



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Determinación de la Durabilidad de una Resina de Tereftalato de Polietileno, Af-626, en Envases Retornables por Inyección para Bebidas Gaseosas de Alta Rotación"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN  
PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención de Título de:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

Presentado por:

**Andreina Gabriela Martínez Sobenis**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2014**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a mis padres, hermanas y esposo por alentarme y darme todo el soporte necesario para cumplir esta meta. Agradecida con ellos, el núcleo de mi hogar, quienes me enseñan a diario la voluntad y fortaleza que se debe tener durante cada una de las etapas de la vida.

A mi directora del proyecto de graduación, por el seguimiento y asistencia brindada durante el proceso de desarrollo del mismo. Gracias por creer en la capacidad de todos sus tesisistas.

Al personal que colaboró conmigo en la ejecución de toda la prueba. A mi

compañero Elvis Diescimavilla quien me demostró el profesionalismo y la madurez necesaria que se requiere para culminar un proyecto tan importante como este.

Gracias a todos mis seres queridos por depositar su confianza en mí.

## DEDICATORIA

Dedico esta meta alcanzada a Dios en primer lugar, por ser el ser que me dio la vida y me convirtió en una persona de bien.

A mis padres a quienes les debo la mayor parte de este éxito, quienes con su apoyo incondicional y constancia generaron esas ganas fervientes de continuar y culminar éste proyecto; uno de mis más grandes logros.

A mis hermanas por ser mi ejemplo a seguir, por alentarme y guiarme siempre con su experiencia.

Y a mi querido esposo, por siempre pensar en el crecimiento y superación en conjunto.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Dra. Sandra Acosta D., Ph.D.  
DIRECTORA DEL TFG

---

Ing. Jenny Venegas G.  
VOCAL



CIB - ESPOL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Andreina Gabriela Martínez Sobenis

## RESUMEN

El presente proyecto de graduación surgió a partir de la necesidad de desarrollar en el mercado local una resina de tereftalato de polietileno según las propiedades y características con las que debe cumplir un envase retornable para bebidas gaseosas; debido a que actualmente dicho material se obtiene solo mediante su importación.

Este trabajo se llevó a cabo a través de métodos comparativos y analíticos con un envase existente. Se evaluó la resistencia física- química de ambos materiales en condiciones normales de proceso de producción y su reacción ante circunstancias extremas de almacenamiento; según pruebas y ensayos avalados por normativas internacionales. Estableciendo parámetros adecuados de control de envase, tales como presión interna, estabilidad térmica, retrogradación de polímero y reacción álcalis.

Finalmente al término de este proyecto se planea seleccionar el nuevo material de envase como sustituto del existente; decisión validada mediante la metodología propuesta para determinar la durabilidad de los envases en el mercado.

**Objetivo General:**

La comparación y estudio de una nueva resina de tereftalato de polietileno con relación a una ya existente en el mercado para la fabricación local de envases retornables de bebidas gaseosas.

**Objetivos Específicos:**

1. Proponer una metodología específica para la aprobación de botellas que sirvan como envases de bebidas gaseosas.
2. Entender el comportamiento del polímero según su retrogradación y formación molecular.
3. Establecer parámetros de control para valorar envases de bebidas gaseosas.
4. Cumplir con las especificaciones del envase relacionadas al producto.
5. Sustentar la resistencia y durabilidad del nuevo envase en el mercado.
6. Tener bajo control la problemática en cuanto a pérdida de CO<sub>2</sub>.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Plásticos.....	3
1.2 Conceptos Básicos.....	11
1.3 Resinas.....	22
1.4 Problemas en envases PET retornable en bebidas gaseosas.....	25
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. MÉTODOS Y ENSAYOS.....	30
2.1 Normas Internacionales y Nacionales aplicadas para envases PET retornables.....	32
2.2 Diseño de planta .....	36
2.3 Proceso de Soplado de Botellas Ret.-Pet.....	39

2.4	Proceso de llenado en línea.....	45
2.5	Descripción del Método Físico-químico aplicado para la determinación de la durabilidad de un envase PET retornable....	50
2.6	Requerimientos Analíticos.....	51
2.6.1	Validación de la Estabilidad Térmica.....	51
2.6.2	Validación de la Resistencia a la Carga Vertical.....	52
2.6.3	Validación de la Presión Interna.....	52
2.6.4	Validación de la Resistencia al Impacto de caída.....	53
2.6.5	Validación de Diámetros.....	53

### **CAPÍTULO 3**

3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	57
3.1	Comparación de la resina de ensayo contra una resina comercialmente conocida.....	61
3.2	Especificaciones del envase.....	81
3.3	Características de Desempeño.....	81

### **CAPÍTULO 4**

4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.1	Efecto de la aplicación de contrapresión.....	90
4.2	Efecto en la estabilidad térmica del envase; Retrogradación del polímero;.....	97
4.3	Interacción del baño caustico y la temperatura en el envase.....	99

**CAPÍTULO 5**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 103

**APÉNDICE**

**BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

<b>PET:</b>	Polyethylene terephthalate - tereftalato de polietileno
<b>PVC:</b>	Policloruro de vinilo
<b>PE:</b>	Polietileno
<b>PP:</b>	Polipropileno
<b>PS:</b>	Poliestireno
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de carbono
<b>AQL:</b>	Acceptable Quality Level - Nivel de Calidad Aceptable.
<b>DP:</b>	Grado de polimerización
<b>ASTM:</b>	American Society for Testing and Materials - Asociación Americana de Ensayos de Materiales
<b>INEN:</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización

## SIMBOLOGÍA

<b>MI:</b>	mililitros
<b>Min:</b>	minutos
<b>Psi:</b>	La libra – fuerza por pulgada cuadrada-pounds - force per square inch
<b>DP:</b>	grado de polimerización
<b>DP:</b>	grado de polimerización
<b>Cm<sup>2</sup>:</b>	centímetros cuadrados

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Representación Gráfica de las Cadenas Poliméricas.....	12
Figura 2.1 Layout del proceso fabricación de botellas PET- retornable...	35
Figura 2.2 Proceso de soplado y envasado de bebidas gaseosas en línea.....	36
Figura 2.3 Procesamiento del PET-retornable.....	37
Figura 2.4 Inyección en molde.....	39
Figura 2.5 Transformación de preforma a botella mediante el proceso de soplado del PET-retornable.....	43
Figura 2.6 Partes de una Botella.....	54
Figura 3.1 Gráfico Comportamiento de la resina AF-621 según la Capacidad del envase.....	65
Figura 3.2 Gráfico Comportamiento de la resina AF-626 según la Capacidad del envase.....	65
Figura 3.3 Gráfico Comportamiento de la resina AF-626 según la Altura del envase.....	66
Figura 3.4 Gráfico Comportamiento de la resina AF-621 según la Altura del envase.....	67
Figura 3.5 Gráfico Comportamiento de la resina AF-621 según el Hombro del envase.....	68
Figura 3.6 Gráfico Comportamiento de la resina AF-626 según el Hombro del envase.....	68
Figura 3.7 Gráfico Comportamiento de la resina AF-626 según el Cuerpo del envase.....	69
Figura 3.8 Gráfico Comportamiento de la resina AF-621 según el Cuerpo del envase.....	70
Figura 3.9 Gráfico Comportamiento de la resina AF-621 según el Talòn del envase.....	71
Figura 3.10 Gráfico Comportamiento de la resina AF-626 según el Talòn del envase.....	71
Figura 3.11 Niveles de Stress Cracking en la base del PET – retornable.	74
Figura 3.12 Gráfico Niveles de Stress Cracking en los envases de la Resina AF-626.....	75
Figura 3.13 Gráfico Niveles de Stress Cracking en los envases de la Resina AF-21.....	76

Figura 3.14	Representación del Degaste en la superficie exterior del Envase.....	77
Figura 3.15	Representación del Degaste en la superficie exterior del Envase.....	78
Figura 3.16	Gráfico Proceso de desgaste del envase de la Resina AF-621.....	79
Figura 3.17	Gráfico Proceso de desgaste del envase de la Resina AF-626.....	79
Figura 3.18	Niveles de Scuffing en Botellas PET retornables.....	80
Figura 3.19	Gráfico Resistencia a la Presión Hidrostática de los Envases de la Resina AF-621.....	82
Figura 3.20	Gráfico Resistencia a la Presión Hidrostática de los envases De la Resina AF-626.....	82
Figura 3.21	Gráfico Comportamiento de la Presión Interna en los Envases de la Resina AF-626.....	83
Figura 3.22	Gráfico Comportamiento de la Presión Interna en los Envases de Resina AF-621.....	84
Figura 3.23	Gráfico Resistencia a la Carga Vertical Resina AF-626.....	85
Figura 3.24	Gráfico Resistencia a la Carga Vertical Resina AF-621.....	86
Figura 3.25	Gráfico Resistencia a la Carga Vertical Resina AF-626.....	87
Figura 3.26	Gráfico Resistencia a la Carga Vertical Resina AF-621.....	88
Figura 3.27	Representación de la Prueba de Impacto de Caida libre.....	89
Figura 4.1.	Efectos de la aplicación de esfuerzo a un envase plástico....	92
Figura 4.2	Gráfico Curva de tensión-estiramiento.....	93
Figura 4.3	Gráfico Dureza.....	94
Figura 4.4	Gráfico Comportamiento mecánico de diferentes polímeros	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de dimensiones de la resina AF-626.....	61
Tabla 2	Resumen de dimensiones de la resina AF-621.....	61
Tabla 3	Clasificación del desgaste de acuerdo a la longitud.....	78
Tabla 4	Conservación de CO <sub>2</sub> en los envases fabricados con la Resina AF-626.....	84
Tabla 5	Conservación de CO <sub>2</sub> en los envases fabricados con la Resina AF-621.....	85
Tabla 5	Conservación de CO <sub>2</sub> en los envases fabricados con la Resina AF-621.....	86

## INTRODUCCIÓN

Resulta evidente la extensa variedad de plásticos existente, así como la amplia gama de procesos de transformación de los mismos, por lo que permite concluir que el sector del envase y embalaje sea el que más entusiásticamente haya adoptado los plásticos como material único o en combinación con otros tradicionales y que, por ende, sea el sector de consumo más importante de estos materiales: sobre el 40% con pocas variaciones entre países, y de esta cantidad la mitad aproximadamente corresponde a envases de alimentos.

Durante muchos años el envase cumplía tres funciones: contener, conservar y proteger. Hace ya algunos años que las exigencias de envases y embalajes se han multiplicado y a esas tres funciones tradicionales se le han añadido otras, en respuesta de las cuales los plásticos han resultado ser los materiales más adecuados.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas para bebidas gaseosas, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado del envase.

En la actualidad se requiere de la fabricación de envases de tereftalato de polietileno (PET) retornable para uso en bebidas gaseosas que permitan

racionalizar las manipulaciones en planta, optimizar la relación volumen/capacidad, cumplir con especificaciones relacionadas con el producto, y al entorno. Evaluando de una manera minuciosa la problemática en cuanto a pérdida de CO<sub>2</sub>, contenido neto y explosión de base de la botella.

Por lo que surge la necesidad de aprobar un envase PET retornable sustituto, que sirva como back up para situaciones en donde la obtención del envase actual sea dificultosa, ya sea por temas relacionados al incremento de la matriz productiva o por la ley que restringe las importaciones en el Ecuador.

Por lo que se requiere realizar pruebas de resistencia física-química en el envase fabricado localmente, evaluándose aspectos físicos que tienen relación directa con el producto. Así como también su respuesta frente a condiciones normales de proceso de producción en línea y su reacción ante condiciones extremas en el almacenamiento. Exponiendo los envases a pruebas exhaustivas in situ y en el laboratorio para la aprobación de su durabilidad en el mercado.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se describirán conceptos básicos indispensables para comprender el comportamiento, propiedades e importancia de los polímeros; haciendo énfasis en el estudio minucioso del tereftalato de polietileno, polímero precursor para la producción de botellas para envasar bebidas gaseosas.

### 1.1 Plásticos

El término Plástico se emplea para las sustancias de estructuras y medios diferentes que poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones.

Los plásticos son materiales compuestos principalmente por polímeros de origen natural y modificado o de polímeros hechos artificialmente por medio de procesos de síntesis que en ciertos

casos contienen aditivos como fibras, pigmentos, antideslizantes, etc.

Hoy en día, los plásticos se sintetizan principalmente a partir del petróleo y del gas natural. Los monómeros a partir de los cuales se sintetizan los plásticos contienen esencialmente átomos de carbono e hidrogeno, que pueden ser combinados con átomos de oxígeno, nitrógeno, azufre, cloro y flúor.

En general, se puede decir que los plásticos son más ligeros que los metales y es mucho más fácil darles forma, manteniendo una resistencia a las deformaciones aceptable. Por ello, la tendencia actual es la sustitución de los materiales naturales utilizados hasta ahora, tales como madera, metales, etc., por plásticos.

Los tipos de plásticos más empleados en la actualidad, por orden de importancia, son: poliestireno, resinas fenólicas, polipropileno y resinas úricas.

Entre las ventajas que ofrecen los plásticos, en relación con otros materiales, cabe citar: la resistencia a la corrosión y agentes químicos, aislamiento térmico y acústico, resistencia a los impactos y, finalmente, una buena presentación estética.(Vincent,2006)

La fabricación de los plásticos y sus manufacturados implica cuatro pasos básicos: obtención de las materias primas, síntesis del polímero básico, obtención del polímero como un producto utilizable industrialmente y moldeo o deformación del plástico hasta su forma definitiva.

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación.

### **Termoplásticos**

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a presión. Representan el 78-80% de consumo total de polímeros.

El termoplástico es una mezcla de ingredientes sólidos, (resinas, pigmentos, cargas y microesferas de vidrio). La propiedad más importante es la fluencia. Cuando es sometido a una carga que supera su límite elástico genera una deformación controlada. Sus fuerzas intermoleculares son débiles y guardan una memoria estructural que les permiten retomar su forma inicial luego de haber sufrido una deformación. El producto resultante posee propiedades elásticas.

a) Comportamiento elástico.

En los polímeros termoplásticos la deformación elástica es el resultado de dos mecanismos. Una fuerza aplicada hace que se estiren y distorsionen los enlaces covalentes de las cadenas, permitiendo que estas se alarguen elásticamente. Al eliminar la fuerza se recuperan de esta distorsión prácticamente de manera instantánea. (Billmeyer, 1975)

b) Comportamiento plástico.

Los polímeros termoplásticos se deforman plásticamente cuando se excede al esfuerzo de cedencia. Sin embargo, la deformación plástica no es una consecuencia de movimiento de dislocación. Las cadenas se estiran, giran, se deslizan bajo la carga, causando una deformación permanente.

c) Viscoelasticidad.

La capacidad de un esfuerzo para provocar el deslizamiento de cadenas y la deformación plástica está relacionada con el tiempo y la rapidez de deformación. Si el esfuerzo se aplica lentamente, las cadenas se deslizan fácilmente una al lado de otra; si se aplica con rapidez, no ocurre deslizamiento y el polímero se comporta de manera frágil.

d) Impacto.

El comportamiento viscoelástico también ayuda a comprender las propiedades al impacto de los polímeros. A muy altas velocidades de deformación, como en una prueba de impacto, no hay tiempo suficiente para que las cadenas se deslicen causando deformación plástica. En estas circunstancias, los termoplásticos se comportan de manera frágil y tienen valores pobres al impacto.

e) Propiedades Eléctricas.

Los polímeros termoplásticos son materiales aislantes aunque algunos polímeros termoplásticos complejos como el acetal poseen una conductividad térmica útil.

### **Los termoplásticos en la Industria de alimentos**

Hay muchos tipos de materiales termoplásticos, cada uno de los que se utiliza para tipos específicos de aplicaciones. Entre los nombres más conocidos de la familia de los termoplásticos son de policarbonato, polietileno tereftalato (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (PE), poliéster, polipropileno (PP) y poliestireno (PS). (Vincent, 2006)

Los termoplásticos tienen cada vez más aplicaciones en los sectores industriales y de consumo. Una de las aplicaciones principales del termoplástico es el empaquetado.

La inmensa variedad y disponibilidad de materiales con diversas propiedades permite al fabricante de envolturas confeccionar a medida un tipo de material de envase para cada aplicación y propiedad del producto. Termoplásticos como envases de bebidas gaseosas

La producción de bebidas gaseosas ha registrado una tendencia creciente durante los últimos años. Desde 1990, el sector ha crecido a una tasa anual promedio de 10%. Debido al aumento significativamente de su importancia en la canasta de consumo, constituyéndose en la actualidad en un bien de consumo habitual en los hogares. Por lo que su procesamiento exige entregar un producto de calidad a los consumidores.

La fabricación de este tipo de bebidas se puede dividir en los siguientes subprocesos: preparación del agua, combinación y mezcla de sabores y concentrados, carbonatación y luego envasado. En donde la temperatura, presión y carbonatación, resultan ser factores críticos no sólo para la calidad final (sabor y apariencia) sino también en el llenado de la bebida final.

Al ser carbonatada la bebida, el agua es impregnada con dióxido de carbono. Es enfriada y el dióxido de carbono se disuelve en el agua bajo una alta presión.

En general se puede decir en forma cualitativa que a mayor presión, mayor cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto y a menor temperatura mayor CO<sub>2</sub> disuelto.

Uno de los principales factores que afectan la carbonatación es la presencia de aire en la bebida. La presencia de aire en la bebida dificulta la absorción del CO<sub>2</sub> reduciendo la "efervescencia de la bebida". Para ello es preciso un correcto desairado de la bebida previo a la carbonatación.

Por tal motivo la demanda de un envase que cumpla con diversas especificaciones técnicas y conserve las propiedades físicas requeridas por el producto es importante para el cumplimiento de los estándares de calidad. Es así como los termoplásticos por su inercia, resistencia, permeabilidad y estabilidad se convierten en envases óptimos para la producción de bebidas carbonatas.

El uso del termoplástico tereftalato de polietileno (PET), para la fabricación de botellas comienza cuando las principales marcas de

gaseosas deciden reemplazar el vidrio de los anteriores envases por PET. En un principio las botellas eran retornables y de diseño exclusivo para cada marca. Los nuevos envases fueron rápidamente aceptados por el público en general y especialmente por los negocios y supermercados debido fundamentalmente a sus ventajas con relación al vidrio (menor peso y riesgo por roturas, facilidad de manipular, etc.). Posteriormente se desarrollaron botellas de PET descartables (no retornable).

A lo largo de la historia del PET, la evolución tecnológica de los procesos y de los materiales ha originado una mejora continua en el envase que se ha traducido en un avance de su impacto medioambiental. Permitiendo el desarrollo de las siguientes etapas:

1. Sustitución de otros materiales y optimización del peso del envase de PET.
2. Evolución de materiales constituyentes o relacionados con el envase.
  - a) Desaparición del base-cup y sustitución por un fondo petaloidal
  - b) Homogeneización de materiales que completan el envase de forma que el tapón, la etiqueta, el embalaje externo sea

básicamente de PET o de materiales compatibles con el PET.

### 3. Impacto en la logística - distribución

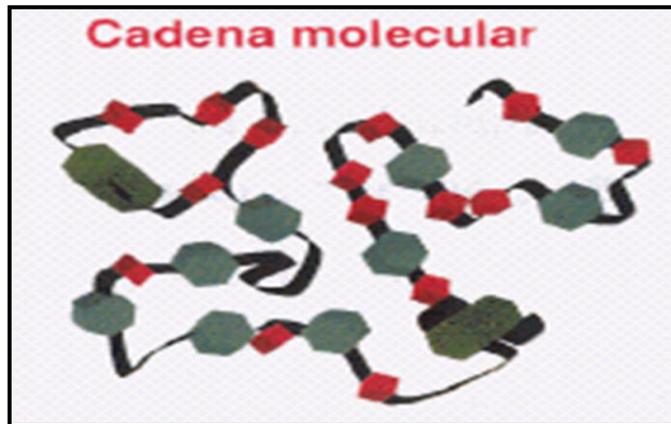
- a) Debido a su ligereza, un camión puede transportar, en el caso de sustitución del vidrio, un "60% más de contenido y un 80% menos de envase", lo que supone un ahorro en combustible y la consiguiente contaminación atmosférica del 10%.
- b) El soplado de los envases suele hacerse como una unidad más en la línea de envasado, es decir el proceso se mantiene en línea; las botellas fabricadas son direccionadas directamente al área de envasado, sin paros o interrupciones. Generando un ahorro energético absoluto ya que evita el transporte de envase vacío.

## 1.2 Conceptos Básicos

### Polímeros

Un polímero es una gran molécula constituida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. La unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente o casi equivalente al monómero o material de partida del que se forma el polímero. En algunos casos la repetición es lineal, de forma semejante a como

una cadena la forman sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando tejidos tridimensionales. (Seymour, 1995).



**FIGURA 1.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CADENAS POLIMÉRICAS.**

La longitud de la cadena del polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena. Este se llama grado de polimerización. El peso molecular del polímero es el producto del peso molecular de la unidad repetitiva por el grado de polimerización, DP.

Los materiales con un alto grado de polimerización se denominan altos polímeros. La mayoría de los altos polímeros útiles para

plásticos, cauchos o fibras, tienen pesos moleculares entre 10 000 y 1'000.000.

Los polímeros pueden ser de tres tipos:

- a) Naturales: originarios del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc.
- b) Artificiales: resultantes de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.
- c) Sintéticos: obtenidos por procesos de polimerización a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: nylon, polietileno, cloruro de polivinilo, polimetano, etc. (Billmeyer, 1975).

Muchos elementos (el silicio, entre otros), forman también polímeros, llamados polímeros inorgánicos.

Las moléculas del polímero se encuentran sujetas a varias fuerzas intermoleculares. Estas incluyen las fuerzas dipolo entre los extremos con cargas opuestas de enlaces polares y las fuerzas de dispersión que surgen debido a las perturbaciones de las nubes de

electrones de los átomos individuales dentro de la molécula de los polímeros.

En conclusión existen cuatro aspectos por los cuales los polímeros actúan de modo distinto a las moléculas pequeñas:

1. Enredo de las cadenas.

La mayoría de los polímeros son polímeros lineales; es decir, son moléculas cuyos átomos se encuentran unidos en una larga línea, formando una inmensa cadena. Generalmente, aunque no siempre, esta cadena no es ni recta ni rígida, sino flexible. Se tuerce y se dobla formando una enredada maraña.

Cuando un polímero está cercano a la temperatura de transición vítrea o de fusión, las cadenas pueden ser retiradas una a una sin grandes dificultades, pero en estado sólido las cadenas se encuentran tan enrolladas entre sí, que es difícil desenrollarlas. Esto es lo que hace tan fuertes a muchos polímeros en materiales como plásticos.

2. Adición de fuerzas intermoleculares.

En los polímeros, estas fuerzas se combinan extensamente. Cuanto más grande sea la molécula, habrá más para ejercer una fuerza intermolecular. Aun cuando sólo las débiles fuerzas de Van de Waals estén en juego, pueden resultar muy fuertes

para la unión de distintas cadenas poliméricas. Esta es otra razón por la cual los polímeros pueden ser muy resistentes como materiales.

### 3. Escala de tiempo del movimiento.

Un grupo de moléculas pequeñas puede moverse mucho más rápido cuando éstas no se encuentran unidas entre sí. Si se las une a lo largo de una extensa cadena, se desplazarán más lentamente.

