es deficiente, lo que lleva a que este problema sea uno de los factores más importantes del desgaste.

6.1.2 Velocidad

La velocidad con la que circulan los envases plásticos sobre los listones portantes, es de por sí el factor más responsable del desgaste. Este análisis, señalará los cambios de velocidad a los cuales los envases plásticos circulan en tiempos continuos de 5 segundos de intervalo, tomando 10 muestras en cada cambio de sección. La velocidad, a la que deben circular el envase plástico depende de la producción que se transporta.

Tabla VI. Velocidad de los envases plásticos en cambio de secciones

Sección inclinada	Velocidad m/s	
	2.86	2.52
	2.86	2.45
	1.63	2.10
	1.64	1.65
	1.69	2.06
Sección recta No. 1	Velocidad m/s	
	0.35	0.50
	0.41	0.49
	0.54	0.58
	0.49	0.58
	0.46	0.54
Sección curva de 45° No. 1	Velocidad m/s	
	0.61	0.47
	0.56	0.59
	0.59	0.56
	0.56	0.54
	0.59	0.54

Continuación tabla VI.

Sección recta No. 2	Velocidad m/s	
	0.54	0.59
	0.53	0.64
	0.56	0.65
	0.56	0.52
	0.58	0.57
Sección curva de 45° No. 2	Velocidad m/s	
	0.48	0.54
	0.57	0.51
	0.53	0.52
	0.52	0.56
	0.55	0.54

Las velocidades tomadas en los distintos cambios de sección están dentro de ciertos rangos lo que hace posible un desgaste continuo en los listones portantes, por el constante tráfico de envases diariamente. Los cambios de velocidad de mayor a menor, provocan una fricción mayor lo que provoca la mayor pérdida de material.

6.1.3 Temperatura

El cambio de temperatura que sufren los listones portantes en los cambios de sección, es muy importante para conocer si se encuentran en la temperatura estable de trabajo para no sufrir deformación física.

Se tomó 5 muestras de temperatura en cada sección, en 5 días diferentes, cuando la producción se encontraba al máximo.

Tabla VII. Temperatura de los listones portantes

	Temperatura °C				
Línea inclinada	31	31	32	31	31
Línea recta No. 1	32	32	33	32	32
Curva de 45° No. 1	34	34	34	33	34
Línea recta No. 2	32	33	32	32	33
Curva de 45° No. 2	34	34	34	34	34
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5

Todas las temperaturas evaluadas en los cambios de sección de los listones portantes, son similares en los distintos días de medición, lo que lleva a tener una temperatura estable en el sistema y dentro de los límites para que el transporte sea óptimo. A estos valores, también hay que considerar la temperatura externa, es decir la temperatura a la cual se encuentra el ambiente, que oscila entre los 25 y los 26° C.

6.1.4 Nivelación

El alineamiento de los listones portantes se analizó en los puntos de cambio de sección, donde puede variar la nivelación del sistema, lo que originaría un desgaste no equilibrado en las líneas que están afectadas.

Tabla VIII. Nivelación de los listones portantes

	Grados de desnivel
Línea inclinada	0.5°
Línea recta No. 1	1°
Curva de 45° No. 1	1.5°
Línea recta No.2	1°
Curva de 45° No. 2	1.5°

Los grados de diferencia entre el par de listones portantes en los puntos de cambio de sección como se puede observar, son pocos, pero en un transporte de esta magnitud representan un buen factor para el desgaste innecesario en el sistema. En la curva, estos grados se utilizan para el peralte, pero estos ángulos necesarios para que exista un transporte menos fuerte también causan desgaste.

6.1.5 Distancia

La distancia que divide los envases plásticos de los listones portantes en el transporte, debe ser de 1 mm de cada lado, lo que sería un total de separación de 2 mm, por lo que en los resultados se visualizará qué parte del sistema requiere un mayor o menor ajuste.

Tabla IX. Distancia entre los envases y los listones portantes

Línea inclinada	Valor de separación entre la botella y los listones portantes (mm)
Punto de sujeción # 1	1.31
Punto de sujeción # 2	1.85
Punto de sujeción # 3	0.79
Punto de sujeción # 4	0.81
Línea recta No. 1	Valor de separación entre la botella y los listones portantes (mm)
Punto de sujeción # 5	1.47
Punto de sujeción # 6	1.82
Punto de sujeción # 7	1.62
Punto de sujeción # 8	1.25

Continuación tabla IX.

Curva de 45° No. 1	Valor de separación entre la botella y los listones portantes (mm)
Punto de sujeción # 9	1.36
Punto de sujeción # 10	0.52
Punto de sujeción # 11	2.83
Punto de sujeción # 12	1.78
Línea recta No. 2	Valor de separación entre la botella y los listones portantes (mm)
Punto de sujeción # 13	2.42
Punto de sujeción # 14	2.65
Punto de sujeción # 15	1.75
Punto de sujeción # 16	1.71
Curva de 45° No. 2	Valor de separación entre la botella y los listones portantes (mm)
Punto de sujeción # 17	0.46
Punto de sujeción # 18	1.24
Punto de sujeción # 19	2.86
Punto de sujeción # 20	3.97

Los valores de la separación entre el envase de plástico y los listones portantes, sufren un desajuste severo por lo que se tiene un factor importante en el desgaste de los listones portantes. El valor de separación máximo que puede existir entre los listones portantes para que la botella pueda sostenerse es < 4 mm, de lo contrario, la botella se caerá, y puede lastimar el listón, lo que provocaría un desgaste o un reemplazo.

6.1.6 Diferencia entre listones nuevos y usados

La cantidad de material desgastado en promedio en los listones portantes, es el desgaste que por acción de los factores mencionados, llevan a que exista un recambio de ellos, podrían funcionar un lapso más, si se tuviera mayor control sobre ellos. Cada listón portante nuevo tiene un promedio dimensional de 20.80 mm de perfil del listón. Se medirá el listón en los diferentes puntos de sección para analizar cuánto material promedio se pierde, medido en un tiempo de 4 meses, para así obtener la cantidad de desgaste estimado en uno y dos años, éste es el tiempo en el que aproximadamente se recambian los listones portantes.