Esta baja velocidad de movimiento hace que los polímeros hagan cosas inusuales. Al disolver un polímero en un solvente, la solución resultará mucho más viscosa que el solvente puro. De hecho, la medición de este cambio de viscosidad se emplea para estimar el peso molecular del polímero.

### 4. Peso molecular y su distribución

El peso molecular es de considerable importancia debido a su efecto significativo en propiedades tales como solubilidad, reología, velocidad de secado y performance.

Tanto en los polímeros de cadena como en los escalonados la longitud de la cadena es determinada por sucesos puramente aleatorios. En las reacciones por etapas, la longitud de cadena es determinada por la disponibilidad local de grupos reactivos en los extremos de las cadenas en crecimiento. En la

polimerización de radicales, la longitud de la cadena es determinada por el tiempo durante el cual la cadena crece antes de difundirse hacia un segundo radical libre y que ambos reaccionen. (Brindis, 2002)

Las propiedades fisicoquímicas más importantes de los polímeros con relación a la cristalinidad, el comportamiento térmico, el comportamiento mecánico y la resistencia a la degradación química se determinan de la siguiente manera:

#### 1. Funcionalidad

Para polimerizar un monómero deben existir dos enlaces químicos activos. Cuando un monómero posee tales enlaces químicos activos puede reaccionar con otros dos monómeros y por sucesivas uniones de otros monómeros del mismo tipo se puede formar una cadena larga de un polímero lineal.

Si el monómero posee más de dos lugares activos, la polimerización puede tener lugar en más de dos direcciones y de este modo se abre la posibilidad a distribuciones en redes tridimensionales.

- a) Los monómeros con una funcionalidad inferior a 2 forman macromoléculas con masa molecular débil. Sin embargo,

aunque la funcionalidad sea dos se pueden formar estructuras cíclicas.

- b) Los monómeros con una funcionalidad igual a 2 forman polímeros lineales o ramificados. Las masas moleculares son grandes: son los termoplásticos. (Billmeyer,1975)

## 2. Elasticidad a distintas temperaturas

- a) Termoplásticos: son polímeros que se funden cuando se calientan y al enfriarse se solidifican, formando moléculas del polímero esencialmente lineal o ligeramente ramificadas
- b) Termoestables o Termofijos: son aquellos que no se funden cuando se calientan, pero, a temperaturas suficientemente altas, se descomponen irreversiblemente. Son sustancialmente materiales reticulados, que consisten en una extensa red tridimensional de enlaces químicos covalentes.
- c) Elastómeros: estos se conocen como hules. Tienen una deformación elástica  $> 200\%$ ; es posible de que se trate de termoplásticos o de termoestables ligeramente entrelazados. Las cadenas poliméricas tienen forma de moléculas en espiral que se pueden estirar de manera reversible al aplicárseles una fuerza. Los elastómeros

termoplásticos son un grupo especial de polímeros; tienen la facilidad de procesamiento de los termoplásticos y el comportamiento elástico de los elastómeros.(Brindis,2002)

### 3. Resistencia

Los polímeros poseen varios tipos de resistencia con su respectiva propiedad mecánica, para lo cual se clasifica su estudio según el caso.

- a) Resistencia ténsil. cuando un material polimérico es extendido o está bajo tensión
- b) Resistencia a la compresión. Cuando la muestra polimérica debe soportar un peso encima.
- c) Resistencia a la torsión si es resistente cuando es puesto bajo torsión.
- d) Resistencia al impacto. Una muestra tiene resistencia al impacto si es fuerte cuando se la golpea agudamente de repente.

### 4. Elongación

El estudio del comportamiento de elongación de la muestra polimérica se refiere al tipo de modificación que experimenta

cualquier cosa bajo tensión; deformándose por estiramiento, volviéndose más larga.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirársela, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. (Brindis,2002)

#### 5. Dureza

La dureza es en realidad, una medida de la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa. (Brindis,2002)

#### 6. Cristalinidad

Los polímeros pueden solidificarse formando sólidos amorfos o cristalinos. Los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos mientras que los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente.

a) Polímeros amorfos

El comportamiento en cuanto a flujo y deformación de la materia polimérica implica varios fenómenos que se relacionan de alguna manera a su mecanismo molecular. Estos fenómenos y sus principales mecanismo asociados son los siguientes:

1. Flujo viscoso

Es la deformación en masa irreversible del material polimérico asociada al deslizamiento irreversible, unas sobre otras, de las cadenas moleculares.

2. Teoría cinética de la elasticidad del caucho y afines.

Se conserva la libertad del movimiento local relacionado con los movimientos de cadena a pequeña escala, pero están impedidos a los movimientos a gran escala (flujo) por la restricción de una estructura reticular difusa.

3. Viscoelasticidad

La deformación del material polimérico es reversible pero depende del tiempo y está asociada con la distorsión de las cadenas poliméricas a partir de sus conformaciones de equilibrio, por un movimiento activado de los segmentos que implican rotación alrededor de los enlaces químicos.

(Brindis,2002)

#### 4. El estado vítreo y la transición vítrea

Una propiedad asociada a este estado es un bajo coeficiente de expansión de volumen. Este coeficiente surge como resultado de un cambio en la pendiente de la curva de volumen frente a temperatura, en un punto llamado temperatura de transición vítrea.

A temperaturas altas está en forma de un líquido viscoso, y al enfriarlo, se vuelve cada vez más elástico hasta que llega a la temperatura de transición vítrea, se convierte en un sólido duro, rígido y frágil. (Billmeyer, 1975)

##### b) Polímeros cristalinos

Las propiedades viscoelásticas de los polímeros cristalinos son, sin embargo, mucho más complejas, ya que debido a su naturaleza heterogénea se desarrollan grandes concentraciones de tensión.

Un polímero cristalino es una mezcla de regiones de diferentes grados de orden que recorren toda la gama desde cristalitas completamente ordenadas a regiones completamente amorfas. Al variar la tensión, las cantidades de estas regiones cambian continuamente al crecer o fundirse.

Un polímero parcialmente cristalino, generalmente tiene mayor resistencia mecánica que el mismo material con estructura amorfa.

La mayor resistencia o mayor módulo se debe al gran número y espaciamiento regular de los espacios intermoleculares en las estructuras cristalinas. En los polímeros amorfos, el número de estas interacciones es menos y su espaciamiento es errático, así que al aplicarles esfuerzos, muchas secciones del polímero se extienden o deforman libremente.

### **1.3 Resinas**

El término resina es frecuentemente usado para referirse a cualquier material en estado polimérico; originalmente se refería a productos naturales sin embargo, se ha vuelto común el uso de este término para referirse a polímeros sintéticos, particularmente a los precursores de polímeros, tales como resinas epoxi, aminas, poliéster, policarbonatos, poliamidas, poliuretanos y fenólicas.

Se entiende por resina cualquiera de las resinas naturales modificadas químicamente o sintéticos polimerizados físicamente similares, incluyendo los materiales termoplásticos tales como polivinil, poliestireno y polietileno y materiales termoestables tales como poliésteres, epóxidos y siliconas que son utilizados con los estabilizadores, pigmentos y otros componentes para formar plásticos.

## **Poliéster**

El poliéster ( $C_{10}H_8O_4$ ) es una categoría de elastómeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. El poliéster es una resina termoestable obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. El término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc. (Brescia,1977).

El poliéster termoplástico más conocido es el Tereftalato de polietileno (PET). El PET está formado sintéticamente con etilenglicol más tereftalato de dimetilo, produciendo el polímero o poltericoletan

## **Tereftalato de Polietileno (PET)**

La estructura química del PET es  $[-CO-C_6H_4-CO-O-CH_2-CH_2-O-]$ . El PET existe en un estado amorfo, en un estado orientado; parcialmente cristalino y en un estado altamente cristalino. La mayoría de aplicaciones requieren orientación y/o cristalización para

aprovechar el notable aumento de la fuerza y el mejor rendimiento con altas temperaturas. Los polímeros PET ofrecen muchas ventajas en el campo de los envases. Entre ellas se encuentran gran resistencia, su excelente transparencia y el bajo índice de transmisión de gas y vapor de agua, y la posibilidad de esterilización por las distintas modalidades principales. (Brescia, 1977).

Lo cual permite la fabricación de envases extremadamente fuertes para contener las presiones internas de CO<sub>2</sub> sin distorsión o expansión, permitiendo la reutilización del envase, por lo que se lo establece como envases PET-Retornables.

Las propiedades del PET-retornable surgen de su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas, tales como:

- Apto para ser procesable por soplado, inyección o extrusión.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Conserva un bajo punto de fusión de cristalinidad, permitiendo la fabricación de preformas más gruesas.
- Proporciona propiedades de barrera especialmente al dióxido de carbono, vapor de agua y oxígeno.
- Posee alta resistencia mecánica, al impacto por caída y carga máxima que puede soportar el envase.

- Biorientable-cristalizable.
- Esterilizable a altas temperaturas.

#### **1.4 Problemas en envases PET retornable en bebidas gaseosas**

##### **Retrogradación de los Polímeros**

Las zonas amorfas de las botellas PET- retornable se tornan frágiles a medida que pasa el tiempo. Este fenómeno se llama relajación del volumen libre y se ha demostrado que la humedad lo acelera.

Altas temperaturas de almacenaje permiten un mayor encogimiento de las botellas. Si las condiciones son severas, esto puede causar deformaciones permanentes al envase. El grado de deformación y/o encogimiento dependerán de las condiciones de almacenaje y transporte, del diseño de la botella y de las condiciones de envejecimiento.

Se recomienda mantener temperaturas de almacenaje moderadas para garantizar que las botellas tengan un volumen, dimensiones y propiedades consistentes.

Un material termoplástico que ha sido deformado en caliente y enfriado para mantener la conformación impartida, tiende a perder

esta forma y volver a la inicial si se calienta de nuevo a esta propiedad de los polímeros se denomina recuperación de la forma molecular inicial.

Esto ocurre cuando las cadenas poliméricas se ven obligadas a salir de sus conformaciones de equilibrio; al enfriar, no pueden moverse y quedan en tensión. Un calentamiento posterior da la movilidad que necesitan las cadenas para desplazarse a sus posiciones primitivas.

Esta propiedad de los polímeros también es conocida como efecto unidireccional de memoria térmicamente inducido, este efecto es clasificado dentro de los nuevos materiales llamados inteligentes. Para que un polímero presente este efecto es necesario que posea dos componentes a nivel molecular: enlaces (químicos o físicos) para determinar la forma permanente y segmentos "disparadores" con una Temperatura para fijar la forma temporal. (Odian,1989)

Para lograr que un polímero cumpla con este efecto térmico de memoria, es necesario establecer con puntos de anclaje las cadenas para impedir estos procesos de relajación que modifican inelásticamente al sistema

### **Escape de CO<sub>2</sub>**

Estos procesos indeseados de permeabilización del CO<sub>2</sub> son influenciados por factores internos y externos tales como:

a) **Cristalinidad y orientación**

Las zonas amorfas son permeables. La reducción de estas zonas ocurre mediante la orientación molecular.

La cristalinidad aporta el 80% de la reducción en permeabilidad y 20% contribuye la orientación.

b) **Creep.**

Se trata de la expansión que sufre la botella con el tiempo. Después de la presurización se presenta la deformación plástica. El volumen resultante es ocupado por CO<sub>2</sub>. El grado de orientación y el espesor de la pared afectan la cantidad de creep.

c) **Esfuerzo**

El aumento de esfuerzo incrementa la permeabilidad en la mayoría de los polímeros.

d) **Temperatura y humedad relativa.**

El aumento de la temperatura incrementa la permeabilidad. El aumento de la humedad relativa aumenta la permeabilidad

debido a la mezcla de gases. Como resultado la vida de anaquel disminuye con la temperatura.

e) Distribución de espesores.

Para obtener propiedades de barrera óptimas es preciso alcanzar un espesor de pared uniformemente distribuido en toda la botella. El aumento en el espesor de pared disminuye el esfuerzo en la pared y reduce la cantidad de creep y expansión elástica. Por tanto disminuye la pérdida de CO<sub>2</sub>.

### **Presencia de grietas y/o estrías**

La fragilidad de la base y cuello de la botella puede comprometer la resistencia del envase. Se torna en un problema cuando el contenido de las botellas fuga por la parte afectada, dando la apariencia de una botella mal llenada. Esto debido, a que no existe una explosión violenta. Los envases revientan después de ser llenados, mientras están en la planta embotelladora, almacén, camiones o puntos de venta.

Los problemas asociados a este fenómeno son:

- a) La ruptura del envase durante el llenado
- b) Baja resistencia a la caída
- c) Agrietamiento por esfuerzos (stress cracking).

Entre los factores más remarcables que intervienen en este fenómeno; se encuentra el ataque de algunos químicos como limpiadores, jabones (soda cáustica), y lubricantes, que generan pequeñas estrías en la superficie sometida causando o acelerando el fenómeno de stress cracking. Dichas estrías son 50% fibrillas de polímero y 50% espacios vacíos y generalmente son las precursoras de grietas; siendo estas las que hacen la ruptura evidente.

# CAPÍTULO 2

## 2. MÉTODOS Y ENSAYOS

Los métodos y ensayos aplicados en este proyecto están basados en las normas internacionales, que permiten evaluar la calidad de los envases PET- retornables.

Este trabajo analiza dos resinas de tereftalato de polietileno (PET). Una de ellas comercialmente conocida en el mercado obtenida a través de la importación, y la otra, el objeto de este estudio que será desarrollado en una industria local. Ambas resinas tienen el mismo objetivo y funcionalidad, y deberán cumplir con todas las etapas y controles establecidos dentro del proceso de fabricación de botellas para bebidas gaseosas.

No existen diferencias en cuanto a características físicas del pellet como temperaturas de fusión, punto de cristalinidad, calor específico y densidades. Ver APÉNDICE#1 Especificaciones de las Resina AF-621 y AF-626.

La evaluación del material para su aceptación será descrito de acuerdo a las propiedades de:

1. Resistencia química: en relación a las propiedades del producto.
2. Dimensiones y tolerancia.
3. Resistencia mecánica, a esfuerzos tanto interiores como exteriores.
4. Permeabilidad a los gases (dióxido de carbono y oxígeno).
5. Resistencia térmica, cuando se necesite: llenado en caliente, o etapa de lavado a altas temperaturas.

El criterio estadístico que permitirá determinar la calidad de las resinas estará fundamentado bajo el uso de las tablas AQL mediante un muestreo simple de un lote total de 100 botellas por cada tipo de resina, definiendo un tamaño de muestra de 20 botellas fabricadas con la resina a desarrollar y 20 muestras de las botellas fabricadas con la resina previamente aprobada.

La inspección manejará las bases de aceptación o rechazo para encontrar unidades defectuosas según el nivel de inspección # 2 y un AQL de 2.5, establecidos como los favorables para la decisión

de empleo de un material en la industria de alimentos. Ver APÉNDICE# 2 Tablas AQL.

## **2.1 Normas Internacionales y Nacionales aplicadas para envases de PET retornables.**

Las pruebas que evalúan la calidad de los materiales y los envases de plástico que fueron consideradas para este trabajo, se contemplan en:

- NORMA ASTM D2911-94 Standard specification for dimensions and tolerances for plastic bottles.

En la actualidad, la norma ASTM D2911-94 pública la Especificación estándar para dimensiones y tolerancias para las botellas de plástico con dimensiones estándar de cierre de rosca, acabado del cuello, costuras, tolerancias para los distintos rangos de capacidad de la botella (hasta 5 galones) y las dimensiones del cuerpo.

- NORMA ASTM D4506-96 Standard test methods for determining the 24-hour gas (air) space acetaldehyde content of freshly blown PET bottles.

El propósito de este test es obtener, por medio de un aparato sencillo, valores fiables través de la transferencia de vapor de materiales permeables, expresado en unidades apropiadas. Estos valores son para el uso en el diseño, fabricación y comercialización. Por esta razón, las condiciones de ensayo deben ser seleccionadas según las que más se acercan a las condiciones de uso.

- NORMA ASTM D2561-95 Standard test method for environmental stress-crack resistance of blow-molded polyethylene containers.

Este método de ensayo mide la resistencia del craqueo por tensión ambiental de los contenedores de plásticos, que es la suma de la influencia de diseño del contenedor, de resina, las condiciones de moldeo por soplado y en presencia de ambientes tales como jabones, agentes humectantes, aceites o detergentes, pudiendo exhibir un fallo mecánico, que podría causar grietas.

- NORMA ASTM D2463-95 Standard test method for drop impact resistance of blow-molded thermoplastic containers.

Este método de ensayo proporciona medidas de la resistencia al impacto de caída de recipientes termoplásticos soplados como una suma de los efectos del material, condiciones de fabricación y diseño del contenedor.

Las normas de ASTM para plásticos juegan un papel decisivo en la especificación, las pruebas y la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de materiales y productos que están hechos de plástico y sus derivados poliméricos. Estas normas permiten a los fabricantes de plástico y usuarios examinar y evaluar su material o producto garantizando la calidad, aceptabilidad y utilización segura del mismo.

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2047:96 Plásticos. Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos

Esta norma establece una técnica de ensayo para comprobar la resistencia a la flexión. Determinar la flecha de rotura y el esfuerzo de flexión para la flecha convencional en materiales plásticos rígidos.

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2043:96 Plásticos. Determinación de la resistencia a la rotura por tracción.

Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia a la rotura por tracción en plásticos bajo condiciones de pre-tratamiento, temperatura, humedad y velocidad de ensayo.

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 2044:96 Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto de materiales plásticos rígidos

El método se fundamenta en la determinación del trabajo absorbido por el plástico en un solo impacto.

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1077:84 Bebidas gaseosas. Muestreo

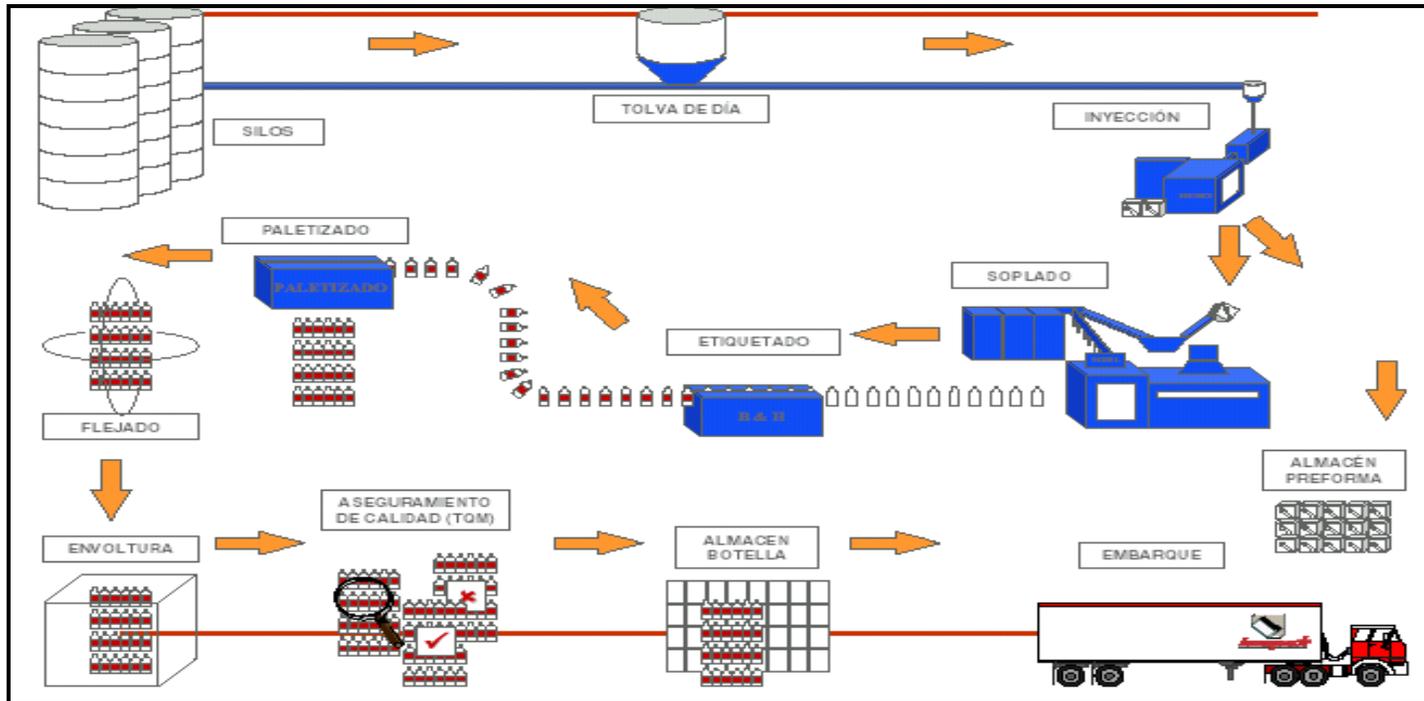
Esta normativa establece el procedimiento para la toma de muestras de bebidas gaseosas.

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1101:08 Bebidas gaseosas. Requisitos

Esta norma establece todos los requisitos y especificaciones que deben cumplir las bebidas gaseosas

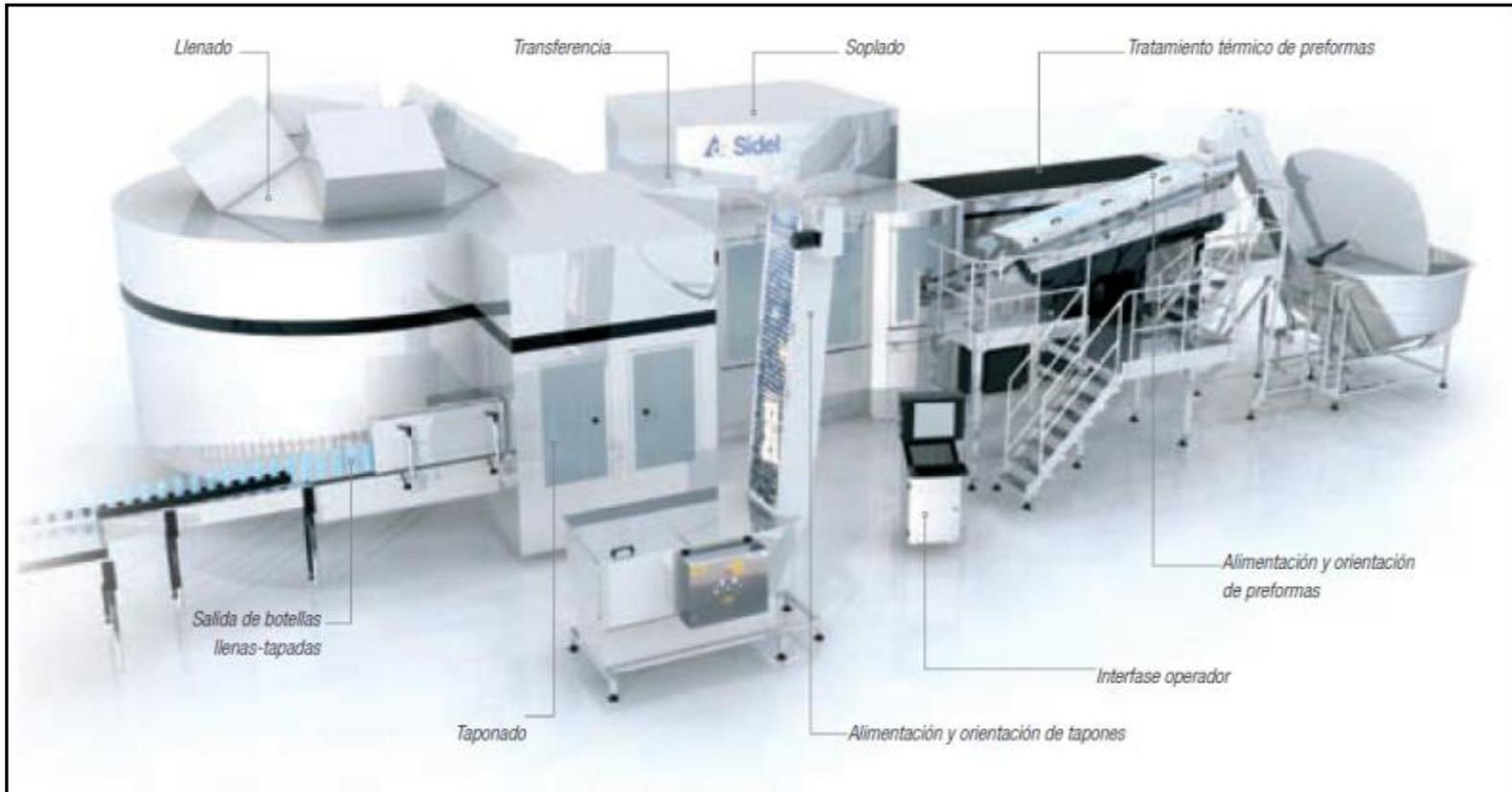
## **2.2 Diseño de Planta**

En las siguientes figuras 2.1 y 2.2 se describe gráficamente las etapas de producción de botellas PET y el tipo de flujo que cumple el proceso de fabricación de bebidas gaseosas. .