Tabla X. Diferencia entre listones nuevos y usados

	Cantidad de desgaste de un listón en mm						
Línea inclinada	.0417	.0416	.0418	.0419	0.167	0.501	1.00
Línea recta No. 1	.0375	.0374	.0375	.0376	0.150	0.450	0.900
Curva de 45° No. 1	.0377	.0375	.0375	.0383	0.151	0.453	0.905
Línea recta No. 2	.0374	.0375	.0374	.0377	0.150	0.451	0.902
Curva de 45° No. 2	.0379	.0376	.0376	.0379	0.151	0.454	0.906
	Mes	Mes	Mes	Mes	Total	1	2
	1	2	3	4		año	años

Los valores que se obtuvieron en la medición del desgaste en los listones portantes, reflejan la distancia que se va disminuyendo de lado y lado, lo que da un estimado que algunos listones portantes instalados con relación al ajuste, no llegan ni a los 2 años de servicio, ya que la distancia entre listones portantes no es óptima y por consiguiente se necesita un recambio de los mismos. El tiempo de servicio que podría estar activo un listón portante actualmente, según los valores obtenidos y los factores que contribuyen a su desgaste, es aproximadamente de 1.5 a 2 años. Tomando estos valores, se podría obtener también un cálculo preventivo, para analizar la cantidad de botellas circuladas en este período, y así tener un mayor control sobre los cambios de los listones portantes. Tomando el cálculo de 1.5 a 2 años, las botellas circuladas serían de 31,050,000 a 41,400,000 aproximadamente.

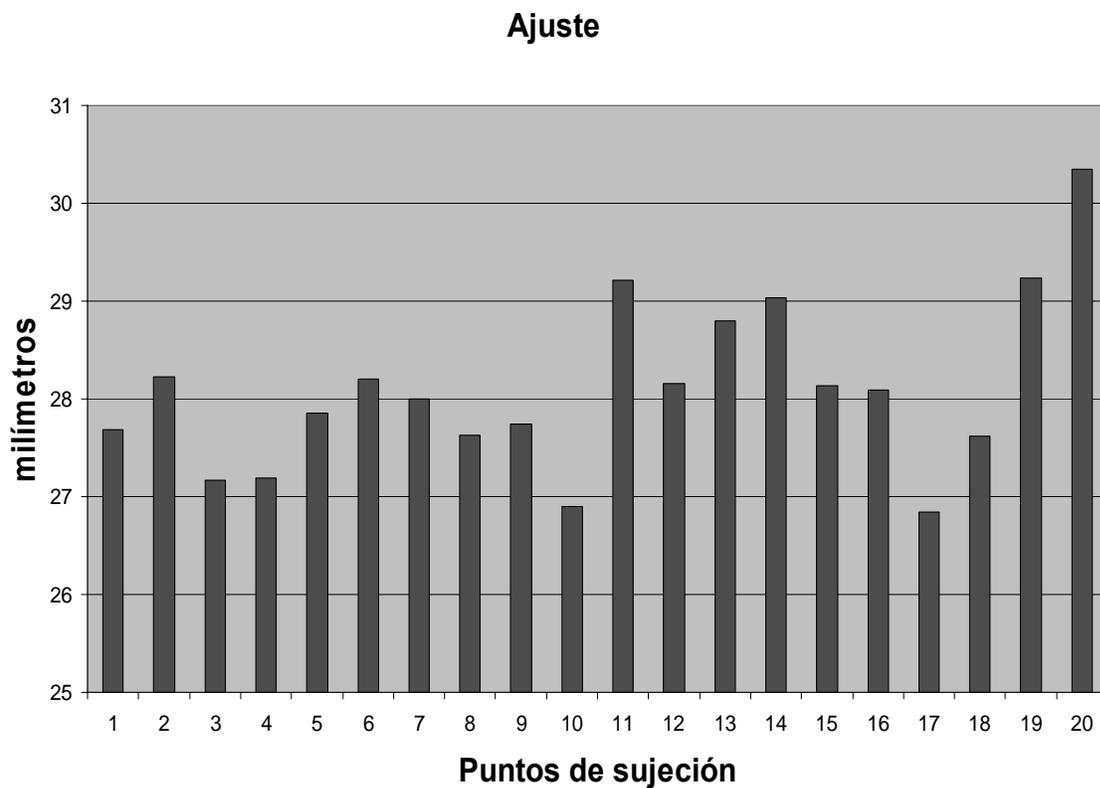
6.2 Estadísticas obtenidas del análisis del desgaste

Se visualizarán las estadísticas gráficamente de los factores que influyen en el desgaste en los listones portantes, con el fin de conocer la variación existente de los parámetros obtenidos y su valor promedio actual.

6.2.1 Ajuste

Mediciones encontradas en la planta, al analizar la separación de los listones portantes, en los sujetadores de los cambios de sección.

Figura 23. Gráfica de ajuste en los listones portantes

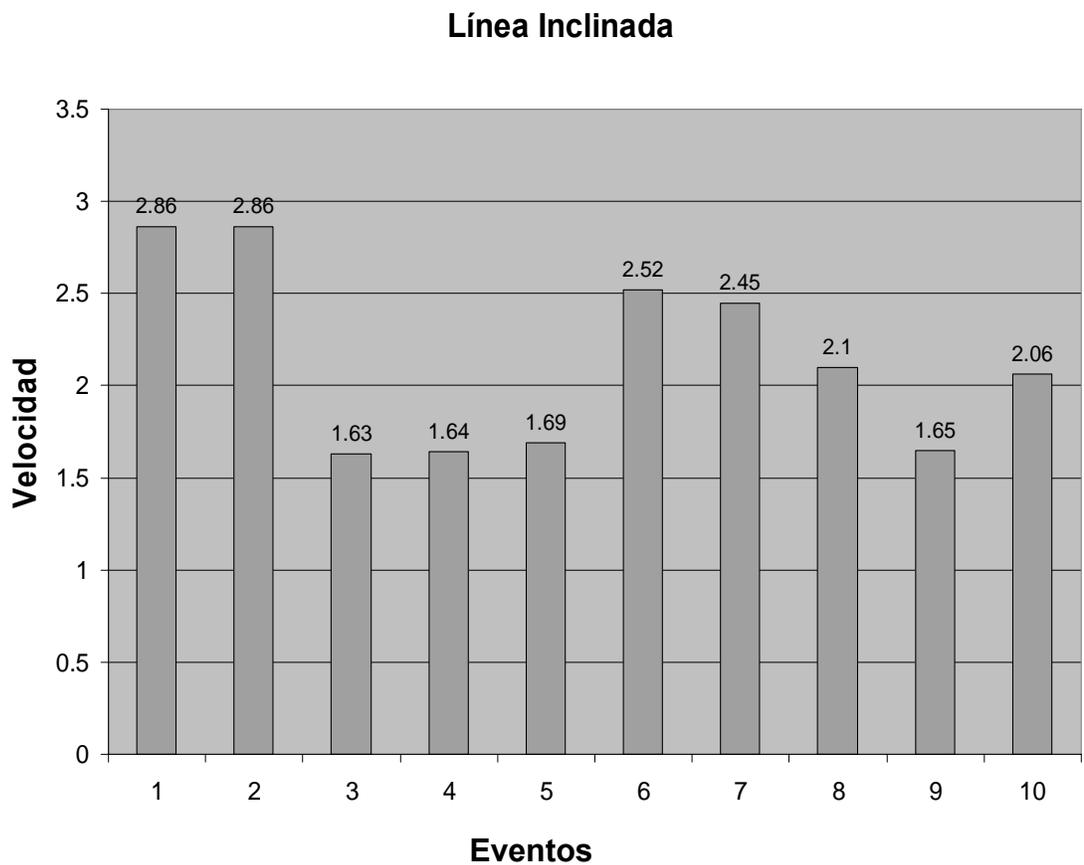


Valor óptimo recomendado:	28.38 mm
Valor óptimo máximo:	28.40 mm
Promedio de separación existente:	28.10 mm
Valor máximo existente:	30.35 mm
Valor mínimo existente:	26.84 mm

6.2.2 Velocidad de los envases adquiridas en la planta

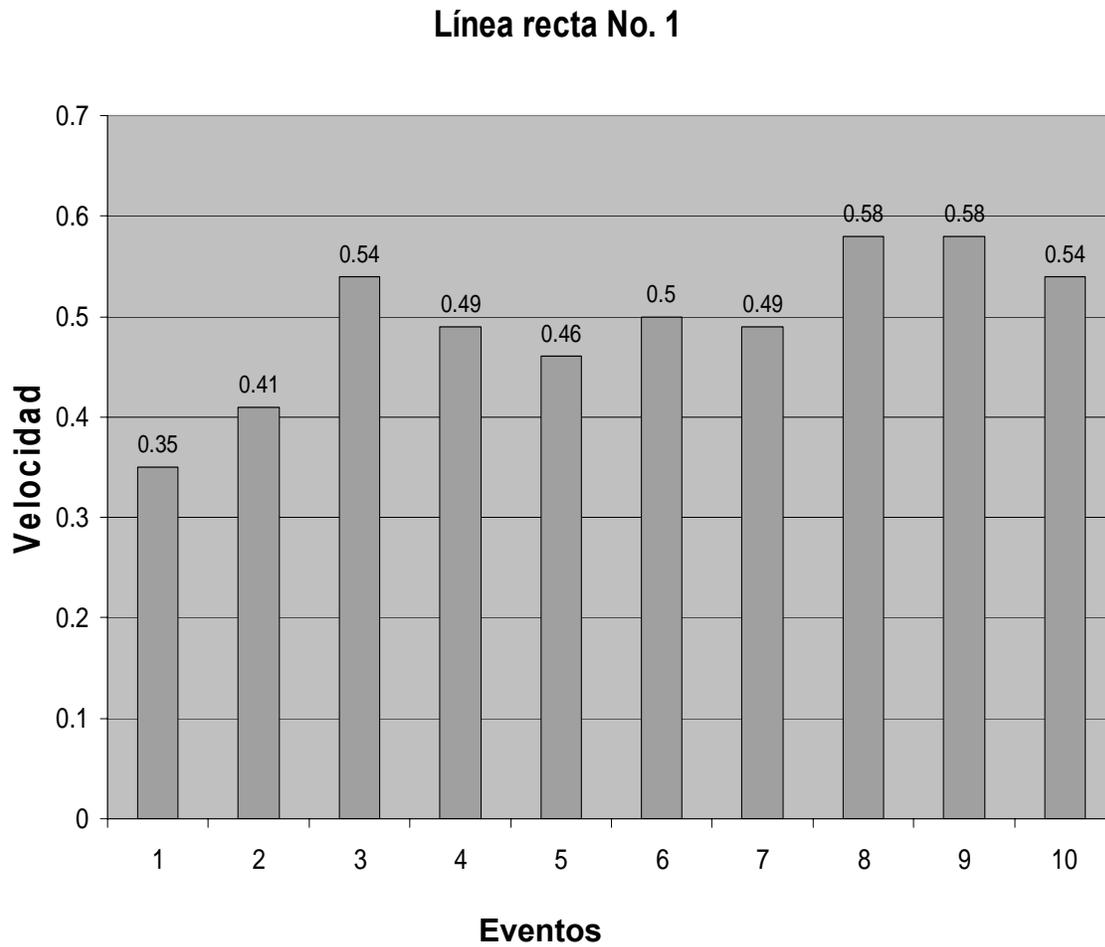
Mediciones encontradas, al analizar la velocidad de los envases vacíos en los distintos cambios de sección.