Fuente tapón corona de Colombia S.A

**FIGURA 2.1. LAYOUT DEL PROCESO FABRICACIÓN DE BOTELLAS PET- RETORNABLE.**



Fuente Maquinarias Sidel

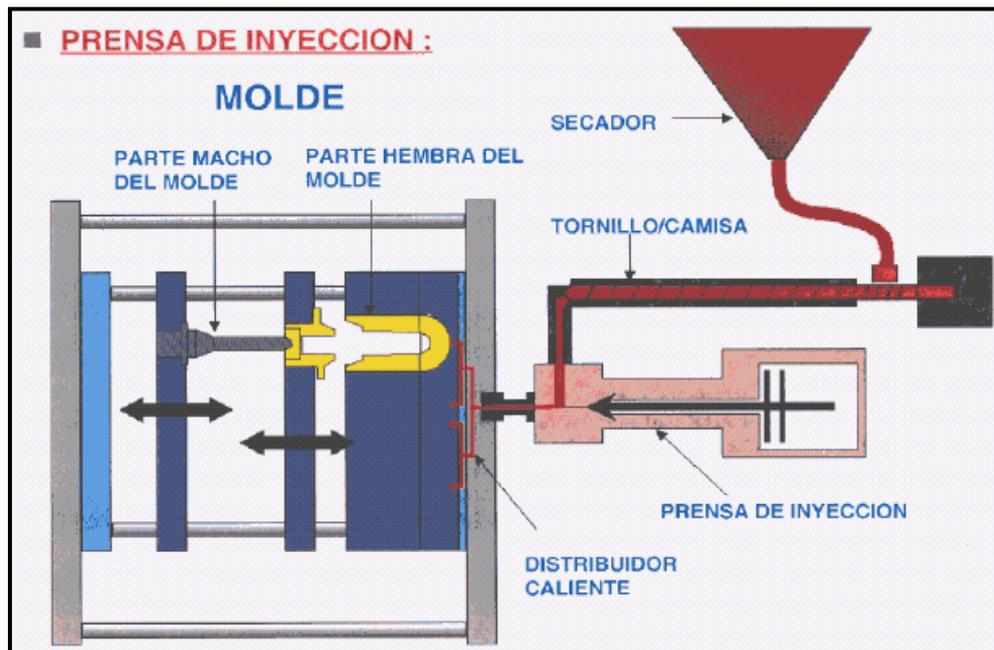
**FIGURA 2.2 PROCESO DE SOPLADO Y ENVASADO DE BEBIDAS GASEOSAS EN LÍNEA.**

### 2.3 Proceso de Soplado de Botellas Ret.Pet.

El PET- retornable es transformado a través de procesos térmicos, en donde las moléculas se ordenan y orientan con el fin de producir cuerpos huecos.

Esta orientación es la que definirá la barrera para los gases, transparencia y claridad del producto terminado.

#### Proceso de Inyección del PET- Retornable.



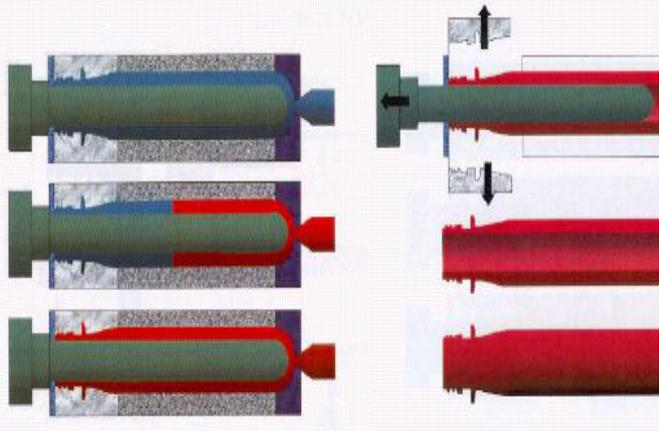
Fuente tapón corona de Colombia S.A.

**FIGURA 2.3. PROCESAMIENTO DEL PET-RETORNABLE.**

### Diagrama de Flujo Proceso de Inyección del PET- Retornable



ETAPA	DESCRIPCIÓN
a) RECEPCIÓN	El material es recibido en sacos de 1000 Kg
b) SECADO	Al tratarse de un material higroscópico este requiere ser deshidratado durante un tiempo de 4-6 horas a 180 °C. El nivel ideal de humedad es de 0.03 a 0.06%.

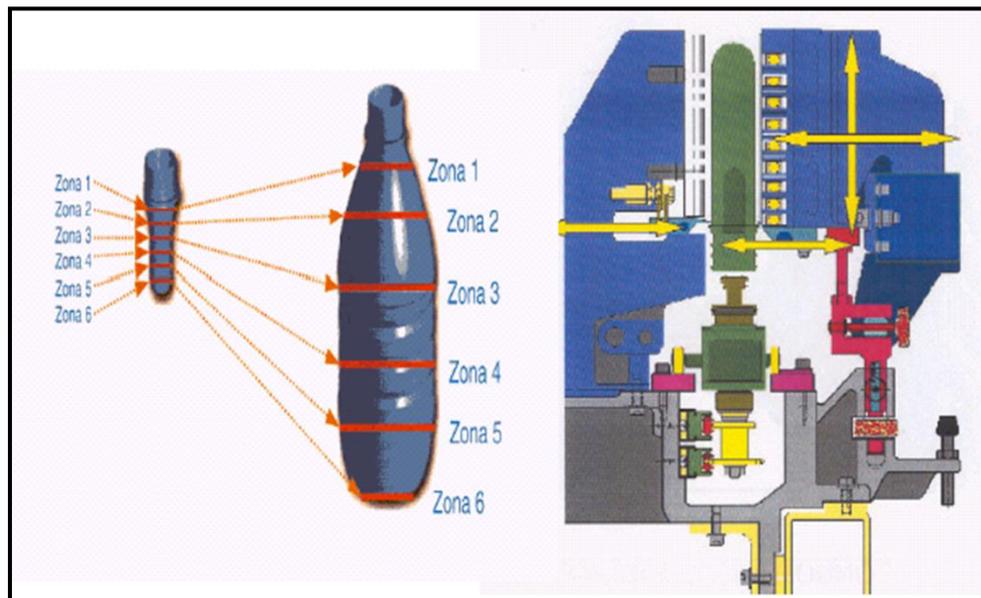
ETAPA	DESCRIPCIÓN
<p>c) FUNDICIÓN, d) MOLDEO y e) ENFRIAMIENTO</p>	<p>El PET se funde a temperaturas de 270°C a 290°C. con presiones de 1.500 psi durante su inyección en el molde. Para posteriormente ser sometido a una etapa de enfriamiento a 8°C. Constituyendo en su interior la preforma. En esta pieza se encuentran definidas las dimensiones de la corona (finish o terminado) así como también el peso y tamaño, características que prevalecerán en la botella.</p>  <p><b>FIGURA 2.4. INYECCIÓN EN MOLDE.</b> <b>FUENTE TAPÓN CORONA DE COLOMBIA S.A.</b></p>
<p>f) ALMACENAMIENTO</p>	<p>La preforma es conducida hasta los contenedores. En donde es almacenada en un ambiente seco y fresco.</p>

### Diagrama de flujo del proceso de soplado del PET- Retornable



ETAPA DE PROCESO	DESCRIPCIÓN
a) RECEPCIÓN DE PREFORMAS	Mediante un transportador/elevador adecuado las preformas son transportadas de la tolva de alimentación al orientador; el orientador procede a introducirlas en una guía inclinada, desde la cual, por caída por gravedad, alcanzan la rueda distanciadora a estrella posicionada en el interior del

ETAPA DE PROCESO	DESCRIPCIÓN
	módulo de calentamiento u horno.
b) CALENTAMIENTO	<p>Durante esta etapa las preformas ingresan a un horno en donde se calientan a temperaturas entre los 95° C y 105° C, esto permite que el material se vuelva deformable y se garantice una distribución óptima y simétrica del calor. La distribución de calor , es de dos tipos, por líquido, para enfriar el anillo de protección que hace que el anillo de la preforma no se deforme durante el proceso de calentamiento, y el otro por aire, para mantener la temperatura interna del horno suficientemente baja, evitando de esta forma la exposición de las paredes internas de las preformas a temperaturas demasiado altas</p>
c) ESTIRADO d) PRE-SOPLADO e) SOPLADO	<p>En esta etapa del proceso se produce el estiramiento de la preforma. Se introduce aire a baja presión, para lograr una buena distribución del material</p> <p>Luego con aire comprimido y alta presión. La preforma es forzada contra la cavidad de soplado, donde se enfría y adopta la forma del molde. La combinación del estirado junto con la inyección del aire provoca la orientación biaxial del material ya que hace que las botellas PET o sean más resistentes y transparentes.</p> <p>Durante el soplado, la boca con rosca permanece en su alojamiento original y así se previenen deformaciones.</p>
f) ENFRIAMIENTO	<p>Se trata de un sistema de enfriamiento por líquido, manteniendo constante la temperatura de los moldes. Permitiendo la apertura de los mismos, para extraer producto terminado cuando ha alcanzado suficiente consistencia.</p>



Fuente tapón corona de Colombia S.A.

**FIGURA 2.5. TRANSFORMACIÓN DE PREFORMA A BOTELLA  
MEDIANTE EL PROCESO DE SOPLADO DEL PET-RETORNABLE.**

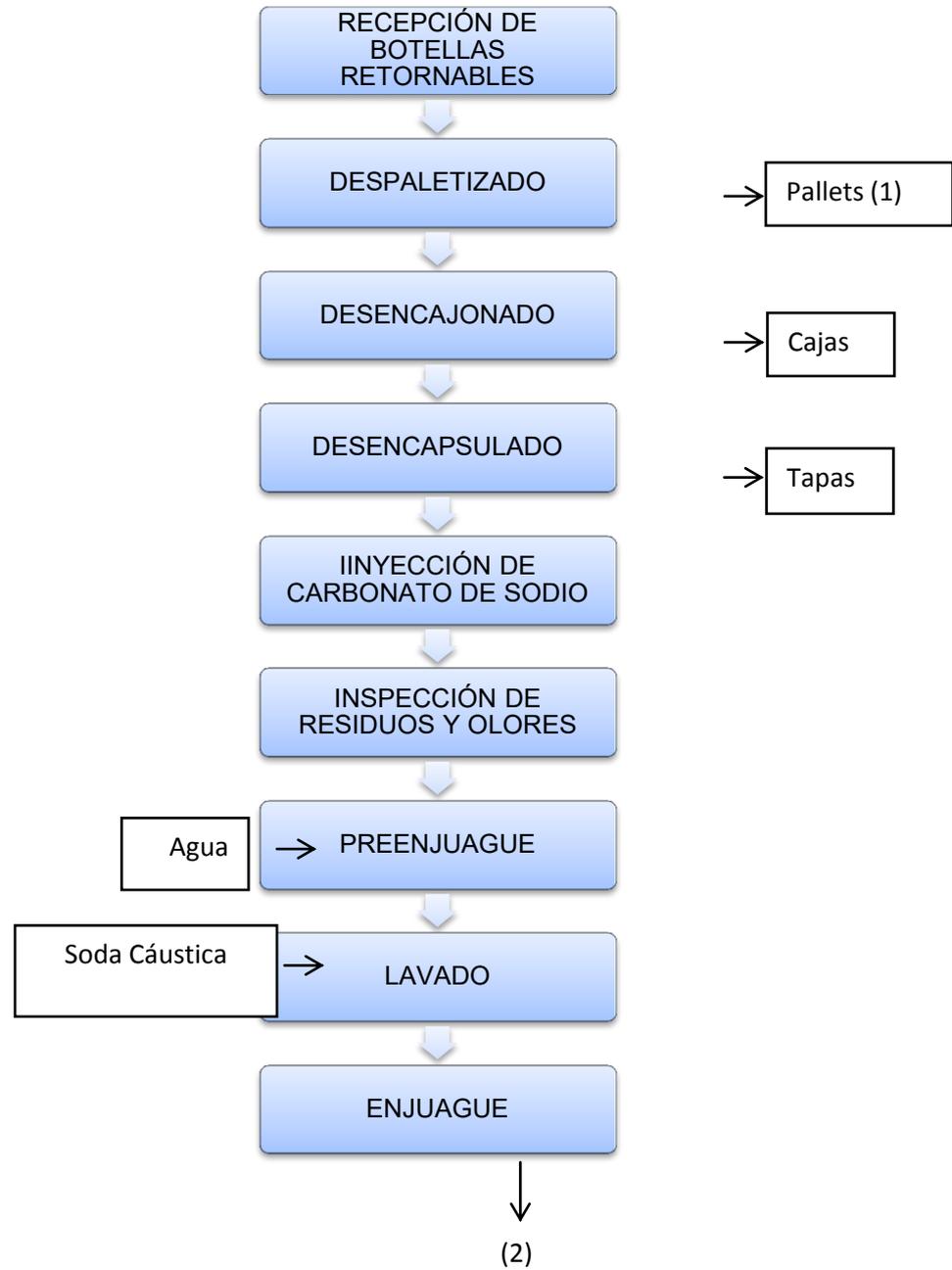
### **Especificaciones del Proceso de Soplado**

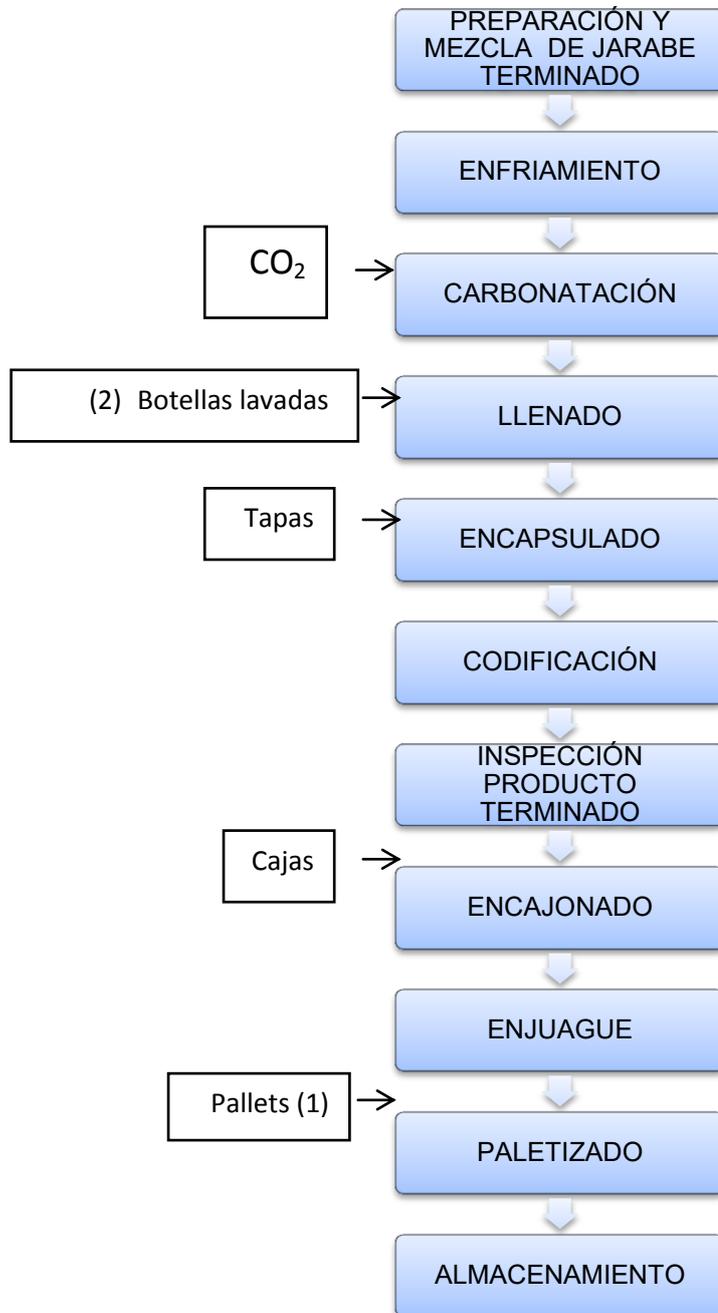
- Temperatura de transición vítrea, temperatura a la cual las cadenas pueden moverse unas con respecto a otras, 80°C á 110°C.
- Calentamiento en hornos lineales. Calentamiento por zonas.
- Rotación de las preformas frente a los hornos.
- Manejo de la preforma desde el horno hasta el molde

<b>ETAPAS</b>	<b>CONDICIONES</b>
Molde caliente en el cuerpo	45°C
Fondos fríos	6 -10°C
<b>ESTIRADO DE LA PREFORMA</b>	
Presoplado	8 - 14 kg/cm <sup>2</sup>
Soplado	36 - 40 kg/cm <sup>2</sup>

#### **2.4 Proceso de llenado en línea**

**Diagrama de Flujo Proceso de Lavado y Llenado de Envases PET-  
Retornable**





### **Preparación y lavado envase PET-retornable.**

Las botellas vacías son almacenadas en cajas y colocadas en pallets. Los pallets son transportados por medio de montacargas al despaletizador donde se descargan las cajas. Para luego, ser enviadas al desencajonador en donde las botellas se encuentran listas para entrar a la máquina lavadora.

La limpieza se lleva a cabo en una lavadora industrial que puede manipular de 5000 a 100.000 botellas por hora.

La disolución de limpieza convencional habitualmente contiene alrededor de

2.8%±1 en peso de un agente alcalino (carbonato de sodio), y se aplica en una temperatura de alrededor de 58<sup>0</sup>c±2.

Se aplica por medio de una etapa de remojo seguida de una etapa de pulverización, antes del enjuague.

Debido a que esta etapa forma parte de un proceso de alimentación continuo, es indispensable controlar los siguientes factores:

- a) Causticidad: No debe haber ningún residuo cáustico en la botella lavada
- b) Residuo de detergente: No debe tener.
- c) Temperatura de soluciones: Verifica que la temperatura en la lavadora sea la adecuada para no tener problemas de choque térmico cuando la botella entre a la llenadora.

- d) Suciedad y mohos: Se hace pruebas con azul de metileno para evidenciar presencia residual

### **Embotellado y Empaquetado**

Esta línea de llenado de bebidas carbonatadas es principalmente usada en la producción de bebidas carbonatadas en botellas de PET y PET retornable con volúmenes de 200ml a 3000ml.

Todo el proceso de producción consiste en, que luego de haber pasado la etapa de lavado las botellas, son direccionadas a la llenadora en donde el jarabe previamente enfriado, es colocado en su interior, para posteriormente adicionar el dióxido de carbono gaseoso para inmediatamente ser sellado con una tapa rosca que garantice la hermeticidad del producto. Luego del tapado, las bebidas carbonatadas son transportadas hacia las maquinas codificadoras en donde es impresa la fecha de producción, fecha de caducidad, lote de producción, línea y turno de producción.

El envasado se realiza con máquinas que poseen válvulas de llenado, que entran en contacto con la atmósfera de gas inerte contenido en el interior de los envases.

El producto final codificado es transportado y enviado para su palletizado, completando el proceso con el almacenamiento del mismo en bodega.

Las Condiciones del Proceso de llenado de Botellas para Bebidas Gaseosas

ETAPAS	CONDICIONES
Temperatura de lavado	58 <sup>0</sup> C
Concentración de Soda Caustica	2.8% ±1
Tiempo de lavado	20 min
Temperatura de agua de enjuague	23 <sup>0</sup> C
Temperatura de enfriamiento	4 – 5 <sup>0</sup> C
Especificaciones del Producto Final	Volumen de CO <sub>2</sub> 3,95 °Brix 10,30 Temperatura final 3-4 <sup>0</sup> C

## 2.5 Descripción del Método Físico-químico aplicado para la determinación de la durabilidad de un envase PET retornable.

La metodología aplicada en este proyecto de graduación está basada en la simulación del proceso de envasado de bebidas gaseosas desarrollado a través de pruebas físicas destructivas y metrológicas en las que se evaluarán las propiedades de una resina PET-retornable de la siguiente manera:

- a) Prueba de Impacto de caída libre
- b) Prueba de stress cracking
- c) Prueba de presión interna
- d) Resistencia a la Carga Vertical
- e) Verificación de Apariencia del envase mediante pruebas metrológicas
- f) Estabilidad Térmica y Resistencia Química de acuerdo a las condiciones extremas lavado y Almacenamiento.

## **2.6 Requerimientos Analíticos**

### **2.6.1 Validación de la Estabilidad Térmica**

En este ensayo las botellas deben someterse al proceso normal de lavado y embotellado. Se verifica y registra cuidadosamente los siguientes valores relacionados con dicha operación:

- Temperatura y % de soda cáustica de cada tanque de lavado.
- Dosificación y tipo del lubricante de cadena.

Una vez las botellas pasen a través del lavador serán evaluadas nuevamente verificando cualquier cambio en su apariencia, altura o capacidad total. A continuación se transfieren las botellas a proceso de llenado con el producto a 4,0 volúmenes de carbonatación. Se

almacenan las botellas durante 24 h. a una temperatura entre 30°C a 35°C. Después de las 24 h., se descarta el producto de llenado y se enjuagan las botellas con suficiente agua. Las botellas deben examinarse buscando cualquier agrietamiento generado por los esfuerzos a los cuales fue sometida la botella, enfatizando en las áreas más críticas: Cuello, hombro y el área de la base/fondo. Estas mismas botellas deben ser recirculadas 25 veces, debido a que este periodo es el establecido como el tiempo de duración del envase en el mercado, luego de este tiempo el envase es desechado.

### **2.6.2 Validación de la Resistencia a la Carga Vertical**

La botella es colocada sobre la base incluida en un equipo para carga vertical o axial, en donde los factores tales como la velocidad del pistón y la fuerza de compresión miden las condiciones del envase mediante la resistencia de una carga mínima de 535 kg m/s<sup>2</sup> (54,6 kgf) antes de sufrir la primera deformación.