Figura 24. Gráfica de la velocidad en la sección inclinada



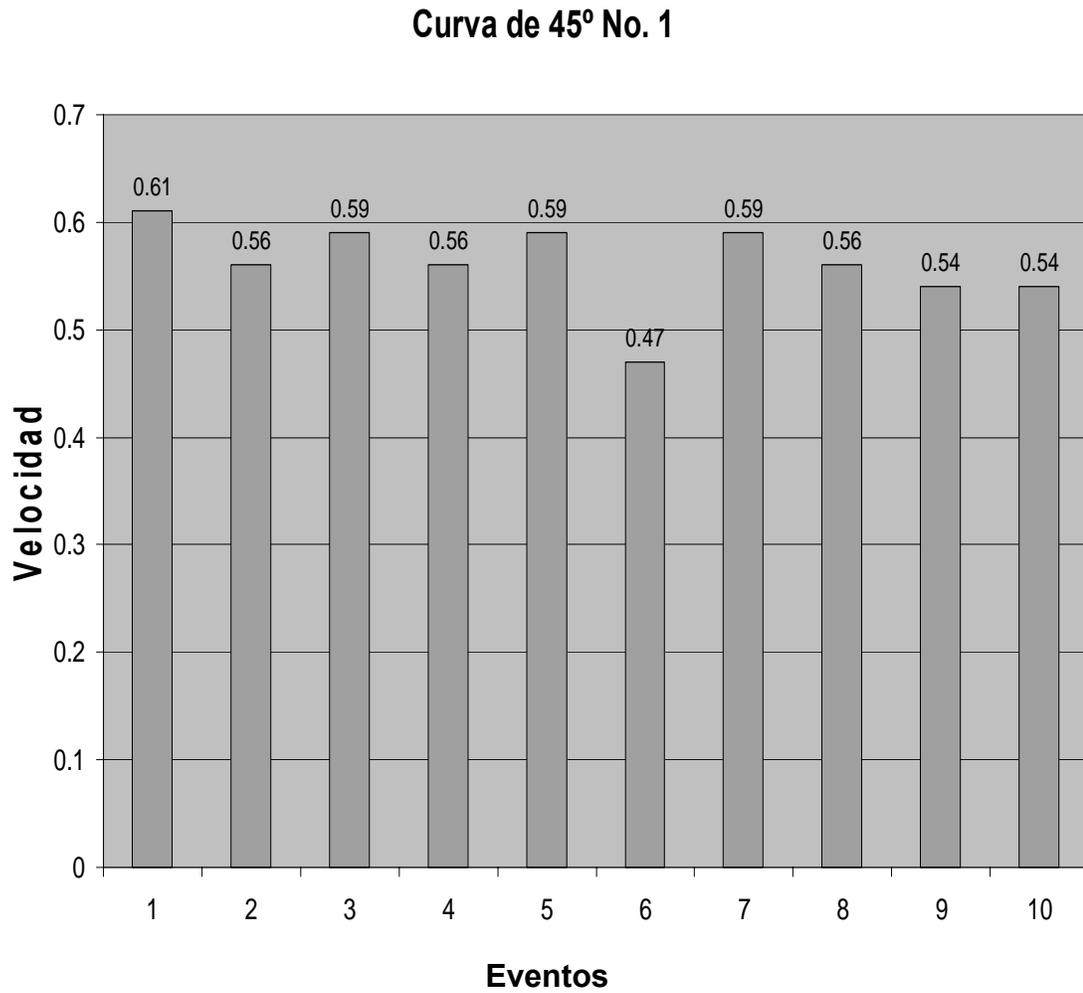
Velocidad recomendada:	2.50 m/s
Velocidad promedio en la sección:	2.146 m/s
Velocidad máxima en la sección:	2.86 m/s
Velocidad mínima en la sección:	1.63 m/s

Figura 25. Gráfica de la velocidad en la sección recta No. 1



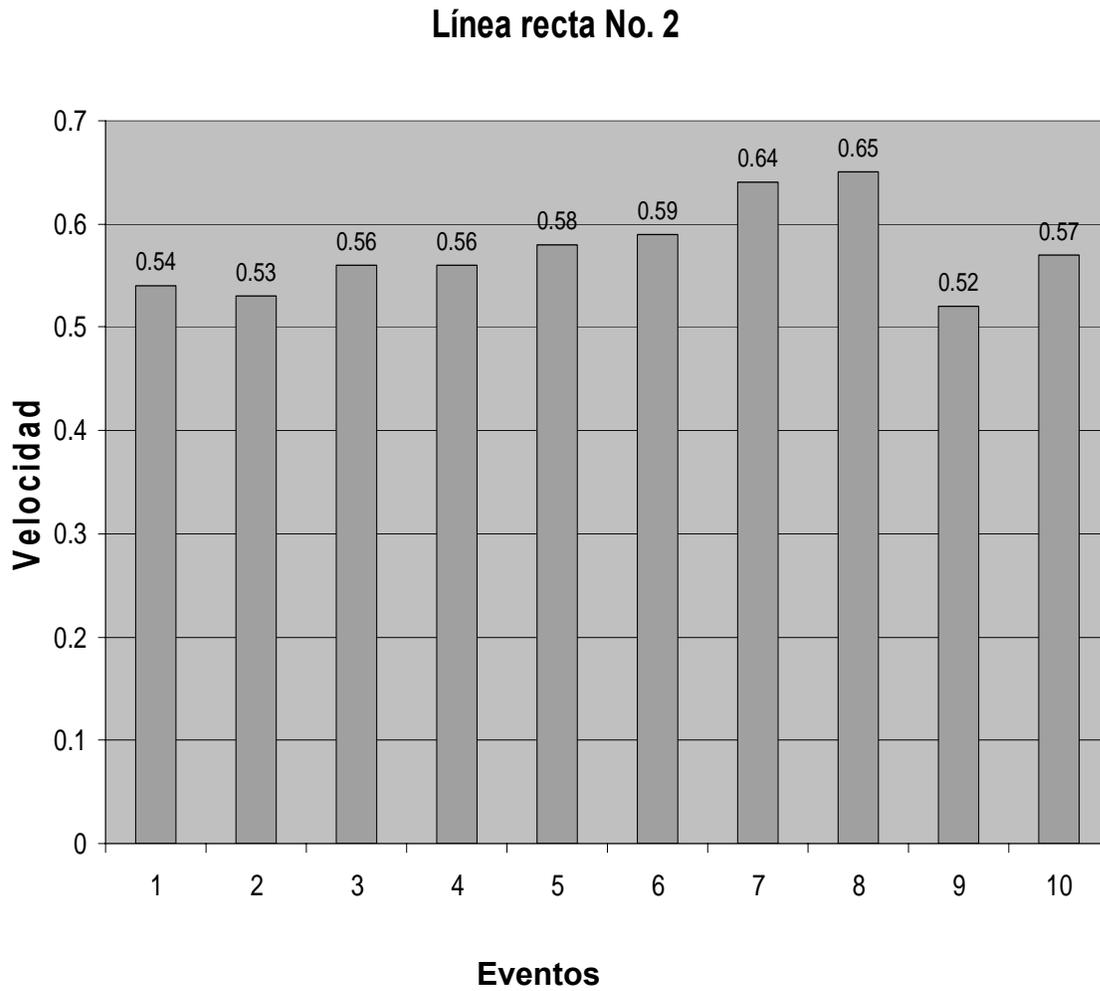
Velocidad recomendada:	0.50 m/s
Velocidad promedio en la sección:	0.496 m/s
Velocidad máxima en la sección:	0.58 m/s
Velocidad mínima en la sección:	0.35 m/s

Figura 26. Gráfica de la velocidad en la sección curva No 1 de 45°



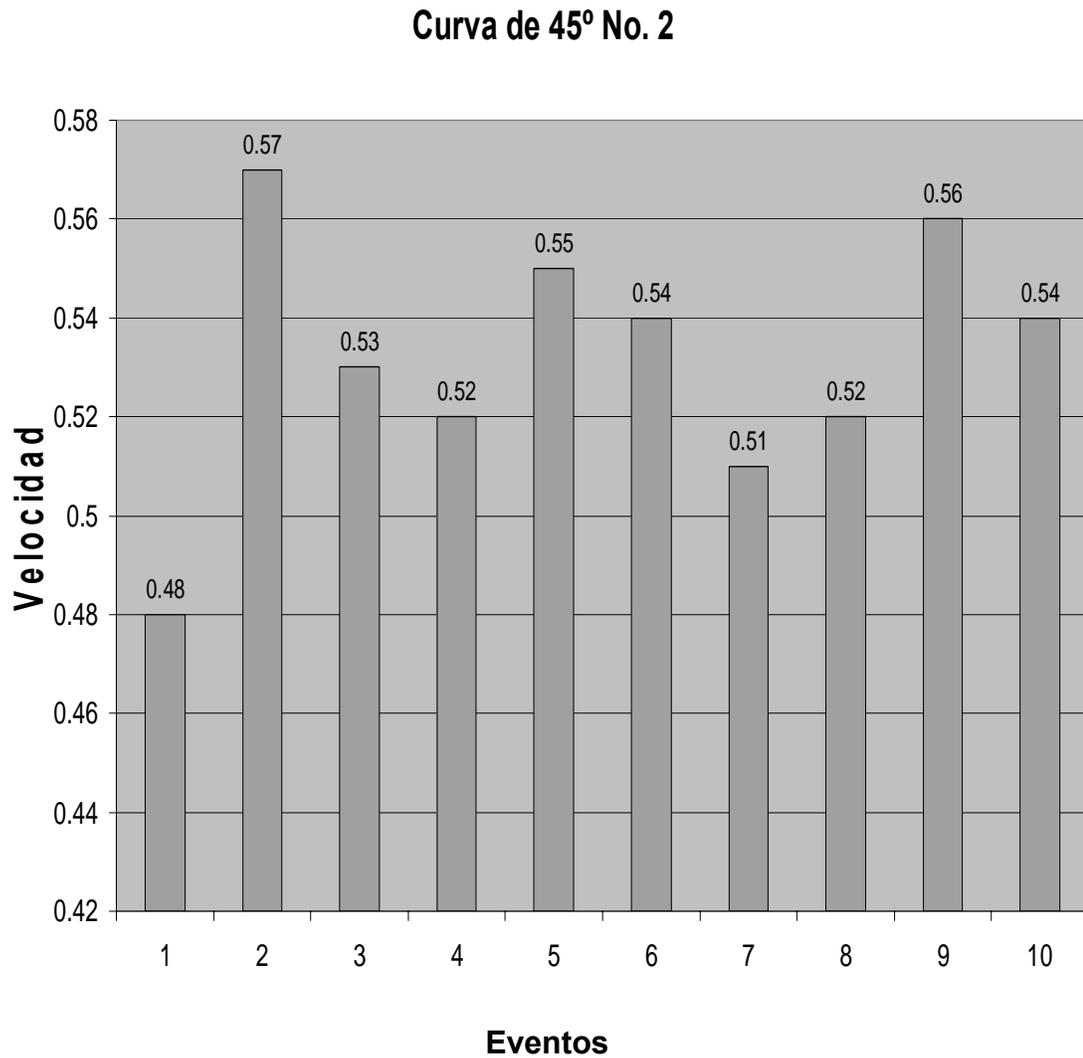
Velocidad recomendada:	0.50 m/s
Velocidad promedio en la sección:	0.561 m/s
Velocidad máxima en la sección:	0.61 m/s
Velocidad mínima en la sección:	0.47 m/s

Figura 27. Gráfica de la velocidad en la sección recta No. 2



Velocidad recomendada:	0.50 m/s
Velocidad promedio en la sección:	0.574 m/s
Velocidad máxima en la sección:	0.65 m/s
Velocidad mínima en la sección:	0.52 m/s