### **2.6.3 Validación de la Presión Interna**

Se le aplica presión continua a la botella durante un minuto, la prueba es satisfactoria si el material no presenta fractura o estallido

dentro del equipo, este procedimiento simula la presión de la llenadora, después de la carbonatación.

Las botellas plásticas PET, retornables, ensayadas deberán resistir sin romperse una presión mínima de  $1,2 \times 10^6$  Pa (175 psi) por un tiempo de 30 s o  $1,03 \times 10^6$  Pa (150 psi) por un tiempo de 60 s

#### **2.6.4 Validación de la Resistencia al Impacto de caída**

Cada botella será llenada con bebida gaseosa o solución carbonatada, se deja caer a dos metros de altura, si resiste dos impactos sin presentar fracturas o abolladuras, la botella es aceptada. Ninguna botella deberá romperse ni deformarse.

Esta actividad aplicada al desgaste físico que puede sufrir el envase durante la etapa transporte.

#### **2.6.5 Validación de Diámetros**

De acuerdo a las condiciones de temperatura, presión y exposición química que sufre el envase se requiere la verificación de parámetros físicos.

- a) Determinación Capacidad al rebose y al punto de llenado

Se calcula la capacidad utilizando la siguiente formula (1):

$$C = \frac{P_u - P_v}{d}$$

Donde:

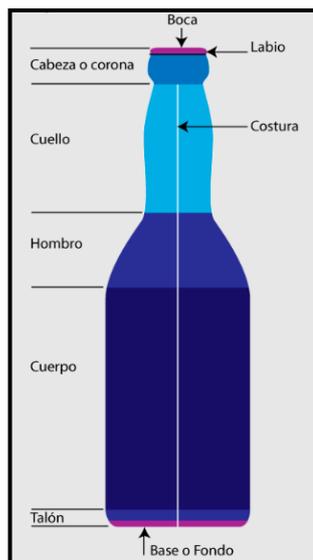
$C$  = capacidad a punto de llenado o rebose, expresada en  $\text{cm}^3$

$P_u$  = peso de la botella con agua expresado en gramos.

$P_v$  = peso de la botella vacía expresado en gramos.

$d$  = densidad del agua a la temperatura del ensayo, expresado en  $\text{g}/\text{cm}^3$

a) Verificación de Altura total y variación de hombro, cuerpo y talón.



Fuente: <http://productocero.org>. (Sánchez, Juan. 2013)

**FIGURA 2.6. PARTES DE UNA BOTELLA**

Para esta validación se requiere la ayuda un calibrador pie de rey para tomar las dimensiones establecidas como críticas para el envase final. Las dimensiones de las botellas plásticas de PET

retornables, alturas y diámetros, deben cumplir las especificaciones según plano del envase.

### **Verificación de la Permeabilidad**

Esta prueba consiste en determinar el contenido y concentración de gas carbónico en la bebida, que debe estar con la correcta altura de llenado, durante su almacenamiento o vida de anaquel. Para este ensayo se utiliza un manómetro y un termómetro, la botella se agita por 25 segundos aproximadamente, se perfora la tapa con un equipo especial y se mide hasta que la presión llegue a 0 psi., se vuelve a agitar y se toma la medición. Después se introduce el termómetro por el orificio en la tapa y se toma la temperatura. Finalmente con los valores de presión y temperatura se determina el volumen de carbonatación de la bebida.

Aplicando la Ley de Henry expresada en la Formula (2):

$$c\text{CO}_2 = p\text{CO}_2 * \xi\text{CO}_2$$

En la cual el contenido de CO<sub>2</sub> disuelto en el líquido es proporcional a la presión parcial del CO<sub>2</sub> sobre el líquido. La ecuación 1 muestra que la precisión en la determinación del contenido de CO<sub>2</sub> (cCO<sub>2</sub>) depende de dos factores: la precisión en la determinación de la

presión parcial de  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) y la precisión del coeficiente de absorción de  $\text{CO}_2$  ( $\xi\text{CO}_2$ ) para la muestra de la bebida.

La presión parcial de  $\text{CO}_2$ , ( $p\text{CO}_2$ ) debe ser determinada en el estado de equilibrio entre la fase líquida y gaseosa. El coeficiente de absorción de  $\text{CO}_2$  ( $\xi\text{CO}_2$ ) no es constante, sino que depende de la temperatura y de los ingredientes disueltos en la bebida. (Anton Paar GmbH, 2003)

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este capítulo se detallará la metodología aplicada para la verificación del cumplimiento de la calidad y tiempo de vida útil de las botellas PET-retornable, basadas en el principio de la conservación acelerada.

Para ello se establecerá un proceso que garantice la calidad del producto una vez introducido al mercado en forma comercial, sometiendo las botellas PET- retornable a una simulación de las condiciones que va a tener el envase en el mercado.

Para la respectiva evaluación, se analizarán 20 botellas Pet-retornable de 2000ml, según tablas AQL, fabricadas con la resina en estudio y 20 botellas Pet retornable fabricadas con la resina comercialmente conocida (AF-626 y AF-621).

La técnica a seguir para realizar la determinación de la durabilidad de los envases, será la siguiente:

Cada una de las botellas previamente deberán ser identificada para el ensayo, éstas serán dimensionadas de acuerdo a su:

1. Altura total
2. Diámetros
3. Capacidad al punto de llenado (2000ml)
4. Peso

Cada dimensión medida será registrada en una hoja de cálculo, de tal manera que se obtengan datos de cada uno de los ciclos, como se muestra en el Registro de Dimensiones de Envases PET-retornable. Tal como se muestra en el APÉNDICE#3.

1. La primera etapa del ensayo, abarca la simulación del lavado de envases en donde, las botellas serán sumergidas dentro de un baño cáustico que contenga una solución de hidróxido de sodio al  $2.8\% \pm 2$  durante 20 min. Ver condiciones de la etapa de lavado. APÉNDICE # 5
2. Luego de la técnica de tensión con soda caustica, se realiza el enjuague con agua, revisando que no exista liquido residual en cada una de ellas. Se puede verificar usando indicador fenolftaleína para asegurar que toda la solución cáustica fue eliminada.

3. Una vez terminado el lavado de las botellas, se procederá a realizar el llenaje de las  $\frac{3}{4}$  partes de la capacidad del envase con agua. Para aplicar una contrapresión de 80 psi durante 20 segundos, esto como consecuencia de la presión empleada en la etapa del sellado del producto terminado. Después de esta acción se deberá vaciar las botellas. Toda la información obtenida se adjunta en el APÉNDICE #7
4. Para evaluar la semejanza del proceso de llenado se colocó una bebida gaseosa, con un volumen de CO<sub>2</sub> de  $4.2 \pm 0.2$ , en cada una de las botellas hasta su capacidad al punto de llenado nominal, inmediatamente selladas con una tapa rosca plástica nueva.
5. Luego de la operación de envasado de las botellas son conducidas a través de una banda transportadora, controlando la acción del aditivo o lubricante de cadena, el cual se encarga de evitar la fricción entre el envase y la cadena transportadora. En esta prueba se sugiere la exposición de las botellas Pet-retornables a una solución al  $1.0\% \pm 0.1$  del lubricante con agua durante 10 minutos.
6. Una vez que las 40 botellas de ensayo, se encuentran llenas serán almacenadas durante 24 horas en una estufa con un temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa del 70%

$\pm 10\%$ . Estas condiciones representaran condiciones extremas de almacenamiento. Es importante dejar espacio suficiente entre las botellas para facilitar la circulación de aire y permitir que las botellas atemperen más rápido.

7. Después de las 24 horas, en la estufa, se realizara la medición de la presión interna de cada botella. La misma que deberá estar entre los  $50 \pm 10$  psi. Consecutivamente se realiza la apertura de cada botella, se deberá vaciar únicamente  $2/3$  partes de la bebida gaseosa. Mientras se esté destapando las botellas, es recomendable observar que todas presenten un venteo adecuado de la presión, ya que este será un indicativo para evaluar posibles fugas de gas. Ver APÉNDICE # 8

La parte sobrante que aún se mantiene en las botellas será almacenada en la estufa bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura pero destapadas. Definiendo de esta manera el tiempo necesario para que el polímero en estudio se relaje y adquiera su forma original.

Se almacena las botellas hasta que pueden ingresar nuevamente en la etapa de lavado. Esto no deberá tardar más de 20 horas. Este procedimiento determina la fase que todo polímero requiere para estabilizarse térmicamente.

En este punto se considera que un ciclo completo ha culminado. Por lo cual se repetirá este procedimiento aproximadamente cada 48 horas hasta completar los 25 ciclos, o lo mismo que representa a 25 veces de retorno en el mercado.

### **3.1 Comparación de la resina de ensayo versus la resina comercialmente conocida.**

De acuerdo a los puntos establecidos, como decisivos para determinar un compartimiento entre resinas versus los estándares requeridos por el fabricante se podrán determinar las siguientes comparaciones:

Las medidas a continuación descritas representan el resumen de las dimensiones, analizadas cada 5 ciclos, sin embargo como se indicó a inicios de este capítulo todos los datos obtenidos en cada ciclo pueden visualizarse en el APÉNDICE#3.

#### **Medición de Diámetros**

TABLA 1

## RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA RESINA AF-626.

DIMENSIONES DE LA BOTELLA FABRICADA CON LA RESINA AF-626						
CICLOS	PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	ALTURA (mm)	HOMBRO (mm)	CUERPO (mm)	TALÓN (mm)
# 0	108,4	2027,7	341,1	103,1	102,0	104,7
# 1	108,4	2028,4	340,6	103,3	102,1	104,7
# 5	108,4	2023,8	340,4	102,9	101,6	104,5
# 10	108,4	2019,2	340,4	102,5	101,4	104,5
# 15	108,4	2015,4	340,3	102,6	101,4	104,4
# 20	108,4	2015,6	340,5	102,4	101,5	104,2
# 25	108,4	2011,3	340,5	102,6	101,3	104,4

TABLA 2

## RESUMEN DE LAS DIMENSIONES DE LA RESINA AF-621.

DIMENSIONES DE LA BOTELLA FABRICADA CON LA RESINA AF-621						
CICLOS	PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	ALTURA (mm)	HOMBRO (mm)	CUERPO (mm)	TALÓN (mm)
# 0	108,4	2025,9	340,6	103,1	101,9	104,5
# 1	108,4	2023,9	340,3	103,1	101,8	104,6
# 5	108,4	2018,0	340,1	102,9	101,6	104,2
# 10	108,4	2017,3	340,3	102,6	101,4	104,4
# 15	108,4	2015,8	340,3	102,6	101,4	104,2
# 20	108,4	2015,8	340,7	102,6	101,4	104,2
# 25	108,4	2012,4	340,5	102,6	101,4	104,2

Una vez sometidas las botellas Pet-retornables a condiciones extremas de temperatura, presión, exposición y agentes químicos. Se puede apreciar una variación de diámetros. En las tablas 3.1 y 3.2 se resumen cada 5 ciclos, las medidas obtenidas a 28°C.

A continuación se describirán los comportamientos de cada uno de los atributos identificados como fundamentales para la formación del envase en estudio.

#### **A. Capacidad**

Dentro de las especificaciones determinadas por el fabricante se debe cumplir con:

<b>Tolerancias</b>	<b>±1.00</b>
<b>Capacidad Nominal</b>	<b>2000 ml</b>
<b>Límite Máx.</b>	<b>2020 ml</b>
<b>Límite Mín.</b>	<b>1980 ml</b>

Los valores requeridos para calcular la capacidad de cada envase son el peso bruto del envase con agua, el peso inicial de cada botella, la temperatura y densidad del agua, detallado en el APÉNDICE#4. Para esta medición es necesario considerar un

Punto de llenado de 55mm, este parámetro establecido por el fabricante en función al diseño del envase.

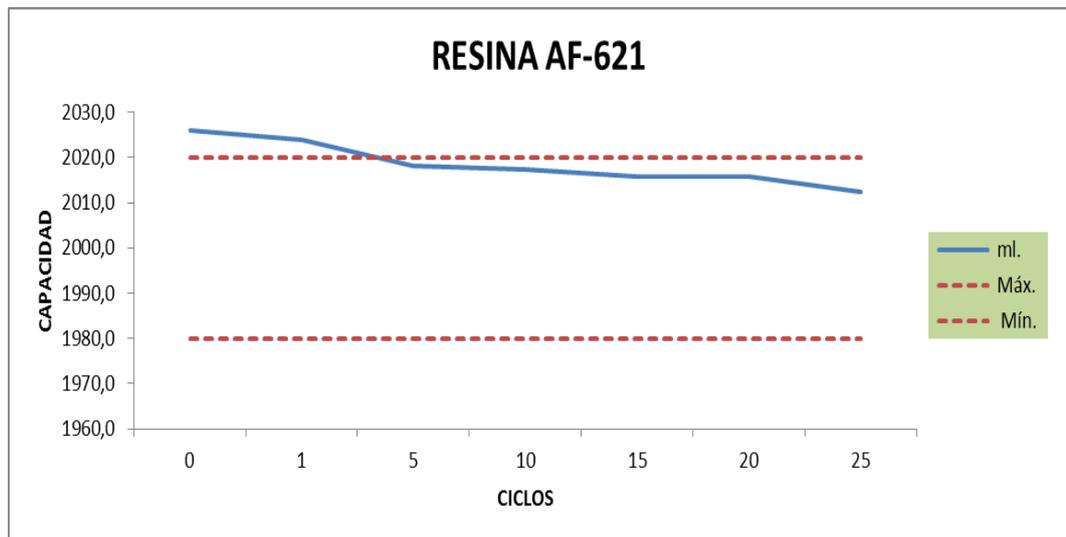
Ciclo 0 al 1: Las botellas empiezan a presentar una leve decadencia en cuanto a su capacidad, sin embargo esta reducción aun no es significativa.

Ciclo 5: en las botellas fabricadas con las resinas AF-626 y AF-621 se evidencia un decrecimiento representativo con respecto a la medida original. De acuerdo al comportamiento de la gráfica, se puede considerar que ambas resinas sufren el mismo impacto luego de cada ciclo.

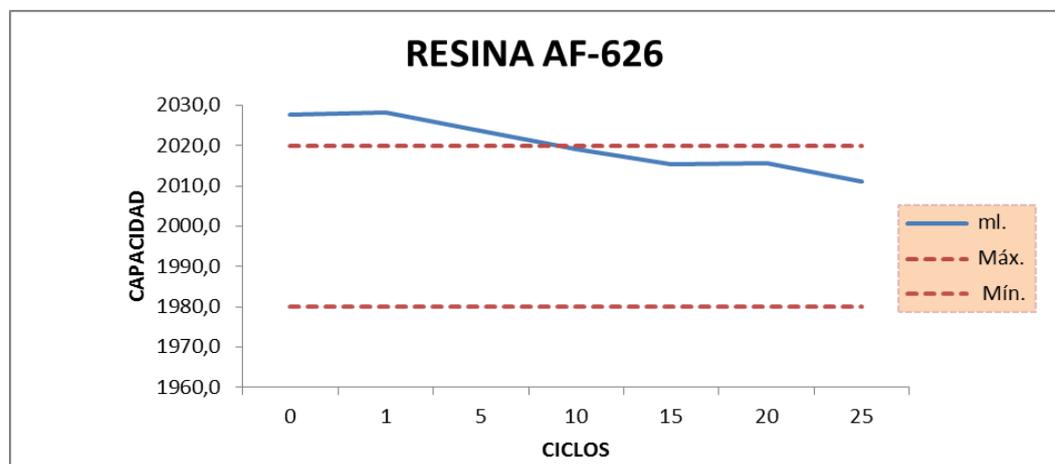
Ciclo 10: Las botellas, AF-626 y AF-621, sufren una variación de medidas remarcable. En donde, se evidencia una reducción del rendimiento de la capacidad en un 99,5% de su valor inicial para cada tipo de resina.

A partir de este ciclo, las botellas de la resina AF-626, presentan un decrecimiento, que no constituye un incumplimiento de las tolerancias sugeridas.

A diferencia de que las botellas de la resina AF-621, inicia este comportamiento a partir del ciclo 5.



**FIGURA 3.1 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-621 SEGÚN LA CAPACIDAD DEL ENVASE.**



**FIGURA 3.2 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-626 SEGÚN LA CAPACIDAD DEL ENVASE.**

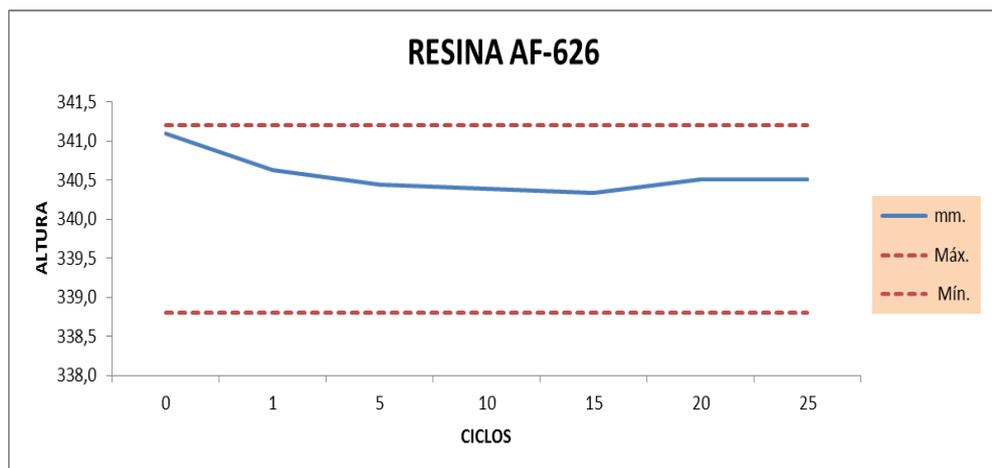
## B. Altura

Dentro del diseño del envase las condiciones para este parámetro son:

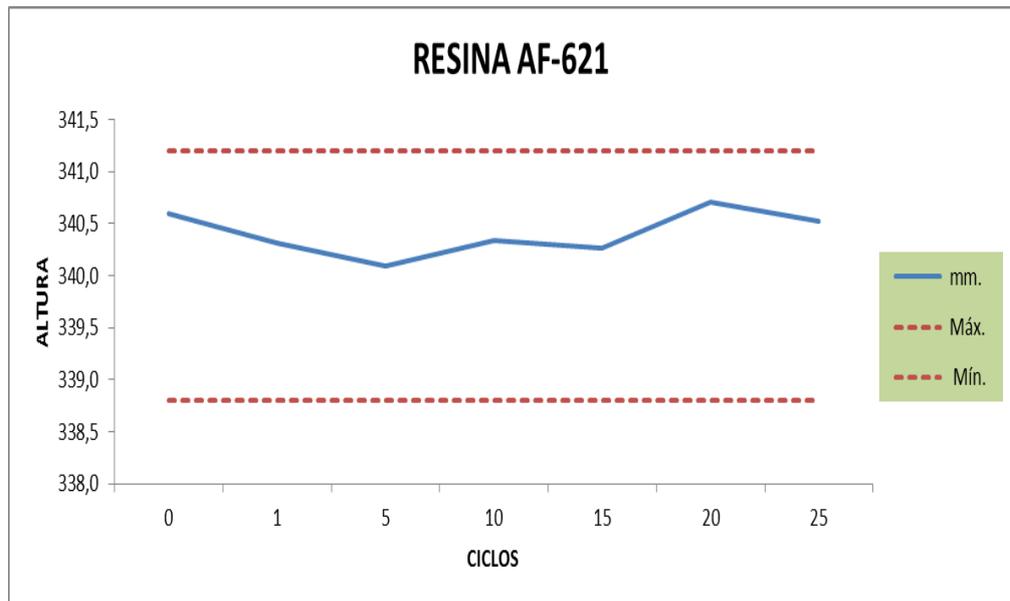
<b>Tolerancias</b>	<b>±1.20</b>
<b>Altura Nominal</b>	<b>340 mm</b>
<b>Límite Máx.</b>	<b>341,2 mm</b>
<b>Límite Mín.</b>	<b>338,8 mm</b>

En este parámetro la diferencia de comportamientos de las curvas, es considerable. Debido a que en las botellas con resina AF-621 a partir del ciclo 5 presenta declinación teniendo un comportamiento inestable.

Sin embargo para las botellas de la resina AF-626, a partir del ciclo 1 muestra una tendencia estable, frente a las tolerancias establecidas.



**FIGURA 3.3 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-626 SEGÚN LA ALTURA DEL ENVASE.**



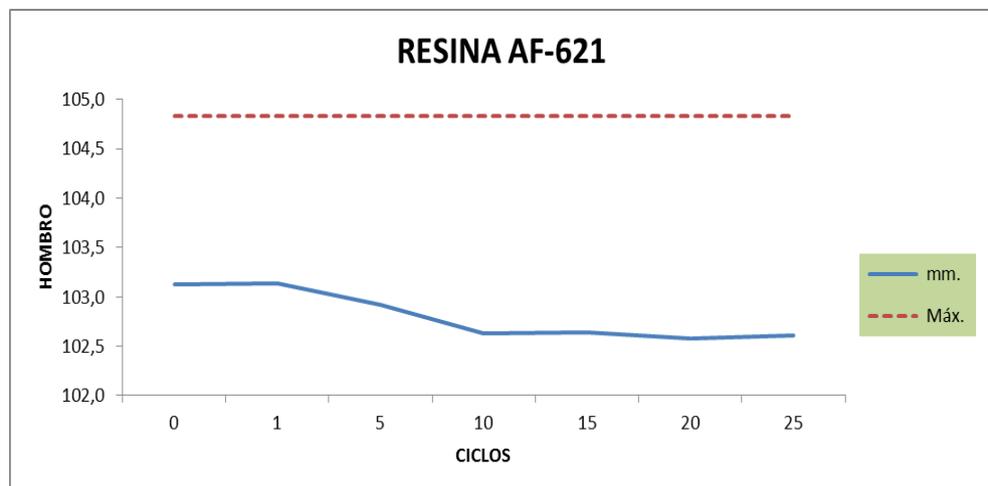
**FIGURA 3.4 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-621 SEGÚN LA ALTURA DEL ENVASE.**

### C. Hombro

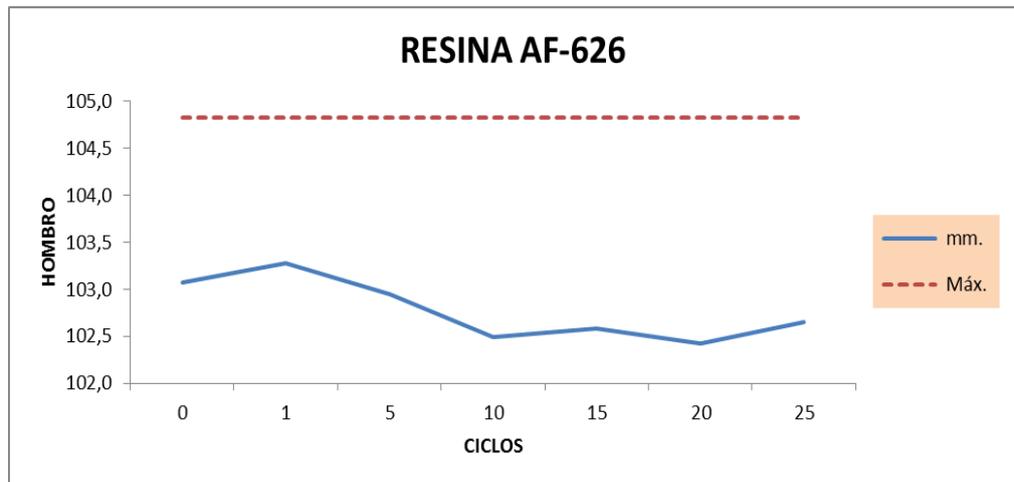
Este parámetro es establecido como la curvatura inicial de la botella, previo a la formación del cuerpo. Esta medida es uno de los atributos propios del diseño de las botellas. Para el cual, únicamente será establecido lo siguiente:

<b>Hombro Nominal</b>	<b>104 mm</b>
<b>Límite Máx.</b>	<b>104,83 mm</b>

Ambas gráficas representan el cumplimiento del límite máximo descrito. Sin embargo, es importante observar el comportamiento de las botellas de cada resina, en donde presentan una variación de diámetros significativa. Para las botellas de la resina AF-626 en los ciclos 15 y 20, se aprecia una búsqueda de equilibrio para recobrar el valor inicial.



**FIGURA 3.5 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-621 SEGÚN EL HOMBRO DEL ENVASE.**



**FIGURA 3.6 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-626 SEGÚN EL HOMBRO DEL ENVASE.**

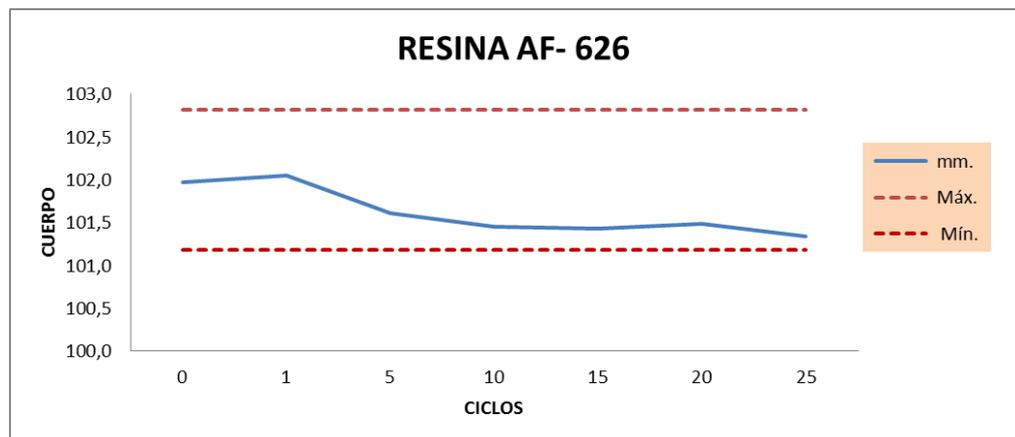
Para las botellas de la resina AF-621, se aprecia un comportamiento constante, sin evidenciar intentos de recobrar su ascenso.

#### **D. Cuerpo**

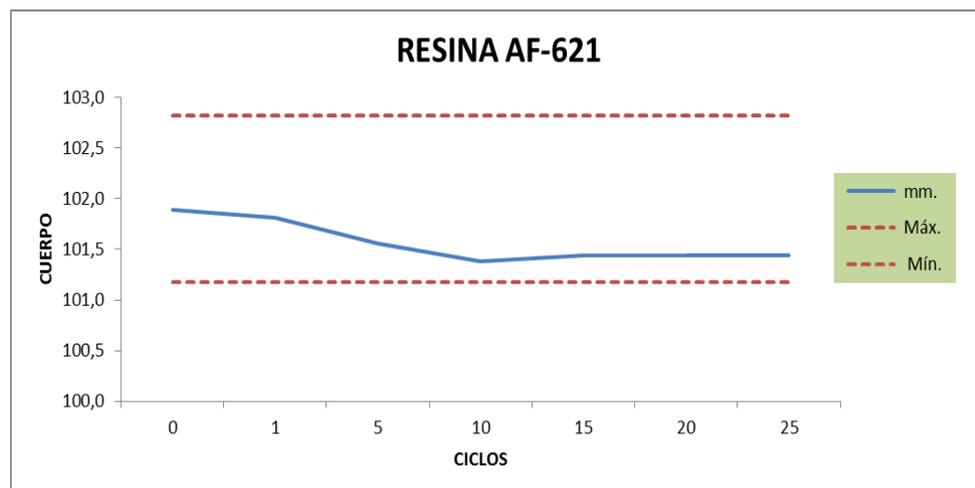
Parámetro definido como la estructura principal del envase, en donde los límites y tolerancias establecidas para esta medida, son:

<b>Tolerancias</b>	<b>± 0,8%</b>
<b>Cuerpo Nominal</b>	<b>102 mm</b>
<b>Límite Máx.</b>	<b>102,82 mm</b>
<b>Límite Mín.</b>	<b>101,18 mm</b>

Ambas curvas muestran estar dentro de las tolerancias definidas. Durante el transcurso del ciclo 1 al 5, es apreciable la reducción del diámetro para ambos tipos de envase. Ambos terminan los 25 ciclos con el límite mínimo establecido para esta medida.



**FIGURA 3.7 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-626 SEGÚN EL CUERPO DEL ENVASE.**

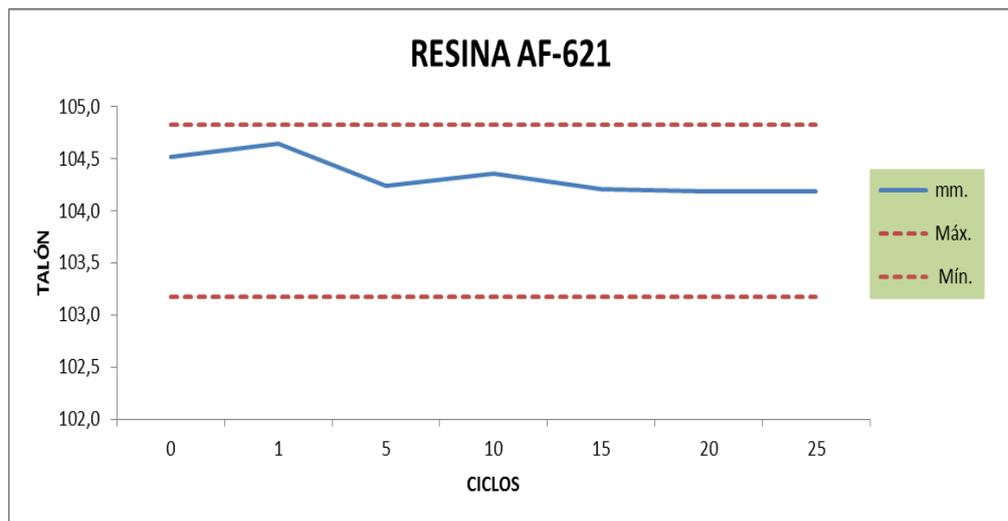


**FIGURA 3.8 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-621 SEGÚN EL CUERPO DEL ENVASE.**

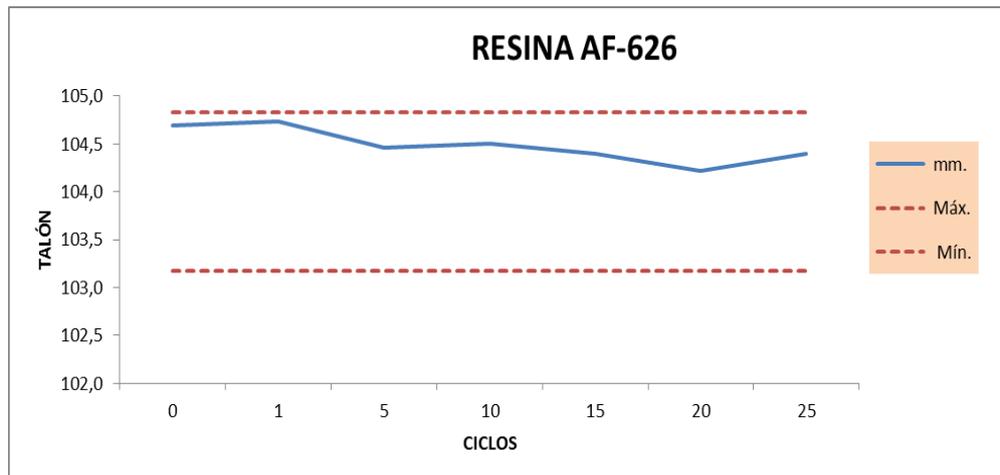
### E. Talón

Base o soporte de la estructura total de la botella. Los valores definidos para este diámetro son:

<b>Tolerancias</b>	<b>± 0,8 mm</b>
<b>Talón Nominal</b>	<b>104 mm</b>
<b>Límite Máx.</b>	<b>104,83 mm</b>
<b>Límite Mín.</b>	<b>103,17 mm</b>



**FIGURA 3.9 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-621 SEGÚN EL TALÓN DEL ENVASE.**



**FIGURA 3.10 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA RESINA AF-626 SEGÚN EL TALÓN DEL ENVASE.**

En donde las botellas de las resinas AF-626 y AF-621 presentan comportamientos similares, ambas muestran un incremento en el ciclo 1.

En el ciclo 5 decaen, para reincorporarse en el ciclo 10 y estabilizarse dentro de los límites descritos.

## **Control de Defectos**

### **A. Stress Cracking**

Al someter las botellas Pet- retornables a esfuerzos bajos condiciones extremas y exposición de agentes químicos tales como Lubricantes en la línea de llenado, Soluciones Atemperadoras y/o

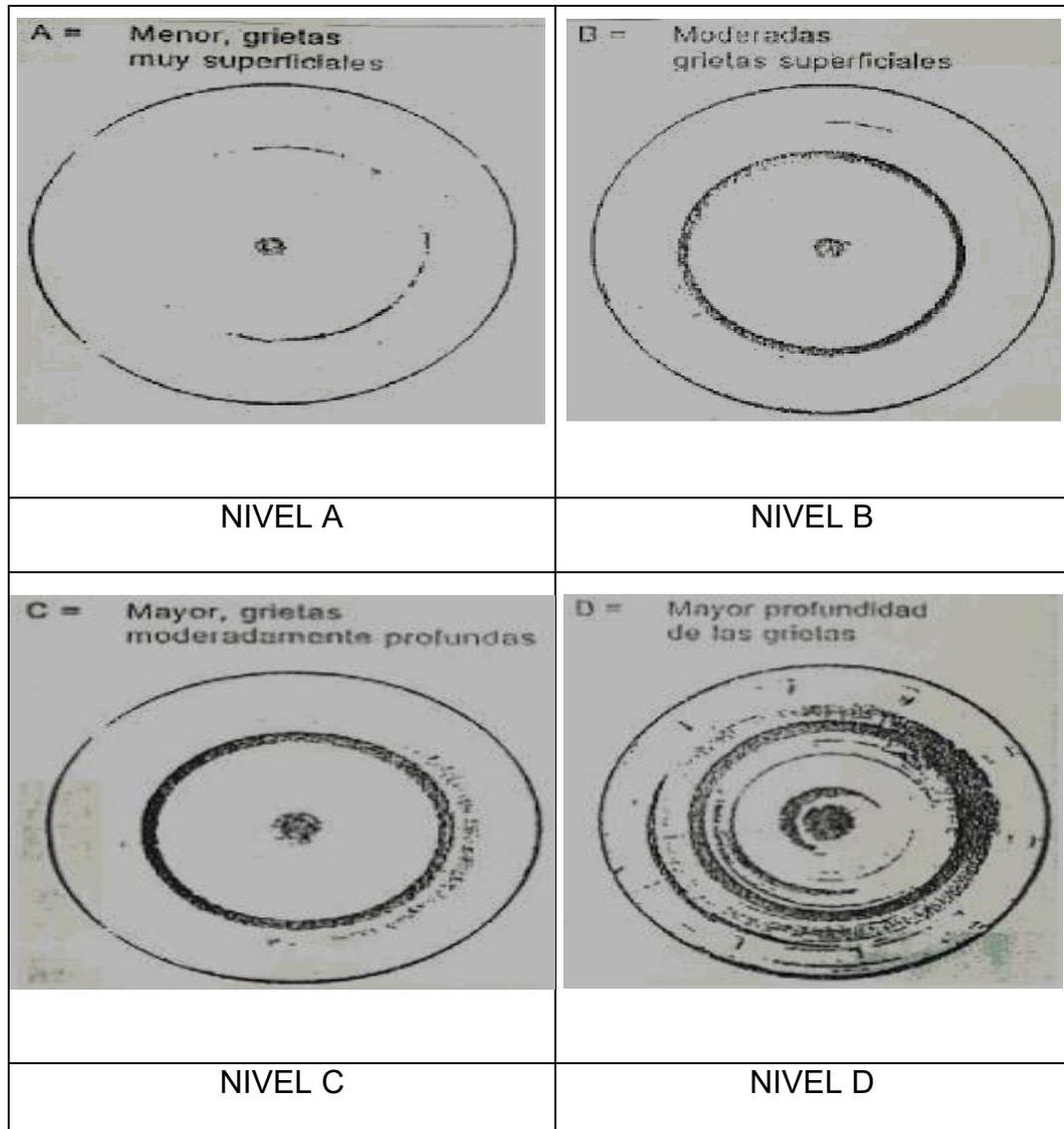
Sustancias cáusticas. Estos pueden atacar al Pet retornable mediante:

- Reducción de la energía superficial.
- Plastificación.
- Hinchamiento.
- Reacción química.

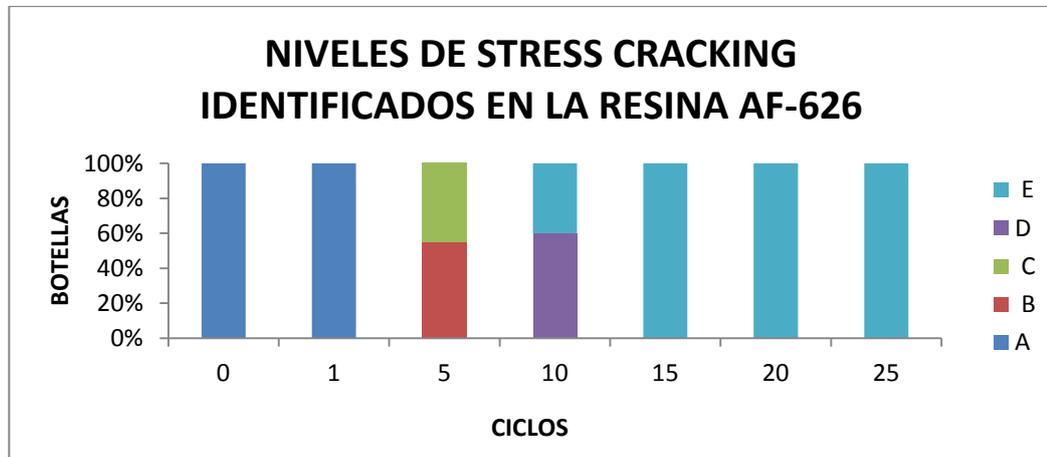
Trayendo como resultado pequeños “crazes” (estrías), formados en la base de la botella o superficie sometida a esfuerzos. Estos crazes evolucionan hasta convertirse en grietas. Entonces la ruptura se hace evidente.

Los factores que intervienen en el Stress Cracking son acumulativos. Esto quiere decir que el efecto de estos factores contribuye para que la botella sufra explosión y/o pérdida gradual del líquido. Como se observa en los gráficos 3.11 y 3.12 se compara el nivel de stress cracking que presenta cada botella de Pet-retornable clasificada según el tipo de resina. Ver APÉNDICE#

Los niveles son establecidos de la siguiente manera:



**FIGURA 3.11. NIVELES DE STRESS CRACKING EN LA BASE DEL PET-RETORNABLE**

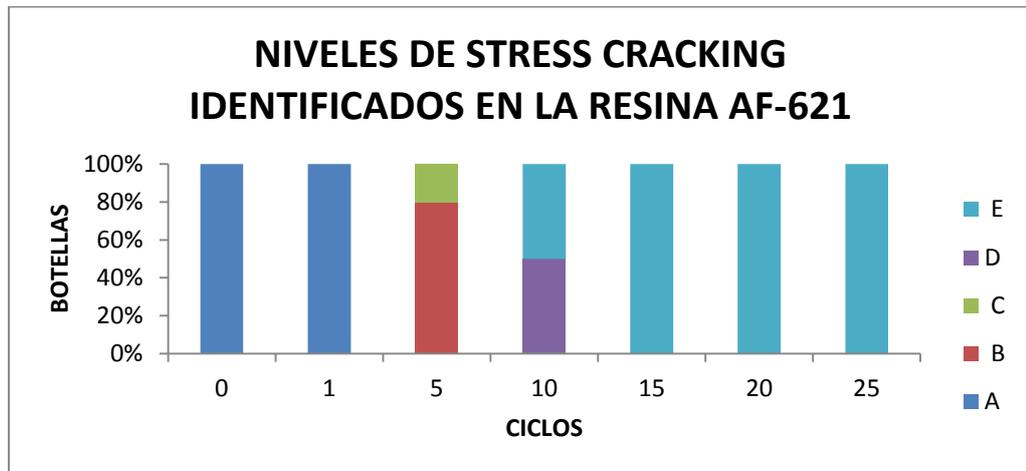


**FIGURA 3.12 GRÁFICO NIVELES DE STRESS CRACKING EN  
LOS ENVASES DE LA RESINA AF-626.**

En las botellas fabricadas con la resina AF-626 se evidencia un nivel stress cracking a partir del ciclo#5, sectorizado en un 52% en el nivel B y el 48% restante en el nivel C.

El ciclo 10 corresponde al 56% de las botellas en el nivel D, el 44% de las botellas se encuentra en un nivel E.

Durante los siguientes ciclos 15, 20 y 25, las botellas se mantienen en el nivel E.

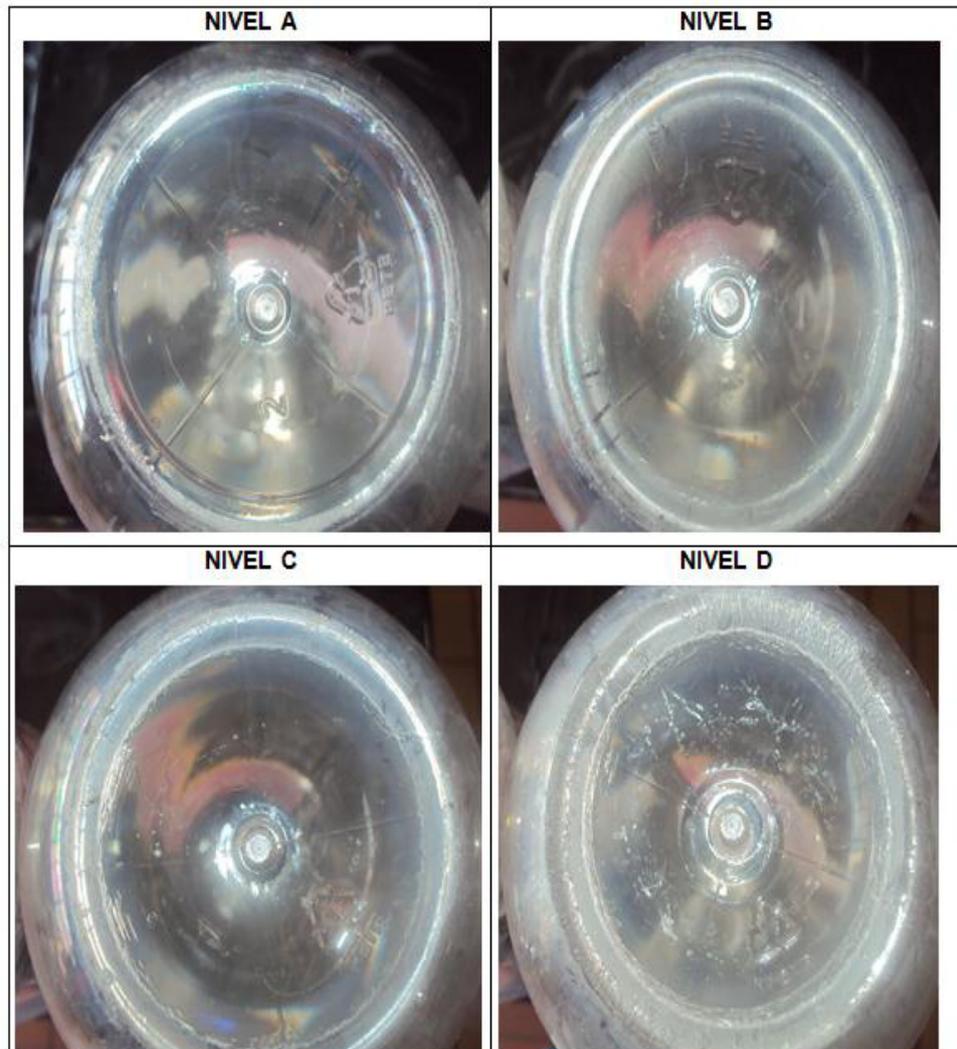


**FIGURA 3.13 GRÁFICO NIVELES DE STRESS CRACKING EN LOS  
ENVASES DE LA RESINA AF-621**

Para las botellas de la resina AF-621 se muestra un nivel stress cracking a partir del ciclo 5, sectorizado en un 76% en el nivel B y el 24% restante en el nivel C.

En el ciclo 10, el 52% de las botellas se encuentran en el nivel E, el 48% se encuentra en un nivel D.

En los siguientes ciclos 15, 20 y 25, las botellas se mantienen en el nivel E.

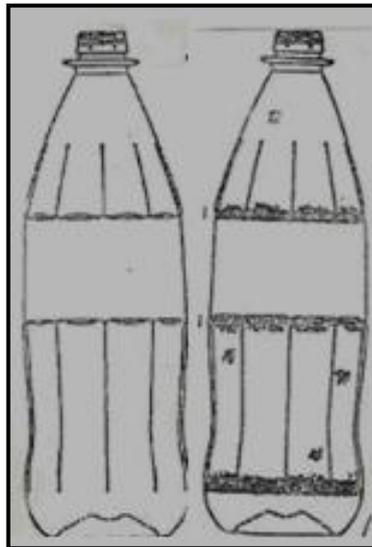


**FIGURA 3.14. NIVELES DE STRESS CRACKING EN BOTELLAS  
PET RETORNABLES. RESINA AF- 626 Y AF-621.**

### **B. Scuffing**

Este análisis será representado a través del nivel del desgaste en el hombro, cuerpo y talón de la botella ocasionados por la reacción de

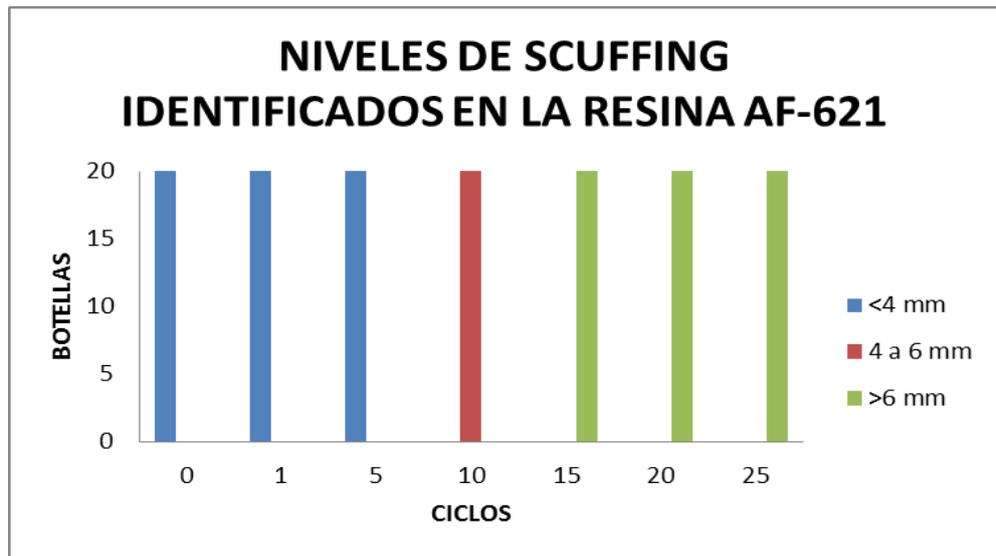
la soda caustica y el Pet-retornable. La evaluación fue realizada visualmente cada ciclo.