Figura 28. Gráfica de la velocidad en la sección curva No. 2 de 45°

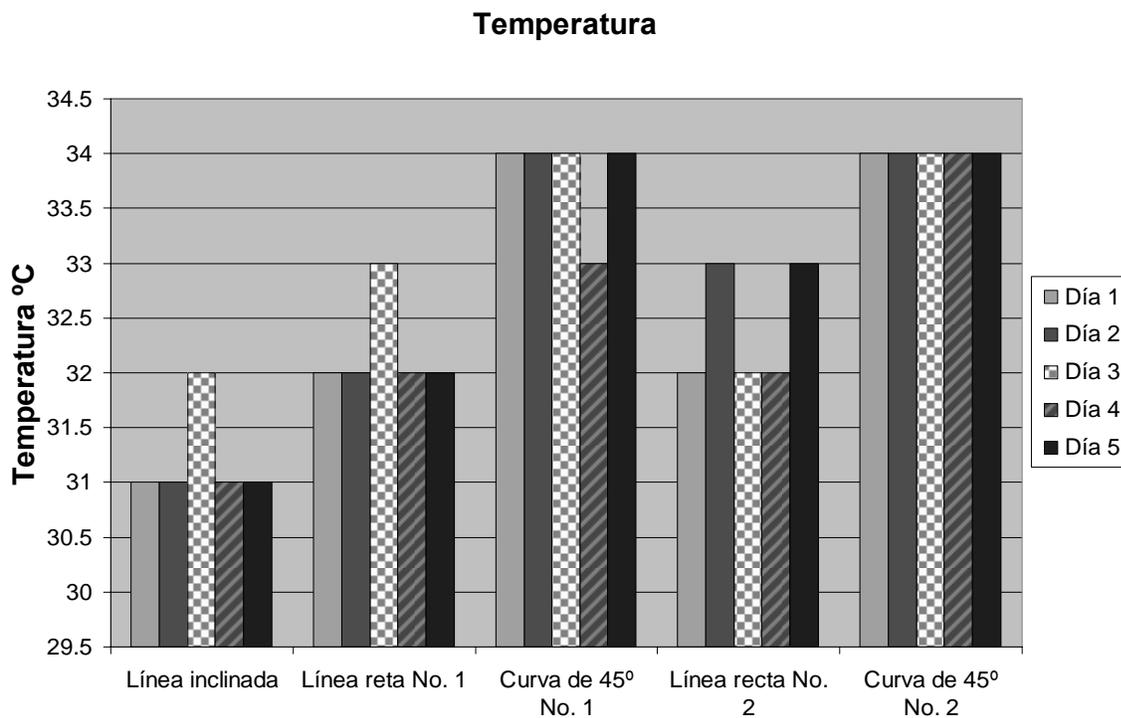


Velocidad recomendada:	0.50 m/s
Velocidad promedio en la sección:	0.532 m/s
Velocidad máxima en la sección:	0.57 m/s
Velocidad mínima en la sección:	0.48 m/s

6.2.3 Temperatura

Mediciones encontradas en la planta, al analizar la temperatura de los listones portantes en los distintos cambios de sección.

Figura 29. Gráfica de la temperatura de los listones portantes

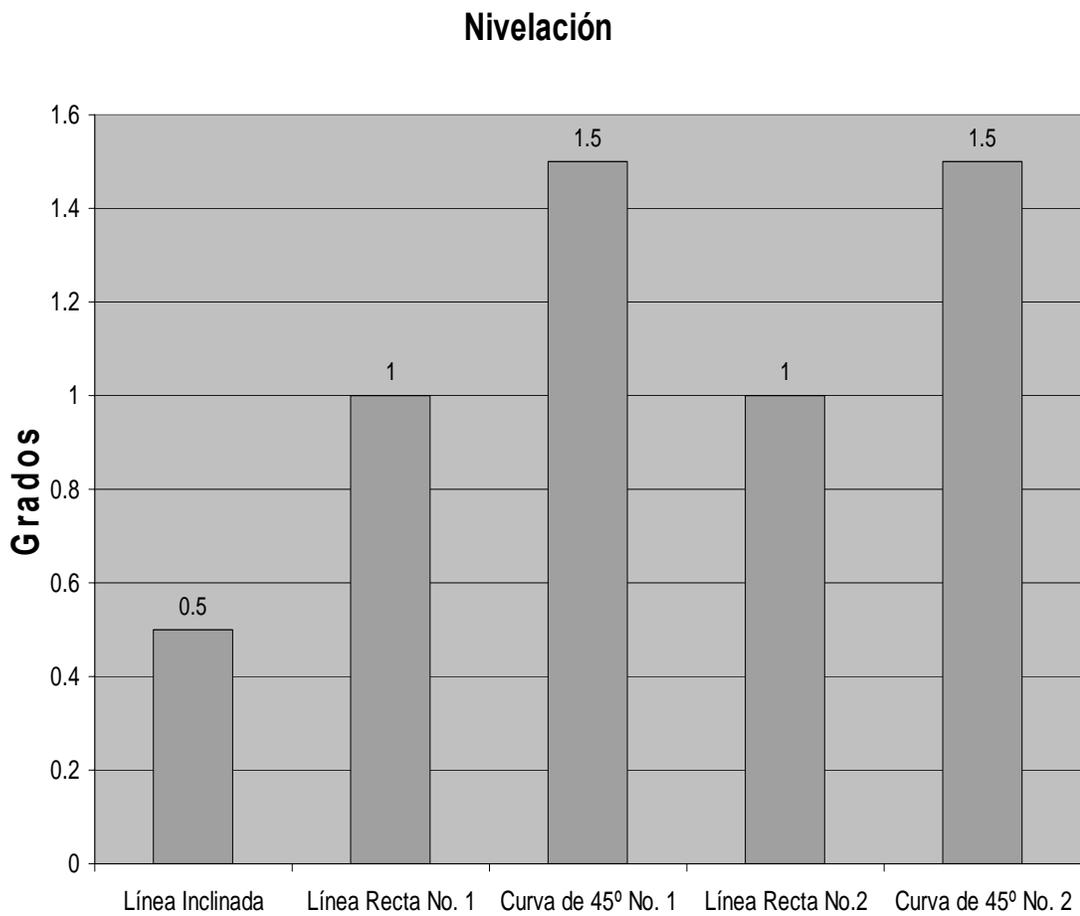


Temperatura promedio, línea inclinada	31.2 °C
Temperatura promedio, línea recta No. 1	32.2 °C
Temperatura promedio, curva de 45° No. 1	33.8°C
Temperatura promedio, línea recta No. 2	32.4 °C
Temperatura promedio, curva de 45° No. 2	34.0 °C
Temperatura promedio en el sistema	34.0 °C
Temperatura mínima en el Sistema	31.0°C
Temperatura máxima en el Sistema	32.8 °C

6.2.4 Nivelación

Mediciones encontradas en la planta, al analizar los grados de nivelación de los listones portantes en los distintos cambios de sección.