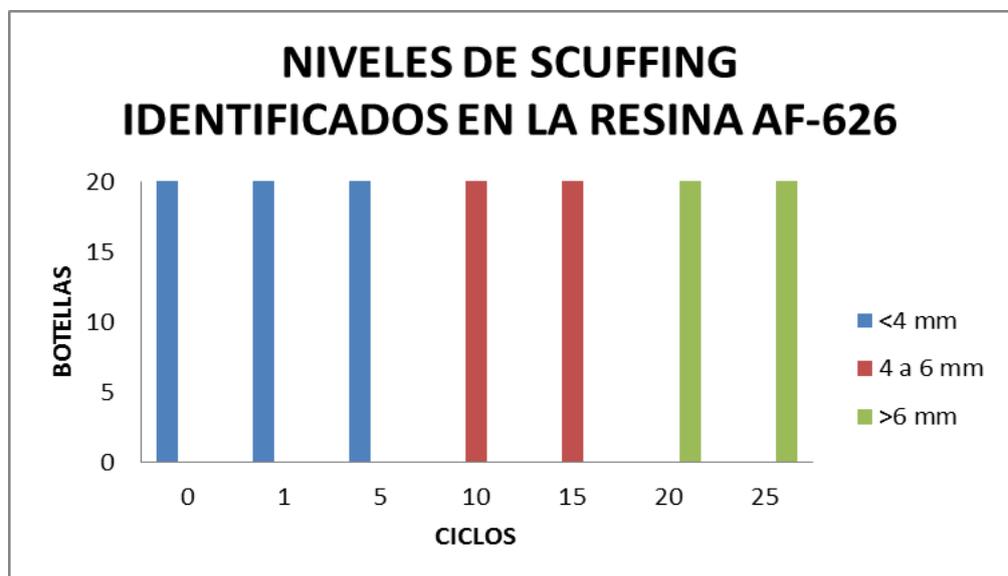
**FIGURA 3.15. REPRESENTACIÓN DEL DEGASTE EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL ENVASE.**

**TABLA 3  
CLASIFICACIÓN DEL DEGASTE DE ACUERDO  
A LA LONGITUD**

LONGITUD DEL DEGASTE	RESULTADO
<4mm	Aceptable
4 a 6mm	Tolerable
>6mm	Inaceptable



**FIGURA 3.16 GRÁFICO PROCESO DE DESGASTE DEL  
ENVASE DE LA RESINA AF-621.**



**FIGURA 3.17 GRÁFICO PROCESO DE DESGASTE DEL  
ENVASE DE LA RESINA AF-626.**



**FIGURA 3.18 NIVELES DE SCUFFING EN BOTELLAS PET  
RETORNABLES.**

De acuerdo a las gráficas 3.13 y 3.14 se puede definir que las botellas fabricadas con la resina AF-621 presentan en el ciclo 15 longitudes de desgastes por encima de 6mm considerándose como inaceptable el lote desde este ciclo.

En el caso de las botellas fabricadas con la resina AF-626 se evidencia a partir del ciclo 20 longitudes de desgaste mayores a 6mm, representado una diferencia remarcable y favorable, retrasando el deterioro del envase.

### **3.2 Especificaciones del Envase**

Al final de los 25 ciclos todas las botellas deberán cumplir:

1. Tener estabilidad dimensional. Los espesores de pared uniformemente distribuidos en toda la botella. De tal manera que la variación de capacidad, altura, diámetros y otros no afecte el diseño y funcionabilidad del envase.
2. Las dimensiones de la corona (finish o terminado) y el peso total de la botellas deberán prevaler desde la etapa de inyección.
3. Conservar transparencia y brillo.
4. No presentar fracturas o stress cracking severo.
5. Cumplir con las pruebas de resistencia química, física y térmica.
6. Aprobar la prueba de retención de carbonatación.

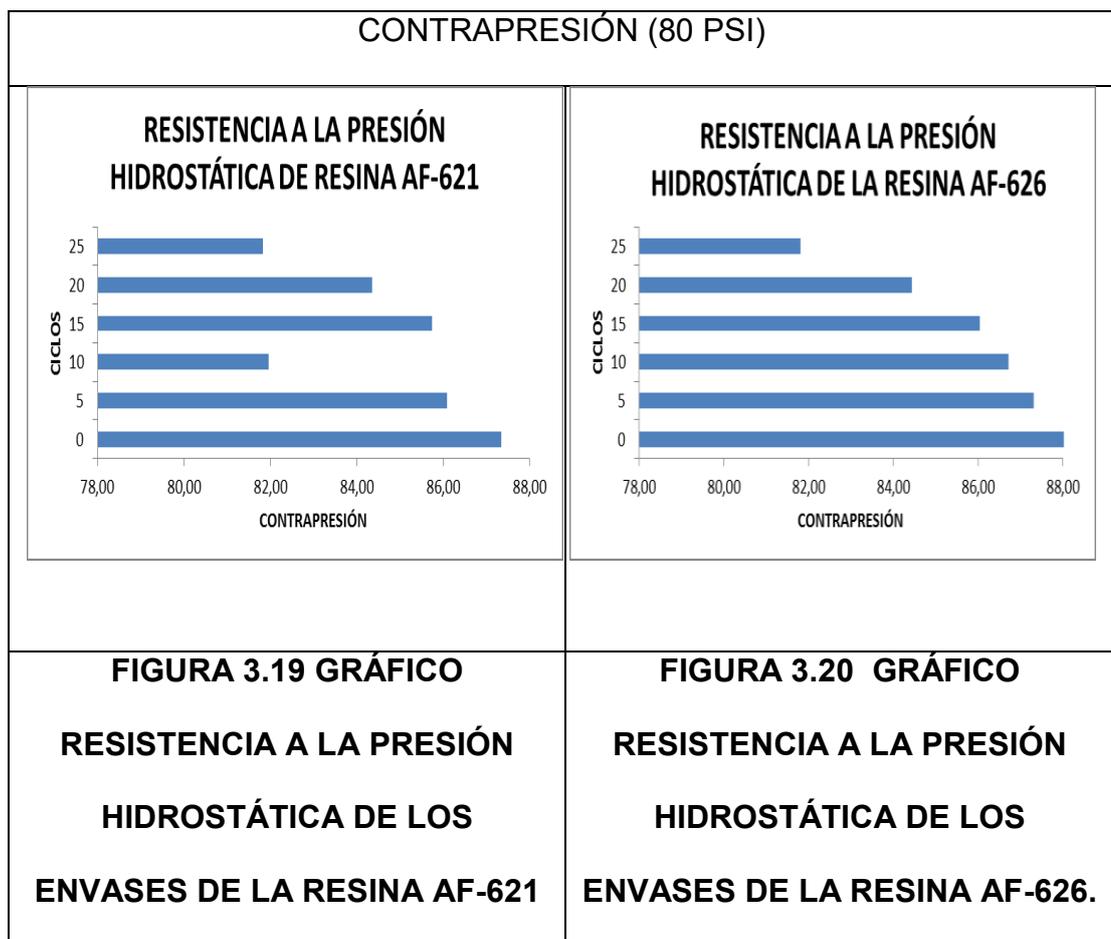
### **3.3 Características de Desempeño**

#### **Resistencia a la Presión Hidrostática.**

Tal como se describió a inicios de este capítulo, este análisis se basa en la resistencia de presión sobre cada envase durante 20 segundos.

Como se observa en las gráficas 3.15 y 3.16 las botellas fabricadas con ambas resinas son capaces de resistir la presión establecida. Ver APÉNDICE# 7.

En el ciclo 1 pudieron tolerar una presión mayor a la de 80 psi, por tratarse de un envase nuevo. En el intervalo de los ciclos ninguna botella presenta desviaciones, en cuanto a explosión de envase o escape de contenido.

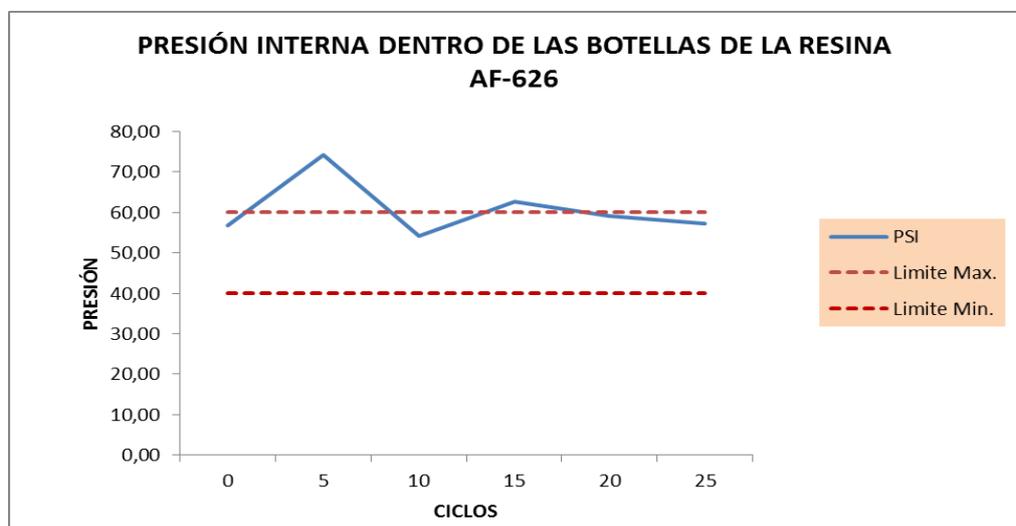


### Conservación de Dióxido de Carbono

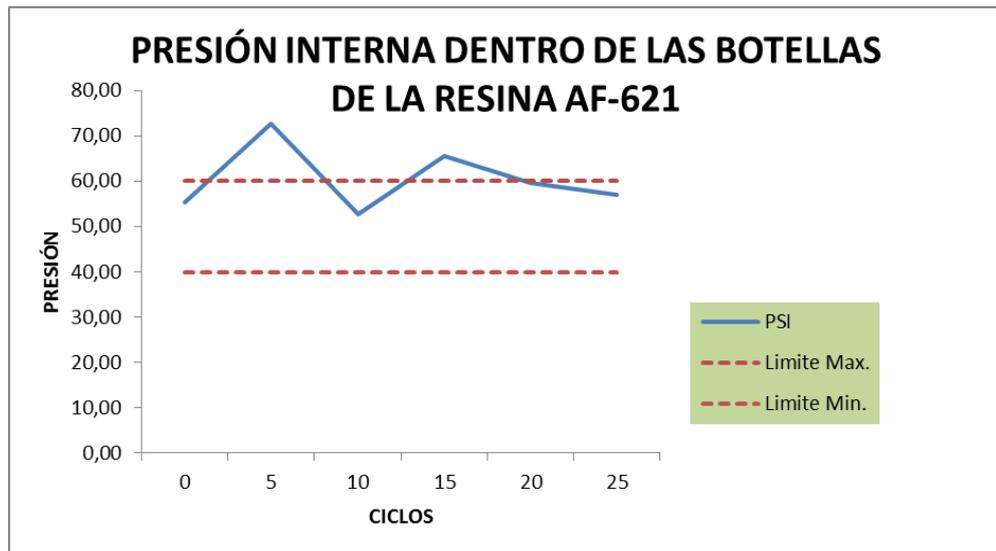
Este parámetro es evaluado en relación a la temperatura y presión del envase, luego de haber sido almacenado bajo condiciones

extremas. En esta etapa se mide la capacidad del envase para la de retención del CO<sub>2</sub>.

Como se presenta en las gráficas existieron picos positivos y negativos. Estos fueron definidos de acuerdo a la forma de carbonatación que se le dio a los envases. Tal como se detalla en el APÉNDICE# 6 en algunos ciclos la carbonatación fue dada por la línea de envasado, por una solución carbonatada o mediante de trasvase de bebidas gaseosa. De tal manera que en la representación gráfica de ambos tipos de botellas, la variación es justificada por la pérdida de CO<sub>2</sub> durante la operación de llenado. Datos detallados en el APÉNDICE#8.



**FIGURA 3.21 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN  
INTERNA EN LOS ENVASES DE LA RESINA AF-626.**

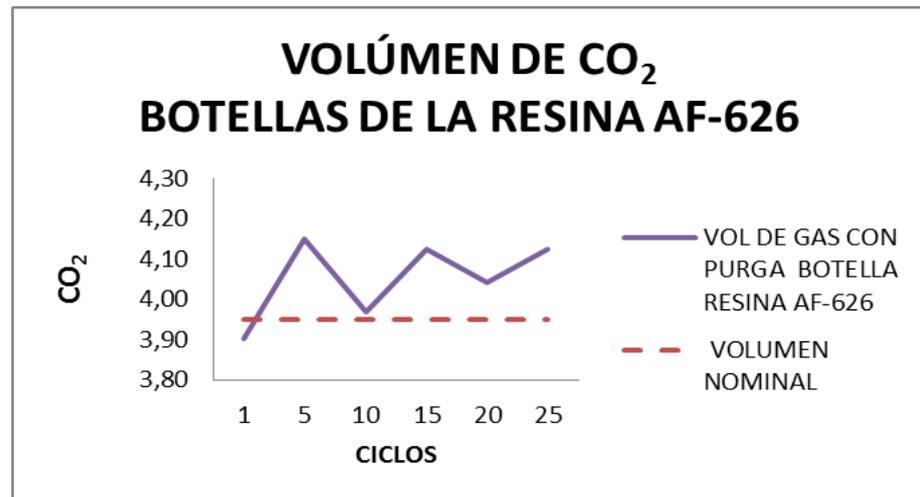


**FIGURA 3.22 GRÁFICO COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN INTERNA EN LOS ENVASES DE LA RESINA AF-621.**

De acuerdo a los valores obtenidos el volumen de CO<sub>2</sub>:

**TABLA 4  
CONSERVACIÓN DE CO<sub>2</sub> EN LOS ENVASES  
FABRICADOS CON LA RESINA AF-626.**

VOLÚMEN DE GAS CON PURGA BOTELLA RESINA AF-626			
CICLO	p	T	V
1	56,7	27,6	3,90
5	74,1	35,2	4,15
10	54,1	25,2	3,97
15	62,6	28,8	4,13
20	59,1	27,6	4,04
25	57,3	25,5	4,12

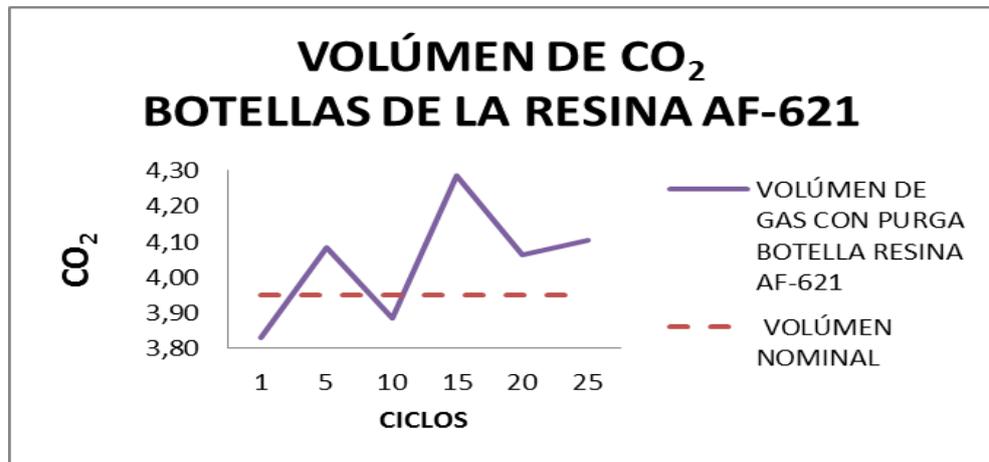


**FIGURA 3.23 GRÁFICO VOLUMEN DE CO<sub>2</sub> BOTELLA RESINA AF-626**

**TABLA 5**

**CONSERVACIÓN DE CO<sub>2</sub> EN LOS ENVASES  
FABRICADOS CON LA RESINA AF-621.**

VOLÚMEN DE GAS CON PURGA BOTELLA RESINA AF-621			
CICLO	p	T	V
1	55,4	27,6	3,83
5	72,7	35,2	4,08
10	52,7	25,2	3,88
15	65,5	28,8	4,28
20	59,6	27,6	4,06
25	56,9	25,5	4,10



**FIGURA 3.24 GRÁFICO VOLUMEN DE CO<sub>2</sub> BOTELLA  
RESINA AF-621**

**TABLA 6**

**CONDICIONES DE APLICACIÓN DE CARBONATACIÓN EN  
LAS BOTELLAS DE LA RESINA AF-626 Y AF-621.**

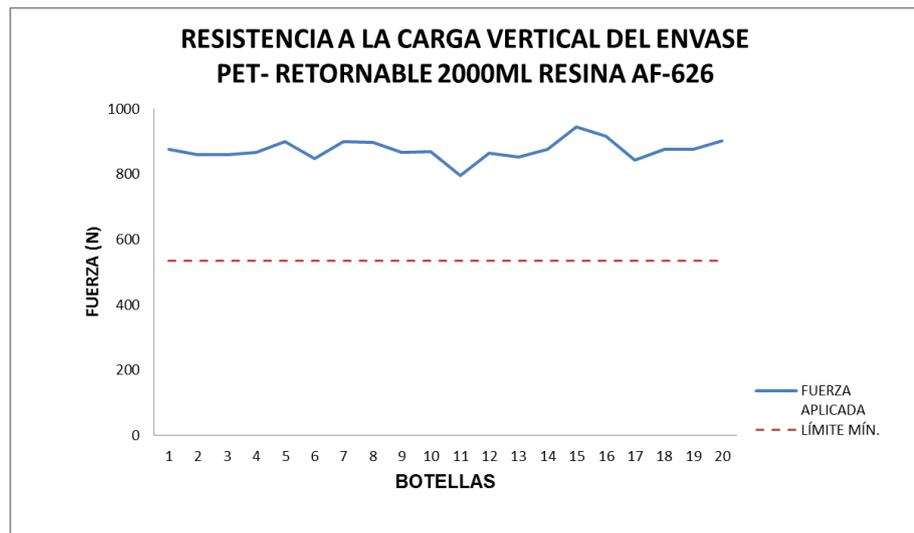
CICLO	CONDICIONES DE CARBONATACIÓN
1	LLENADAS EN LINEA CON BEBIDA GASEOSA
5	LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA
10	LLENADAS EN LINEA CON BEBIDA GASEOSA
15	LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA
20	LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA
25	LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA

Encontrándose dentro de las tolerancias de  $4.2 \pm 0.2$  establecidas por la industria transnacional de bebidas gaseosas según ensayos estandarizados por la matriz principal. Exceptuando el ciclo 15, para la resina AF-621.

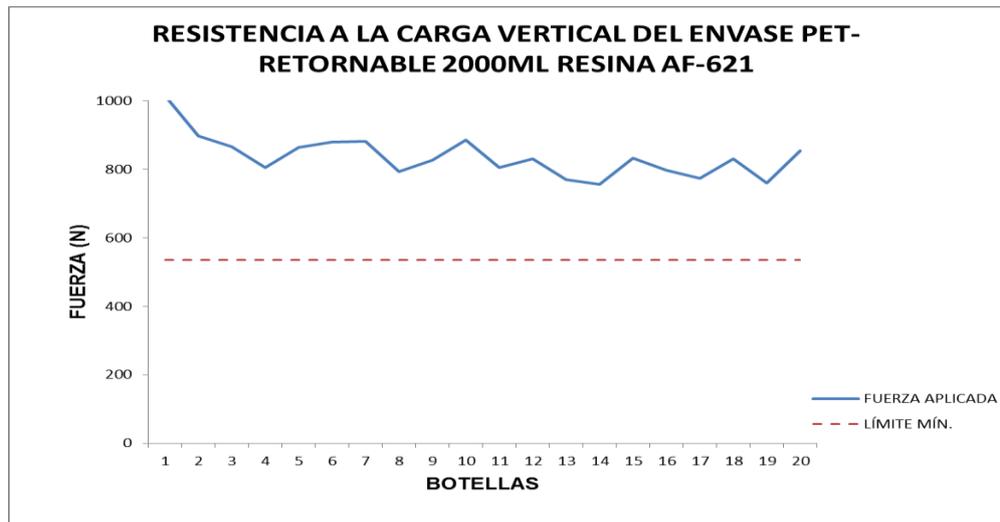
### Resistencia a la Carga Vertical

Los envases fabricados con los dos tipos de resina deben resistir una carga axial mínima de 536 Newtons aplicada a cada botella. Esta prueba destructiva determina la capacidad del envase para soportar un peso determinado durante operaciones de estibado y transporte. Así como también durante la etapa de llenado.

En las gráficas 3.19 y 3.20 se observa que todas las botellas fabricadas con los dos tipos de resinas en comparación soportan la carga axial aplicada y llegan a resistir valores por encima del límite. Información descrita en el APÉNDICE #10.



**FIGURA 3.25 GRÁFICO RESISTENCIA A LA CARGA  
VERTICAL RESINA AF-626.**



**FIGURA 3.26 GRÁFICO RESISTENCIA A LA CARGA  
VERTICAL RESINA AF-621.**

### **Resistencia al Impacto de caída**

Este ensayo evalúa la capacidad del envase para soportar caídas desde 2 mm de altura, simulando el impacto que las botellas recibirán al caerse del transporte o del estibado en pallets.

Esta prueba comprende objetos en caída

La tolerancia al impacto fue favorable para todas las botellas que conforman el estudio. Las 20 botellas de cada tipo de resina fueron sometidas a este lanzamiento, obteniendo como resultado la aprobación del test para ambas resinas.



**FIGURA 3.5. REPRESENTACIÓN DE LA PRUEBA DE  
IMPACTO DE CAIDA LIBRE.**

# CAPÍTULO 4

## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se fundamentaran los principios físicos y químicos evidenciados a través de los diferentes factores de calidad evaluados en el capítulo 3, para las dos resinas de tereftalato de polietileno retornable que forman parte de este proyecto.

### 4.1 Efecto de la aplicación de contrapresión.

El efecto de la aplicación de contrapresión es una técnica que comprueba la estanqueidad de las muestras por medio de aplicación de presión desde el interior del envase, dentro de la zona de aire entre el líquido y la tapa. La prueba se realiza en el agua. Si existe fuga se detecta la primera burbuja de aire visualmente.

De acuerdo a los datos obtenidos, representados en las gráficas 3.15 y 3.16 del capítulo 3. Se refleja una variación de volumen de

CO<sub>2</sub> y niveles de resistencia de presión por encima de 80 psi, como resultado de la prueba de presión interna.

Sin dejar atrás la necesidad de aplicación de presión durante el soplado de la preforma. Esto bajo los principios que manejan la etapa soplado y envasado de bebidas gaseosas, en cuanto a la presión necesaria para lograr un sellado hermético y la conservación del gas carbónico.

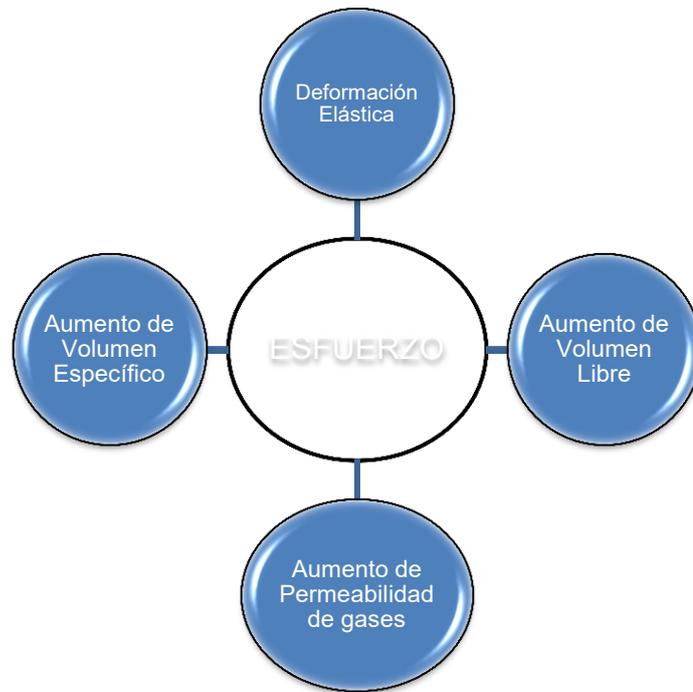
La presión externa comúnmente llamada contrapresión implica la aplicación de presión durante el proceso de llenado en valores capaces de trabajar con la combinación de dos medios ya que se emplea el CO<sub>2</sub> como fuente de sobrepresión.

La presión en el interior es distribuida hacia todas las paredes del envase en forma uniforme. Ocasionando:

- Expansión del envase.
- Deformación plástica.

El aumento de esfuerzo incrementa la permeabilidad en la mayoría de los polímeros. Por lo que al suministrar esta contrapresión a las botellas no solo se evalúa la capacidad de tolerar grandes

esfuerzos sino también de analizar las condiciones en las que se puede garantizar la conservación del contenido del envase.

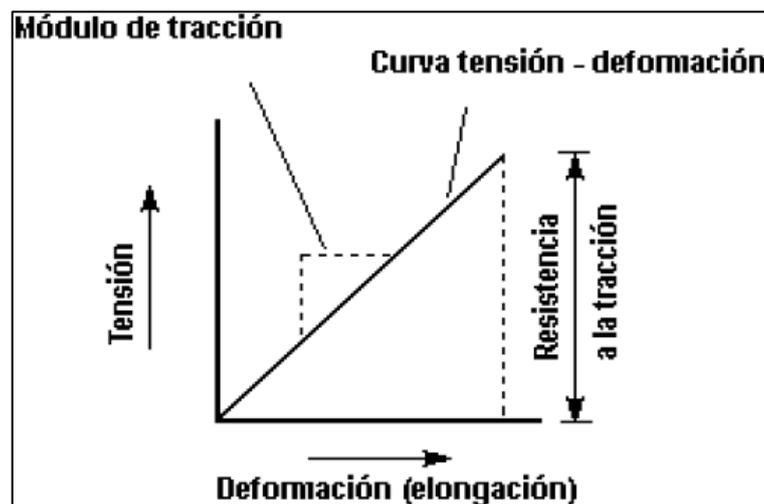


**FIGURA 4.1. EFECTOS DE LA APLICACION DE ESFUERZO A UN ENVASE PLASTICO.**

La permeación (o flujo) de gases y vapor de agua a través de una película de plástico depende de la permeabilidad del plástico y del espesor de la película, así como de la diferencia de presiones parciales del gas en cuestión en ambos lados de la película.

Para conocer cuánto un material puede resistir la deformación, se debe medir el módulo tensil, calculando la resistencia que se ejerce

sobre el material, a través del Incremento paulatino de la tensión, evaluando la elongación que experimenta la muestra en cada nivel de tensión, hasta que finalmente se rompe. Esta relación se representa del siguiente modo:



Fuente: After Odian, George; Principles of polymerization, 3rd. Ed., J.willey, New York, 1991.

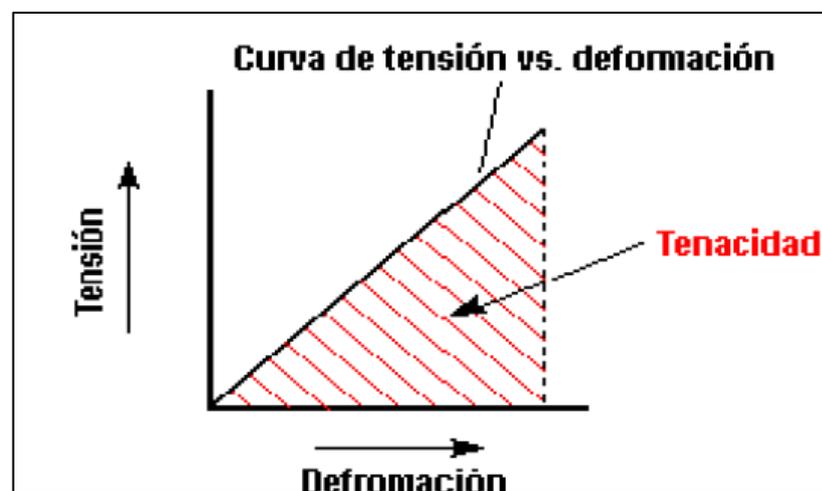
**FIGURA 4.2 GRÁFICO CURVA DE TENSIÓN-ESTIRAMIENTO**

Si la altura de la curva cuando la muestra se rompe, representa la resistencia ténsil, y la pendiente representa el módulo ténsil. Es decir que cuando la pendiente es pronunciada, la muestra tiene un alto módulo ténsil, lo cual significa que es resistente a la deformación.

Si por otro lado se evidencia una pendiente reducida, quiere decir que la muestra posee bajo módulo ténsil y por lo tanto puede ser deformada con facilidad.

En el gráfico XIV de tensión versus estiramiento si se mide el área bajo la curva, el número que se obtiene se define como dureza.

La dureza es la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa. Si la altura del triángulo del gráfico es la resistencia y la base de ese triángulo es el estiramiento, entonces el área será proporcional a resistencia por estiramiento. Tal como se visualiza el grafico xv.



**FIGURA 4.3 GRÁFICO DUREZA. AFTER ODIAN, GEORGE;  
PRINCIPLES OF POLYMERIZATION, 3RD. ED., J.WILLEY, NEW  
YORK,1991.**

Dado que la resistencia es proporcional a la fuerza necesaria para romper la muestra y el estiramiento es medido en unidades de distancia (la distancia que la muestra es estirada), entonces la resistencia por estiramiento es proporcional a la fuerza por distancia y la fuerza por distancia es igual a la energía.



**FIGURA 4.4 GRÁFICO COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE  
DIFERENTES POLÍMEROS. AFTER ODIAN, GEORGE;  
PRINCIPLES OF POLYMERIZATION, 3RD. ED., J.WILLEY, NEW  
YORK,1991.**

En el gráfico XVI. Se definirán los diferentes comportamientos que un polímero puede adoptar al ser sometido a estiramiento.

1. La línea en azul representa la relación tensión-estiramiento de una muestra que es resistente, pero no dura. Como puede verse, debe emplearse mucha fuerza para romperla, pero no

mucha energía, debido a que el área bajo la curva es pequeña. Con estas conclusiones, esta muestra no se estirará demasiado antes de romperse. Los materiales de este tipo, que son resistentes, pero no se deforman demasiado antes de la ruptura, se denominan quebradizos.

2. La línea en rojo representa la relación tensión-estiramiento para una muestra que es dura y resistente. Este material no es tan resistente como el de la curva en azul, pero su área bajo la curva es mucho mayor. Por lo tanto puede absorber mucha más energía que el material a en azul. La muestra que representa la línea roja es capaz de elongarse mucho más antes de romperse que la muestra azul. La deformación permite que la muestra pueda disipar energía. Si una muestra no puede deformarse, la energía no será disipada y por lo tanto se romperá.

Generalmente se requiere de materiales que sean duros y resistentes. La muestra representada en la línea azul tiene mucho mayor módulo que la muestra de la línea roja. Si bien es deseable que para muchas aplicaciones los materiales posean elevados módulos y resistencia a la deformación, en el mundo real es mucho mejor que un material pueda doblarse antes que romperse, y si el

hecho de flexionarse, estirarse o deformarse de algún modo impide que el material se rompa, el material será favorable. De modo que cuando se crean nuevos polímeros, a menudo se restringe un poco de la resistencia con el objeto de conferirle al material mayor dureza.

#### **4.2 Efecto en la estabilidad térmica del envase Retrogradación del polímero.**

Este efecto se presenta a través de la variación de diámetros; altura, cuerpo, hombro, cintura y talón. Tal como se identificó en los gráficos 3.1-3.10 descritos en el capítulo 3.

Generalmente las zonas amorfas de las botellas Pet-retornable se tornan frágiles a medida que pasa el tiempo. La fragilización de la base y cuello de la botella puede comprometer la resistencia del envase.

Este fenómeno se llama relajación del volumen libre y se ha demostrado que la humedad lo acelera. Los problemas asociados a este fenómeno son:

1. Ruptura del envase durante el llenado.
2. Baja resistencia al impacto de caída libre.
3. Agrietamiento por esfuerzos (stress cracking).

Otro daño que puede presentarse en las botellas es durante el almacenamiento debido a las altas temperaturas del ambiente, que originan un mayor encogimiento de los envases. Si las condiciones son severas, esto puede causar deformaciones permanentes al envase.

El grado de deformación y/o encogimiento dependerán de las condiciones de almacenaje y transporte, del diseño de la botella y de las condiciones de envejecimiento.

La deformación elástica en este polímero es debida a dos mecanismos:

- a) En el primer mecanismo los enlaces covalentes de los átomos de carbono de la cadena principal del polímero sufren deformación elástica produciendo el alargamiento de los mismos. En el momento en que la tensión se elimina la distorsión de la cadena puede desaparecer casi instantáneamente.
- b) El segundo mecanismo que tiene lugar es cuando los fragmentos de la cadena del polímero se deforman y al suprimir la tensión, los segmentos vuelven a sus posiciones de origen por un periodo de tiempo variable, de horas a meses.

Esta práctica permite conocer el comportamiento mecánico de las botellas, donde se evalúa la resistencia del plástico a ser deformado y la magnitud de esta deformación, en el punto donde se rompe el material.

Los caminos seguidos en el proceso de degradación térmica son variados, conllevando a disminución del peso molecular y a reticulación, así como a variaciones en la estructura de la unidad estructural.

La fracción de enlaces excitados se incrementa con el incremento de la temperatura. Pudiera entonces ocasionalmente suceder que el nivel de energía de disociación se obtiene y ocurre la ruptura de algún enlace, iniciándose así el proceso de degradación.

El incremento de la estabilidad térmica no solo implica mejores propiedades físicas, fundamentalmente mecánicas, sino también una mayor resistencia hacia la ruptura de enlaces en general, aumentando la resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

#### **4.3 Interacción del baño caustico y la temperatura en el envase.**

Generalmente para envases Pet-retornables, la etapa de lavado es crítica, debido a la remoción exhaustiva de sustancias y/o

materiales contaminantes con las que las botellas pueden estar en contacto una vez que están fuera de las líneas de producción. Se conoce que la soda Cáustica, por el efecto de hidrólisis que ejerce sobre el PET, es uno de los agentes promotores más agresivo.

Como se puede observar esta reacción causada entre la soda caustica y el envase a temperaturas de  $58^{\circ}\text{C} \pm 2$ , es reflejada a través los denominados scuffing y stress cracking. Tal como fue descrito gráficamente en el capítulo 3, de acuerdo a la Figura 3.1,3.2. y gráficos 3.11,3.12,3.13 y 3.14.

En cuanto al stress cracking es originado por la interacción de los lubricantes de cadena que son utilizados para reducir la fricción entre las partículas del material, minimizando el calentamiento por fricción y retrasando la fusión hasta el punto óptimo.

Por lo que es necesario que cada vez que las botellas reingresen a la etapa de envasado. Las botellas sean evaluadas bajo el concepto de scuffing según las longitudes de desgaste. Y de stress cracking niveles de estrías y/o agrietamientos sectorizados en la base del envase.

El fenómeno que representan estas fracturas en los envases es a causa de la denominada hidrólisis superficial alcalina. Debido al rompimiento de los enlaces de hidrogeno frente a una base como la soda caustica.

La hidrólisis por vía alcalina muestra fuerte dependencia con la presión y la temperatura. El efecto es disminuir el peso molecular del material, haciéndolo frágil.

En la primera etapa el agua penetra en las cavidades amorfas del material atacando los enlaces químicos y convirtiendo las cadenas poliméricas en fragmentos pequeños solubles en agua. El material no pierde sus propiedades porque está conformada aun por regiones cristalinas. Una siguiente hidrólisis, en conjunto con la reducción de peso molecular, causa una pérdida de las propiedades físicas. Cuando el agua empieza quebrantar el material.

### **Relación de la Fuerza de compresión y la resistencia de una carga mínima.**

De acuerdo a lo evidenciado en el capítulo 3. La aplicación de carga axial en las botellas arrojo resultados positivos, en donde todas las

botellas soportaron una fuerza por encima de lo establecido, como indicativo de una alta resistencia a la deformación.

Esta prueba establece el procedimiento para determinar la carga de compresión a la cual ceden las botellas, deformación crítica. En este punto la botella es comprimida hasta su punto de cedencia o deformada de tal manera, que su apariencia en posición vertical no es aceptable.

Este efecto define la capacidad de la botella a soportar cargas, las cuales pueden ser encontradas en las operaciones de llenado y taponado. Esta prueba evalúa las variables de material y proceso para una botella específica, así como también el diseño para un material específico, además de ser una fuente de información para el diseño del equipo de manejo.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES

### Conclusiones

1. El PET-retornable posee una gran versatilidad y dependencia del producto a envasar. Y bajo condiciones extremas de climatología, humedad, almacenamiento así como también especificaciones del envasado y diseño. Este material ofrece una variedad de envases con diversas características para cada necesidad.
2. Se ha demostrado que el uso apropiado del envase y correctas condiciones de almacenaje genera que las botellas Pet-retornables no sufran un envejecimiento prematuro. Al no exponerlas a condiciones desfavorables, se obtiene un rendimiento óptimo del envase.

3. Por los datos obtenidos como resultados en el presente trabajo se ha determinado que las zonas amorfas son permeables, la reducción de estas zonas puede ser causada mediante la orientación molecular, es decir que la cristalinidad aporta el 80% de la reducción en permeabilidad y el 20% lo contribuye la orientación.
4. La Viscosidad Intrínseca no afecta las propiedades de barrera. Si ésta se mantiene se puede garantizar buenas características de soplado y un espesor de pared adecuado. De esta manera se determina la resistencia mecánica de las botellas a producir. Además se establece que un aumento de esfuerzo incrementa la permeabilidad del material.
5. La prueba de ciclos representada en este trabajo de integración es un método óptimo para la evaluación y aprobación de envases plásticos, involucrando la simulación del proceso de envasado de bebidas gaseosas en condiciones extremas de fabricación y almacenamiento. De acuerdo a las pruebas a las que ambas resinas fueron sometidas, se pudo comprobar la durabilidad de las botellas, luego de haber cumplido con los 25 ciclos, definidos como el tiempo de vida útil del envase en el mercado. Las botellas fabricadas con la resina en estudio no presentaron diferenciación

significativa con relación a las botellas fabricadas con la resina conocida.

6. Los resultados obtenidos fueron favorables, según la tabla de muestreo AQL de 2,5 con una muestra representativa de 20 unidades, se establece que si dos botellas no cumplen con alguno de los ciclos, el lote producido no se acepta como bueno. Por lo tanto luego de haber analizado los resultados se concluye con la aprobación del lote de botellas fabricadas con la resina en estudio. En fin de que cumplen con la capacidad de resistencia termina, química y física que un envase destinado para bebidas gaseosas debe tener.

### **Recomendaciones**

1. Se recomienda mantener los envases Pet retoranebles a temperaturas de almacenaje moderadas y alejados de químicos como desmoldantes, limpiadores, jabones (soda cáustica), lubricantes, solventes y alcoholes que pueden causar o acelerar el fenómeno de stress cracking y scuffing. De manera que se garantizase que las botellas mantengan un volumen, dimensiones y propiedades consistentes durante el tiempo de vida útil del envase.

2. Se sugiere tener control del pH de todas las aguas usadas dentro del proceso, así como del agente químico de limpieza que se encuentre en contacto con las botellas. Del mismo modo el tiempo y temperatura del proceso de atemperado debe reducirse al mínimo para evitar exponer las botellas presurizadas a esfuerzos innecesarios. Además para obtener propiedades de barrera óptimas es preciso alcanzar un espesor de pared uniformemente distribuido en toda la botella.

## APÉNDICE #1

### ESPECIFICACIONES DE LAS RESINA AF-621 y AF-626.

#### Typical Properties

Property <sup>a</sup>	Test <sup>b</sup> Method	Typical Value, Units <sup>c</sup>
<b>Pellet Properties</b>		
Crystalline Density	D 1505	1.35 g/cm <sup>3</sup>
Bulk Density		
Poured	D 1895	805 kg/m <sup>3</sup> (50 lb/ft <sup>3</sup> )
Vibrated	D 1895	880 kg/m <sup>3</sup> (55 lb/ft <sup>3</sup> )
Melt Density @ 285°C (545°F)	D 1238 (Note A-Table 2)	1.29 g/cm <sup>3</sup>
Crystalline Peak Melting Point (T <sub>m</sub> ) <sup>d</sup>	D 3418	242°C (467°F)
Heat of Fusion <sup>e</sup>	E 793	59 kJ/kg (14 cal/g)
Specific Heat <sup>e</sup>		
@ 23°C (73°F)	E 1269	1.0 kJ/kg·K (0.24 Btu/lb·°F)
@ 80°C (176°F)	E 1269	1.3 kJ/kg·K (0.31 Btu/lb·°F)
@ 100°C (212°F)	E 1269	1.4 kJ/kg·K (0.33 Btu/lb·°F)
@ 200°C (392°F)	E 1269	1.8 kJ/kg·K (0.43 Btu/lb·°F)
@ 280°C (536°F)	E 1269	2.1 kJ/kg·K (0.50 Btu/lb·°F)
Pellet Size		2 x 2 x 3 mm (.1x.1x.1 in.)
Pellet Shape		Rectangular

Property	Value	Test Method
Intrinsic Viscosity	0.82 +/- 0.02	VGAS-A-AN-G-V-1 (or equivalent)
Color: CIE L* CIE a* CIE b*	78 minimum -3.50 to -0.5 -2.5 to 1.5	VGAS-A-AN-G-RS-0001
Fines	0.05 wt % maximum	VGAS-A-AN-G-GA-1 (or equivalent)
Acetaldehyde	1 ppm maximum, residual	VGAS-A-AN-G-GC-2

Fuente: DAK AMERICAS ARGENTINA

## APÉNDICE # 2

### TABLAS AQL.

**TABLE A**

Lot size	SAMPLE SIZE CODE LETTERS						
	General Inspection levels			Special Inspection levels			
	I	II	III	S1	S2	S3	S4
2 to 8	A	A	B	A	A	A	A
9 to 15	A	B	C	A	A	A	A
16 to 25	B	C	D	A	A	B	B
26 to 50	C	D	E	A	B	B	C
51 to 90	C	E	F	B	B	C	C
91 to 150	D	F	G	B	B	C	D
151 to 280	E	G	H	B	C	D	E
281 to 500	F	H	J	B	C	D	E
501 to 1200	G	J	K	C	C	E	F
1201 to 3200	H	K	L	C	D	E	G
3201 to 10000	J	L	M	C	D	F	G
10001 to 35000	K	M	N	C	D	F	H
35001 to 150000	L	N	P	D	E	G	J
150001 to 500000	M	P	Q	D	E	G	J
500000 and over	N	Q	R	D	E	H	K

**TABLE B**

Sample size letter	Sample size	SINGLE SAMPLING PLANS FOR NORMAL INSPECTION													
		Acceptable quality levels (normal inspection)													
		0,065	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1,0	1,5	2,5	4	6,5			
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
A	2														
B	3														
C	5														
D	8														
E	13														
F	20														
G	32														
H	50														
J	80														
K	125														
L	200														
M	315														
N	500														
P	800														
Q	1250														
R	2000														

↑ Use first sampling plan below arrow. If sample size equals, or exceeds, lot or batch size, do 100% inspection.  
 ↓ Use first sampling plan above arrow.