Figura 30. Gráfica de Nivelación de los listones portantes

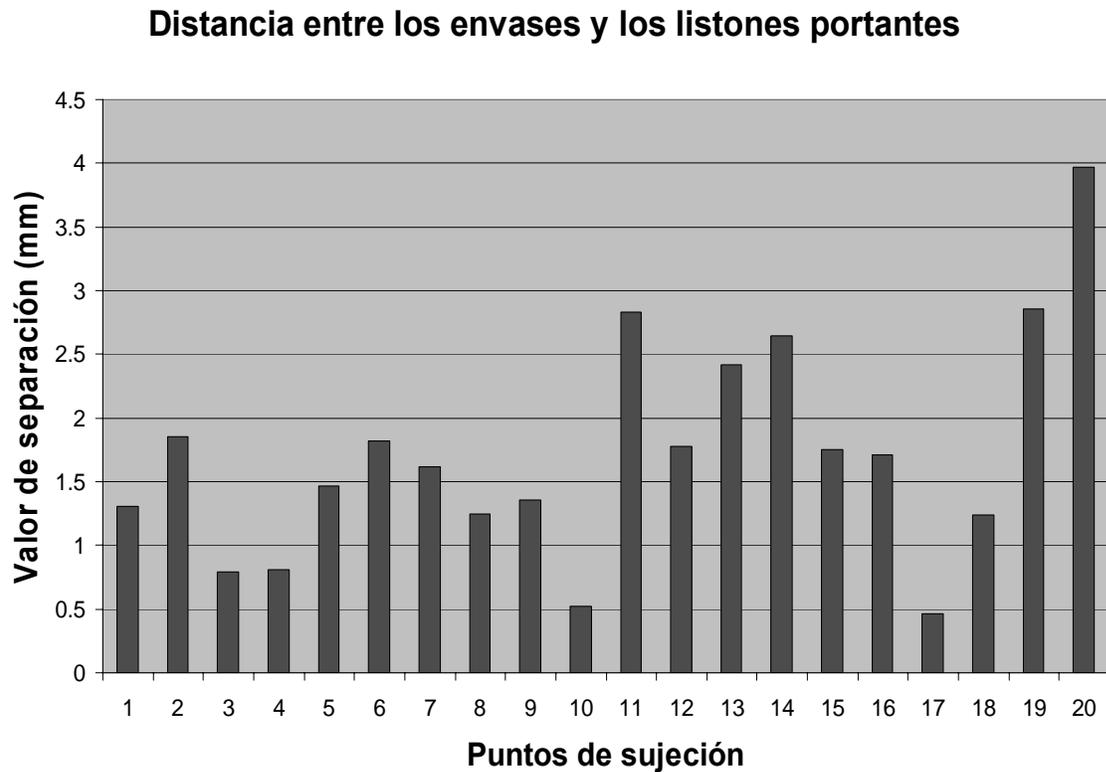


Desviación aceptada:	1°
Grados promedio de desnivelación en el sistema:	1.1°
Grados máximos de desnivelación en el sistema:	1.5°
Grados mínimos de desnivelación en el sistema:	0.5°

6.2.5 Distancia entre los envases y los listones portantes

Mediciones encontradas en la planta, al analizar la distancia entre los envases y los listones portantes en los distintos puntos de sujeción.

Figura 31. Gráfica de la distancia entre envases y listones portantes

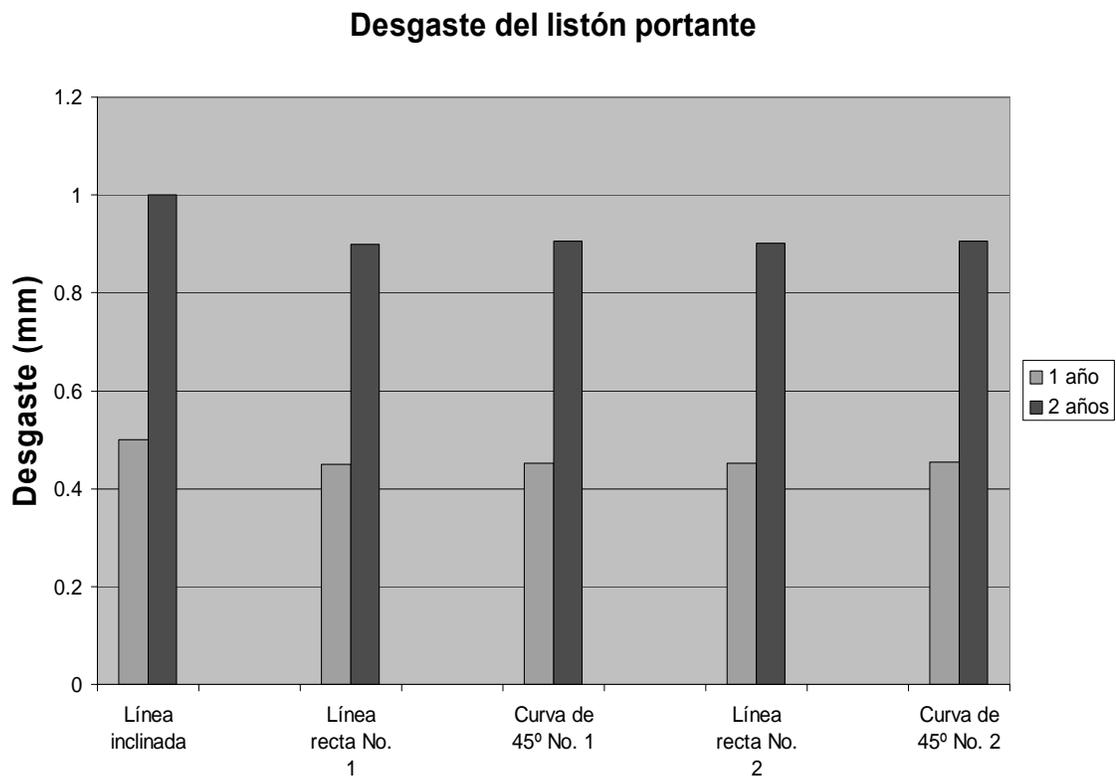


Valor óptimo requerido:	2 mm.
Promedio de separación existente:	1.72 mm.
Valor máximo de separación:	3.97 mm.
Valor mínimo de separación:	0.46 mm.

6.2.6 Desgaste del listón portante

Mediciones encontradas en la planta, al analizar el desgaste de los listones portantes en un tiempo aproximado de uno y dos años en los distintos cambios de sección.

Figura 32. Gráfica del desgaste del listón portante en toda su longitud



Desgaste promedio del listón portante en el sistema en un año:	0.4618 mm.
Desgaste promedio del listón portante en el sistema en dos años:	0.9226 mm.

6.3 Discusión de Resultados

Al tener todos los resultados de los parámetros medidos durante la observación en el transporte asistido por aire de envases vacíos de plástico, AirCo, es posible analizarlos a continuación.

Las observaciones dentro del almacenamiento y el montaje, nos demuestran que necesitan una mejora considerable sobre el trato y cuidado de los listones portantes. Aunque estos procesos se supervisen, necesitan un poco más de control, dado que el mal manejo promueve al desgaste en los listones portantes en una forma anticipada.

La temperatura que poseen los listones portantes durante el transporte de los envases plásticos vacíos es el factor más estable, dado que se encuentra dentro de las temperaturas de trabajo, lo que lleva a que este factor sea el menos perjudicial para el desgaste. Siempre debe analizarse para conocer las cargas y velocidades de trabajo que se le puedan aplicar, y así evitar deformaciones.

Como todo sistema de transporte, debe poseer equilibrio y nivelación para que el producto transportado llegue sin esfuerzo y sin lastimaduras que podrían perjudicar la producción; se debe verificar la alineación, en este caso de los listones portantes, para que los envases plásticos recorran sin problemas de transportación y no desgasten los listones antes de tiempo por el ángulo de inclinación en que circulan. La desnivelación que poseen los listones portantes, por mínima que sea, es otro factor que representa un riesgo y que llega también a desgastarlos, por lo que es necesario que se efectúe una inspección de nivelación, para corregir este problema, para que no llegue a convertirse en un factor más dominante.

Los resultados del análisis del transporte de los envases plásticos, conduce al factor más directo que produce el desgaste adhesivo de los listones portantes, éste es a velocidad. La velocidad como sabemos, es la forma directa de acelerar el desgaste, por lo que es necesario establecer una velocidad patrón estable sobre los envases vacíos de plástico; cuando la producción está llena y cuando la producción está iniciando. La velocidad se debe estabilizarse para tener un desgaste equilibrado en todo el sistema del transporte y evitar el exceso de aire impulsado, lo que lleva a un ahorro de energía. Se tiene aquí entonces, que la estandarización de la velocidad es el segundo factor más importantes del porqué el desgaste se efectúa en menos tiempo sobre los listones portantes.

Al observar los resultados en las estadísticas gráficas del capítulo 6, se puede apreciar que los valores más importantes sobre el desgaste después de la velocidad son definitivamente el desajuste y la mala calibración distancial entre los listones portantes. Con un mal ajuste distancial los envases plásticos actúan y circulan anormalmente sobre los listones portantes, lo que produce y genera un desgaste continuo por la falta de ajuste y calibración por parte del área técnica encargada, lo que refleja un mal seguimiento de los pasos de mantenimiento preventivo.

Si se ajustaran los listones portantes a la medida necesaria para que el funcionamiento fuera óptimo, si se tuviera una velocidad media estable y se alinearan los rieles que requieren una calibración, posiblemente el desgaste que se genera en los listones portantes, por efecto del transporte de los envases plásticos o botellas, podría retardarse de uno a 2 años más de servicio, lo que se reflejaría en un gran ahorro no sólo de costo, sino también de trabajos innecesarios en el sistema.

CONCLUSIONES

1. El sistema de transporte de envases vacíos de plástico asistido por aire, se encuentra en un estado que requiere de una buena inspección, para efectuar trabajos de reparación en todo su sistema.
2. El factor crítico que contribuye al desgaste es el desajuste entre el par de listones portantes a través de todas las líneas de transporte de los envases vacíos de plástico.
3. El factor óptimo del sistema es la temperatura que se genera en los listones portantes ya que se encuentra dentro de los rangos permisibles para operar adecuadamente.
4. Uno de los factores más directos que genera desgaste es la velocidad, lo cual demuestra que el sistema necesita de una estandarización, para que los envases plásticos circulen moderadamente y contribuya a un desgaste continuo y menos acelerado.
5. Tanto el montaje como el almacenamiento deben tener una mayor precaución y observación, por lo contrario ocasionan un desgaste prematuro en los listones portantes.

RECOMENDACIONES

1. Como primer punto se recomienda una buena inspección del sistema del transporte asistido por aire, para posteriormente realizar trabajos de reparación y calibración en todos los puntos donde se requiera en las distintas líneas del transporte y evitar un desgaste incontrolable de los listones portantes.
2. Se debe capacitar progresivamente al personal técnico encargado del sistema de transporte asistido por aire, para que realice los trabajos eficientemente y no cometa fallos o lastimaduras en el transporte, almacenaje y montaje de los listones portantes.
3. Se debe agregar a los trabajos de inspección, las tareas de analizar la distancia entre el par de listones portantes para que la circulación sea óptima, al igual que la separación entre la botella y la nivelación de los listones portantes, y realizarlas aproximadamente cada semana o alrededor de las 50 ó 75 horas de servicio.
4. Los trabajos de reparación se deben apegar al manual de mantenimiento para así, realizar un buen trabajo de reparación, al cual se le debe de incluir una buena señalización en la planta a la hora de realizar los trabajos; además del uso correcto de las herramientas, éstas deben ser las adecuadas para el montaje y reparación del sistema de transporte.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amaya Zelaya, Nuria Pamela. Deformación y falla de los materiales Polímeros. Tesis Ing. Mec. México, Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2003. 83 pp.
2. Cardellach Ramírez, Martha. Desgaste de carburos cementados, Tesis MS. Ciencia de los materiales. Barcelona España, Universidad de Cataluña, Departamento de Ciencia de los Materiales, 2004. 75 pp.
8. De Galiana, Mingot. **Ciencias técnicas**. México: Editorial Larousse, 1967. 1056 pp.
3. Kurtz, Steven M. **El manual UHMWPE**. Estados Unidos: Editorial Elsevier Academic Press, 2004. 396 pp.
4. **Propiedades de los materiales plásticos**. Estados Unidos: Editorial Goodfellow Cambridge Limited, 2003. 80pp.
5. Sánchez Mora, Johan José. Comportamiento térmico y mecánico del Poli(Etilen Tereftalato) PET. Tesis DH. Ing. Ind. Barcelona, España, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ciencias de los Materiales, 2003. 101 pp.
6. Sarkar A. D. **Desgaste de metales**. México: Editorial Limusa – Noriega. 1999. 225 pp.
7. Salvavidas S. A.. **Manual técnico**. Guatemala: s.e. 1997. 120 pp.

ANEXOS

Figura 33. Sección de los listones portantes



Fuente: Salvavidas, S. A.

Figura 34. Sujetadores de los listones portantes



Fuente: Salvavidas, S.A.

Figura 35. Vista superior de la planta transportadora



Fuente: Salvavidas S.A.