Fuente: [http://aius3.asiainspection.com/qi/aiweb.nsf/Tables\\_AQL.jpg](http://aius3.asiainspection.com/qi/aiweb.nsf/Tables_AQL.jpg)

## APÉNDICE # 3

### REGISTRO DE DIMENSIONES DE ENVASES PET- RETORNABLE.

#### CICLO 0

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DEL AGUA Temp=28 °C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,72	103,26	101,90	104,84	108,49	2025,69	2124,52	0,99523
2	340,93	102,89	101,85	104,60	107,92	2028,44	2126,68	0,99523
3	340,78	103,05	101,97	104,90	108,47	2026,76	2125,56	0,99523
4	341,12	102,83	101,85	104,59	108,49	2027,34	2126,16	0,99523
5	340,95	103,28	102,01	104,59	108,55	2027,16	2126,04	0,99523
6	340,86	103,18	101,93	104,70	108,38	2026,62	2125,33	0,99523
7	341,05	103,10	102,05	104,56	108,50	2026,35	2125,18	0,99523
8	340,57	103,26	101,97	104,75	108,12	2025,98	2124,44	0,99523
9	340,43	103,24	101,92	104,52	108,42	2022,59	2121,36	0,99523
10	340,44	102,98	101,86	104,31	108,18	2024,66	2123,18	0,99523
11	340,63	103,23	101,60	104,25	108,72	2026,78	2125,83	0,99523
12	340,54	103,01	101,96	104,40	108,63	2025,65	2124,62	0,99523
13	340,83	103,24	101,92	104,52	108,29	2032,87	2131,46	0,99523
14	340,53	102,98	101,86	104,31	108,49	2026,16	2124,99	0,99523
15	340,33	103,23	101,60	104,25	108,55	2021,85	2120,76	0,99523
16	340,15	103,01	101,96	104,40	108,44	2017,95	2116,76	0,99523
17	340,58	103,15	101,84	104,37	108,65	2027,87	2126,85	0,99523
18	340,08	103,28	101,95	104,25	107,92	2022,51	2120,78	0,99523
19	340,20	103,22	101,91	104,62	108,59	2023,21	2122,15	0,99523
20	340,32	103,12	101,82	104,71	108,49	2031,40	2130,2	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,60</b>	<b>103,13</b>	<b>101,89</b>	<b>104,52</b>	<b>108,41</b>	<b>2025,89</b>	<b>2124,64</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,30	0,14	0,11	0,20	0,22	3,29	3,29	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28 °C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	341,28	103,49	101,89	104,64	108,42	2029,28	2128,02	0,99523
2	341,18	102,99	101,96	104,80	108,18	2028,14	2126,65	0,99523
3	341,23	103,04	102,00	104,71	108,13	2031,03	2129,47	0,99523
4	341,16	103,23	102,00	104,54	108,63	2027,06	2126,02	0,99523
5	341,15	103,34	101,99	104,60	108,29	2026,24	2124,86	0,99523
6	341,31	102,88	101,98	104,65	108,68	2029,03	2128,03	0,99523
7	341,10	103,10	101,92	104,73	108,43	2027,24	2126,00	0,99523
8	341,16	102,69	102,03	104,64	107,93	2028,24	2126,50	0,99523
9	341,16	102,86	102,03	104,81	108,41	2025,85	2124,60	0,99523
10	341,08	103,49	102,18	104,69	108,51	2025,19	2124,04	0,99523
11	341,12	103,15	102,08	104,68	108,38	2029,00	2127,70	0,99523
12	341,09	103,11	102,12	104,75	108,45	2029,93	2128,70	0,99523
13	341,08	102,92	101,94	104,80	108,50	2027,07	2125,90	0,99523
14	341,09	102,85	101,92	104,67	108,49	2027,46	2126,28	0,99523
15	341,08	103,36	101,98	104,66	108,46	2028,32	2127,10	0,99523
16	340,95	103,06	101,86	104,72	108,63	2026,43	2125,39	0,99523
17	340,96	103,08	101,87	104,64	108,49	2027,30	2126,12	0,99523
18	341,04	102,95	102,00	104,83	108,23	2028,11	2126,67	0,99523
19	340,95	102,71	101,83	104,66	108,39	2026,43	2125,15	0,99523
20	340,67	103,06	101,92	104,67	108,47	2026,45	2125,25	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>341,09</b>	<b>103,07</b>	<b>101,98</b>	<b>104,69</b>	<b>108,41</b>	<b>2027,69</b>	<b>2126,42</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,14	0,23	0,09	0,07	0,18	1,47	1,42	

## CICLO 1

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,64	103,63	102,55	104,65	108,49	2027,91	2127,29	0,99551
2	340,62	103,19	102,37	104,80	108,10	2030,06	2129,05	0,99551
3	340,86	103,40	102,21	104,89	108,51	2031,13	2130,52	0,99551
4	340,63	102,87	102,07	104,76	108,48	2027,38	2126,76	0,99551
5	340,64	103,17	101,97	104,64	108,44	2026,09	2125,43	0,99551
6	340,76	102,85	101,97	104,71	108,68	2027,44	2127,02	0,99551
7	340,54	103,24	102,29	104,66	108,43	2024,08	2123,42	0,99551
8	340,74	103,31	102,33	104,65	107,98	2030,81	2129,67	0,99551
9	340,76	103,24	102,06	104,65	108,41	2027,45	2126,76	0,99551
10	340,63	103,52	102,17	104,70	108,51	2025,85	2125,26	0,99551
11	340,83	103,70	102,12	104,89	108,38	2033,32	2132,57	0,99551
12	340,71	103,59	102,09	104,86	108,45	2033,56	2132,88	0,99551
13	340,65	103,54	102,16	104,76	108,42	2031,06	2130,36	0,99551
14	340,72	103,20	101,98	104,65	108,33	2030,87	2130,08	0,99551
15	340,47	103,11	101,65	104,70	108,41	2026,97	2126,28	0,99551
16	340,51	103,26	102,03	104,91	108,44	2028,99	2128,32	0,99551
17	340,35	102,96	101,74	104,57	108,39	2021,43	2120,74	0,99551
18	340,60	103,31	101,75	104,78	108,28	2028,41	2127,58	0,99551
19	340,41	103,15	101,77	104,68	108,50	2028,10	2127,49	0,99551
20	340,42	103,21	101,79	104,75	108,47	2027,05	2126,42	0,99551
<b>Prom.</b>	<b>340,62</b>	<b>103,27</b>	<b>102,05</b>	<b>104,73</b>	<b>108,41</b>	<b>2028,40</b>	<b>2127,70</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,14	0,24	0,24	0,10	0,15	2,96	2,91	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,55	103,43	102,00	104,66	108,49	2028,25	2127,63	0,99551
2	340,41	102,94	101,85	104,87	107,95	2028,27	2127,11	0,99551
3	340,56	103,30	101,61	104,70	108,47	2021,33	2120,72	0,99551
4	340,42	103,05	101,73	104,69	108,49	2020,90	2120,32	0,99551
5	340,62	103,00	101,95	104,71	108,55	2029,81	2129,25	0,99551
6	340,37	103,16	101,76	104,73	108,68	2027,44	2127,02	0,99551
7	340,41	103,16	101,66	104,69	108,43	2024,08	2123,42	0,99551
8	340,26	103,69	101,77	104,74	107,93	2030,86	2129,67	0,99551
9	340,27	103,06	101,71	104,24	108,41	2027,45	2126,76	0,99551
10	340,28	103,13	101,75	104,60	108,41	2016,87	2116,22	0,99551
11	340,36	102,90	101,59	104,61	108,51	2020,26	2119,70	0,99551
12	340,28	102,95	101,78	104,23	108,63	2025,08	2124,62	0,99551
13	340,41	102,91	101,88	104,52	108,29	2032,30	2131,46	0,99551
14	340,19	103,21	101,96	104,76	108,49	2025,59	2124,99	0,99551
15	340,13	103,16	101,94	104,83	108,55	2021,29	2120,76	0,99551
16	340,01	103,20	101,83	104,54	108,44	2017,38	2116,76	0,99551
17	340,30	102,98	101,86	104,74	108,59	2019,95	2119,47	0,99551
18	339,87	103,29	101,91	104,55	108,33	2016,04	2115,32	0,99551
19	340,32	103,14	101,81	104,63	108,42	2024,06	2123,40	0,99551
20	340,22	102,99	101,95	104,82	108,43	2021,15	2120,51	0,99551
<b>Prom.</b>	<b>340,31</b>	<b>103,13</b>	<b>101,81</b>	<b>104,64</b>	<b>108,42</b>	<b>2023,92</b>	<b>2123,26</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,18	0,19	0,12	0,17	0,19	4,78	4,70	

## CICLO 5

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,59	102,84	101,54	104,44	108,42	2027,87	2126,62	0,99523
2	340,61	103,00	101,96	104,46	108,18	2025,77	2124,29	0,99523
3	340,59	102,98	101,80	104,55	108,51	2025,55	2124,40	0,99523
4	340,18	103,17	101,73	104,41	108,63	2016,90	2115,91	0,99523
5	340,54	102,88	101,65	104,37	108,29	2023,70	2122,34	0,99523
6	340,73	102,84	101,67	104,47	108,68	2025,84	2124,86	0,99523
7	340,16	102,54	101,48	104,34	108,43	2018,03	2116,83	0,99523
8	340,55	102,61	101,75	104,50	107,93	2021,75	2120,04	0,99523
9	340,57	103,00	101,50	104,45	108,41	2024,71	2123,46	0,99523
10	340,44	103,02	101,77	104,50	108,51	2021,27	2120,14	0,99523
11	340,63	102,98	101,65	104,39	108,38	2029,28	2127,98	0,99523
12	340,55	103,04	101,76	104,56	108,45	2025,16	2123,95	0,99523
13	340,52	102,61	101,50	104,37	108,50	2025,94	2124,78	0,99523
14	340,53	102,95	101,67	104,47	108,49	2025,24	2124,07	0,99523
15	340,51	103,42	101,48	104,54	108,64	2028,10	2127,07	0,99523
16	340,28	102,78	101,34	104,33	108,63	2024,07	2123,05	0,99523
17	340,27	103,04	101,64	104,53	108,49	2022,97	2121,81	0,99523
18	340,23	102,81	101,38	104,40	108,23	2020,02	2118,61	0,99523
19	340,00	103,28	101,46	104,57	108,50	2017,28	2116,16	0,99523
20	340,32	103,09	101,43	104,57	108,47	2025,93	2124,74	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,44</b>	<b>102,94</b>	<b>101,61</b>	<b>104,46</b>	<b>108,44</b>	<b>2023,77</b>	<b>2122,56</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,19	0,22	0,16	0,08	0,18	3,55	3,55	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,33	102,89	101,60	104,32	108,49	2025,24	2124,07	0,99523
2	340,22	102,72	101,35	104,44	107,92	2025,34	2123,60	0,99523
3	340,20	102,47	101,60	104,44	108,47	2015,81	2114,66	0,99523
4	340,06	102,54	101,37	104,30	108,49	2014,47	2113,35	0,99523
5	340,20	102,73	101,37	104,54	108,55	2020,70	2119,61	0,99523
6	340,07	102,84	101,30	104,26	108,31	2020,11	2118,78	0,99523
7	340,37	102,64	101,49	104,65	108,50	2023,09	2121,94	0,99523
8	339,79	102,88	101,38	104,40	107,92	2016,64	2114,94	0,99523
9	340,12	103,18	101,80	104,08	108,42	2015,08	2113,89	0,99523
10	340,20	102,77	101,32	104,00	108,18	2016,60	2115,16	0,99523
11	340,23	103,35	101,60	104,22	108,51	2015,90	2114,79	0,99523
12	340,12	102,85	101,73	104,14	108,63	2013,49	2112,52	0,99523
13	340,20	103,18	101,80	104,08	108,29	2014,11	2112,79	0,99523
14	339,99	102,77	101,32	104,00	108,49	2010,64	2109,54	0,99523
15	339,97	103,35	101,60	104,22	108,55	2010,56	2109,52	0,99523
16	339,78	102,85	101,73	104,14	108,31	2018,87	2117,55	0,99523
17	340,16	103,11	101,79	104,10	108,50	2015,17	2114,06	0,99523
18	339,73	102,89	101,67	104,31	107,92	2013,61	2111,93	0,99523
19	339,98	103,24	101,84	104,06	108,22	2021,40	2119,98	0,99523
20	340,12	103,16	101,52	104,18	108,43	2034,03	2132,76	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,09</b>	<b>102,92</b>	<b>101,56</b>	<b>104,24</b>	<b>108,36</b>	<b>2018,04</b>	<b>2116,77</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,18	0,26	0,19	0,18	0,22	5,71	5,66	

## CICLO 10

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
2	340,67	102,56	101,30	104,40	108,18	2020,81	2119,35	0,99523
3	340,53	102,29	101,39	104,46	108,51	2019,98	2118,85	0,99523
4	340,34	102,63	101,58	104,36	108,63	2021,16	2120,15	0,99523
5	340,52	102,65	101,70	104,50	108,29	2017,99	2116,65	0,99523
6	340,62	102,44	101,40	104,67	108,68	2019,75	2118,80	0,99523
7	340,21	102,59	101,35	104,33	108,43	2016,92	2115,73	0,99523
8	340,62	102,49	101,60	104,62	107,93	2024,41	2122,68	0,99523
9	340,50	102,29	101,49	104,38	108,41	2017,26	2116,05	0,99523
10	340,34	102,68	101,60	104,47	108,51	2015,11	2114,01	0,99523
11	340,53	102,53	101,53	104,67	108,38	2029,10	2127,80	0,99523
12	340,54	102,59	101,44	104,68	108,45	2021,66	2120,47	0,99523
13	340,33	102,02	101,49	104,60	108,50	2016,35	2115,23	0,99523
14	340,66	102,65	101,60	104,47	108,49	2015,53	2114,41	0,99523
15	340,39	102,61	101,31	104,60	108,64	2022,84	2121,83	0,99523
16	340,12	102,32	101,40	104,32	108,63	2016,12	2115,13	0,99523
17	340,11	102,60	101,36	104,47	108,49	2015,24	2114,12	0,99523
18	340,15	102,34	101,15	104,41	108,23	2016,27	2114,88	0,99523
19	340,09	102,38	101,52	104,53	108,50	2019,03	2117,90	0,99523
20	340,16	102,63	101,25	104,62	108,47	2019,74	2118,58	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,39</b>	<b>102,49</b>	<b>101,45</b>	<b>104,50</b>	<b>108,44</b>	<b>2019,22</b>	<b>2118,03</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,20	0,17	0,14	0,12	0,18	3,61	3,55	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,30	102,27	101,39	104,53	108,42	2016,80	2115,60	0,99523
2	339,97	102,78	101,18	104,59	108,18	2018,18	2116,73	0,99523
3	340,20	102,58	101,30	104,54	108,51	2017,69	2116,58	0,99523
4	340,21	102,38	101,42	104,71	108,63	2014,97	2113,99	0,99523
5	340,22	102,13	101,37	104,35	108,29	2014,62	2113,30	0,99523
6	340,05	102,53	101,36	104,55	108,49	2010,63	2109,53	0,99523
7	340,26	102,85	101,38	104,69	108,55	2015,33	2114,27	0,99523
8	339,82	102,79	101,37	104,61	108,31	2014,46	2113,16	0,99523
9	340,65	102,48	101,56	104,12	108,50	2014,11	2113,00	0,99523
10	340,94	102,50	101,35	104,16	107,92	2013,65	2111,96	0,99523
11	340,81	102,78	101,39	104,23	104,38	2026,56	2121,27	0,99523
12	340,55	102,97	101,40	104,13	104,30	2017,52	2112,20	0,99523
13	340,75	102,48	101,56	104,12	104,34	2022,52	2117,21	0,99523
14	340,42	102,50	101,35	104,16	104,30	2016,84	2111,52	0,99523
15	340,64	102,78	101,39	104,23	104,58	2020,39	2115,33	0,99523
16	340,21	102,97	101,40	104,13	104,38	2019,45	2114,20	0,99523
17	340,38	102,72	101,35	104,43	104,53	2018,24	2113,14	0,99523
18	340,14	102,87	101,29	104,25	104,49	2015,59	2110,47	0,99523
19	340,39	102,64	101,36	104,36	104,28	2017,88	2112,53	0,99523
20	339,96	102,59	101,42	104,18	107,92	2021,18	2119,46	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,34</b>	<b>102,63</b>	<b>101,38</b>	<b>104,35</b>	<b>106,57</b>	<b>2017,33</b>	<b>2114,27</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,30	0,23	0,08	0,21	2,02	3,56	2,91	

## CICLO 15

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,91	102,83	101,39	104,31	108,18	2020,24	2118,78	0,99523
2	340,63	102,69	101,49	104,37	108,51	2018,08	2116,96	0,99523
3	340,48	102,27	101,60	104,50	108,63	2015,52	2114,54	0,99523
4	340,42	102,47	101,71	104,40	108,29	2013,68	2112,36	0,99523
5	340,65	102,92	101,50	104,35	108,68	2017,84	2116,89	0,99523
6	340,19	102,88	101,36	104,37	108,43	2013,74	2112,56	0,99523
7	340,46	102,57	101,63	104,30	107,93	2016,74	2115,05	0,99523
8	340,67	102,64	101,63	104,38	108,45	2022,47	2121,27	0,99523
9	340,26	102,96	101,51	104,30	108,50	2013,30	2112,20	0,99523
10	340,75	102,52	101,58	104,34	108,49	2018,35	2117,21	0,99523
11	340,04	102,92	101,24	104,30	108,64	2012,48	2111,52	0,99523
12	340,17	102,59	101,37	104,58	108,63	2016,32	2115,33	0,99523
13	340,22	102,69	101,37	104,38	108,49	2015,32	2114,20	0,99523
14	340,10	102,13	101,29	104,53	108,23	2014,52	2113,14	0,99523
15	339,94	102,15	101,18	104,49	108,50	2011,57	2110,47	0,99523
16	340,03	102,40	101,45	104,28	108,47	2013,67	2112,53	0,99523
17	340,19	102,33	101,24	104,21	108,49	2016,13	2115,00	0,99523
18	340,07	102,66	101,54	104,47	107,92	2015,02	2113,33	0,99523
19	340,30	102,33	101,24	104,43	108,47	2012,85	2111,72	0,99523
20	340,12	102,66	101,28	104,53	108,49	2010,84	2109,74	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,33</b>	<b>102,58</b>	<b>101,43</b>	<b>104,39</b>	<b>108,42</b>	<b>2015,43</b>	<b>2114,24</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,28	0,25	0,16	0,10	0,21	2,93	2,90	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,38	103,03	101,59	104,00	108,42	2016,80	2115,60	0,99523
2	340,60	102,56	101,13	104,26	108,28	2018,08	2116,73	0,99523
3	340,52	102,40	101,46	104,11	108,51	2017,69	2116,58	0,99523
4	340,30	102,90	101,31	104,18	108,63	2014,97	2113,99	0,99523
5	340,35	103,03	101,59	104,00	108,29	2014,62	2113,30	0,99523
6	340,08	102,56	101,13	104,26	108,49	2010,63	2109,53	0,99523
7	340,20	102,40	101,46	104,11	108,55	2015,33	2114,27	0,99523
8	340,32	102,47	101,40	104,44	108,55	2017,10	2116,03	0,99523
9	340,13	102,70	101,46	104,40	108,31	2014,84	2113,54	0,99523
10	340,32	102,35	101,46	104,40	108,50	2015,54	2114,43	0,99523
11	339,84	102,63	101,54	104,26	107,92	2014,29	2112,60	0,99523
12	340,30	102,90	101,31	104,18	107,48	2022,81	2120,64	0,99523
13	340,55	102,46	101,59	104,22	108,51	2018,39	2117,27	0,99523
14	340,37	102,67	101,44	104,35	108,63	2016,87	2115,88	0,99523
15	340,33	102,39	101,39	104,14	108,29	2013,42	2112,11	0,99523
16	340,18	102,66	101,33	104,12	108,49	2013,14	2112,03	0,99523
17	340,32	102,51	101,67	104,21	108,55	2018,29	2117,21	0,99523
18	340,27	102,65	101,56	104,18	108,31	2014,21	2112,91	0,99523
19	339,78	102,59	101,42	104,24	108,50	2016,34	2115,22	0,99523
20	340,07	102,83	101,48	104,15	107,92	2012,70	2111,02	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,26</b>	<b>102,63</b>	<b>101,44</b>	<b>104,21</b>	<b>108,36</b>	<b>2015,80</b>	<b>2114,54</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,21	0,21	0,14	0,12	0,29	2,64	2,57	

## CICLO 20

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,70	102,67	101,52	104,31	108,42	2016,83	2115,63	0,99523
2	341,09	102,51	101,42	104,42	108,18	2018,64	2117,19	0,99523
3	340,92	102,49	101,42	104,32	108,51	2018,16	2117,04	0,99523
4	340,65	102,49	101,49	104,34	108,63	2015,51	2114,53	0,99523
5	340,57	102,57	101,50	101,43	108,29	2013,20	2111,89	0,99523
6	340,67	102,18	101,46	104,41	108,68	2015,37	2114,44	0,99523
7	340,43	102,90	101,64	104,26	108,43	2013,48	2112,31	0,99523
8	340,81	102,49	101,36	104,30	107,93	2020,76	2119,05	0,99523
9	340,46	102,13	101,81	104,49	108,41	2016,94	2115,73	0,99523
10	340,42	102,15	101,45	104,54	108,51	2013,98	2112,88	0,99523
11	340,81	102,44	101,71	104,43	108,45	2020,67	2119,48	0,99523
12	340,62	102,08	101,75	104,19	108,50	2016,87	2115,75	0,99523
13	340,28	102,41	101,46	104,31	108,64	2014,30	2113,33	0,99523
14	340,29	102,48	101,47	104,33	108,63	2014,28	2113,30	0,99523
15	340,20	102,44	101,36	104,33	108,49	2013,03	2111,92	0,99523
16	340,23	102,33	101,31	104,30	108,23	2013,81	2112,43	0,99523
17	340,17	102,60	101,42	104,42	108,50	2012,13	2111,03	0,99523
18	340,20	102,29	101,32	104,52	108,47	2014,56	2113,42	0,99523
19	340,37	102,40	101,42	104,30	108,49	2016,08	2114,95	0,99523
20	340,20	102,50	101,47	104,38	107,92	2013,64	2111,95	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,50</b>	<b>102,43</b>	<b>101,49</b>	<b>104,21</b>	<b>108,42</b>	<b>2015,61</b>	<b>2048,60</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,27	0,20	0,14	0,68	0,21	2,48	335,90	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,37	102,38	101,40	104,36	108,42	2017,78	2116,58	0,99523
2	340,24	102,52	101,41	104,27	108,18	2018,15	2116,70	0,99523
3	340,48	102,15	101,50	104,31	108,51	2019,24	2118,12	0,99523
4	340,26	102,22	101,23	104,32	108,63	2015,78	2114,79	0,99523
5	340,35	102,57	101,27	104,28	108,29	2015,38	2114,06	0,99523
6	341,34	102,47	101,52	104,41	108,49	2008,76	2107,67	0,99523
7	341,68	102,88	101,52	104,11	108,55	2015,53	2114,47	0,99523
8	341,36	102,62	101,35	103,94	108,31	2012,66	2111,37	0,99523
9	341,19	102,99	101,44	104,20	108,50	2013,27	2112,17	0,99523
10	341,08	102,48	101,32	104,05	107,92	2013,22	2111,54	0,99523
11	340,65	102,88	101,52	104,11	108,49	2021,71	2120,56	0,99523
12	340,98	102,62	101,35	103,94	108,55	2027,28	2126,16	0,99523
13	340,91	102,99	101,44	104,20	108,51	2016,42	2115,31	0,99523
14	340,78	102,48	101,32	104,05	108,63	2016,34	2115,35	0,99523
15	340,66	102,42	101,43	104,22	108,29	2014,34	2113,02	0,99523
16	340,14	102,46	101,40	104,35	108,49	2008,14	2107,05	0,99523
17	340,62	102,55	101,64	104,08	108,55	2017,01	2115,94	0,99523
18	340,38	102,72	101,36	104,29	108,31	2015,26	2113,96	0,99523
19	340,46	102,79	101,49	104,15	108,50	2014,09	2112,98	0,99523
20	340,13	102,35	101,32	104,17	107,92	2015,90	2114,20	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,70</b>	<b>102,58</b>	<b>101,41</b>	<b>104,19</b>	<b>108,40</b>	<b>2015,81</b>	<b>2114,60</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,45	0,24	0,10	0,14	0,20	4,15	4,16	

## CICLO 25

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,82	102,71	101,19	104,39	108,42	2013,51	2112,33	0,99523
2	341,32	102,74	101,65	104,44	108,18	2015,55	2114,12	0,99523
3	340,73	102,71	101,60	104,48	108,63	2011,68	2110,71	0,99523
4	340,52	102,77	101,34	104,37	108,29	2008,57	2107,28	0,99523
5	340,79	102,80	101,46	104,48	108,68	2012,46	2111,54	0,99523
6	340,51	102,58	101,39	104,27	108,43	2010,66	2109,50	0,99523
7	340,84	102,44	101,55	104,34	107,93	2015,38	2113,70	0,99523
8	340,52	102,79	101,46	104,37	108,41	2013,85	2112,65	0,99523
9	340,45	102,77	101,51	104,38	108,51	2010,30	2109,22	0,99523
10	340,87	102,68	101,47	104,22	108,45	2016,79	2115,62	0,99523
11	340,61	102,35	101,41	104,43	108,50	2011,85	2110,75	0,99523
12	340,19	102,52	101,19	104,38	108,64	2010,19	2109,24	0,99523
13	340,22	102,67	101,05	104,46	108,63	2008,05	2107,10	0,99523
14	340,18	102,55	101,10	104,45	108,49	2007,46	2106,37	0,99523
15	340,20	102,92	101,33	104,28	108,23	2009,91	2108,55	0,99523
16	340,24	102,71	101,17	104,33	108,50	2009,49	2108,40	0,99523
17	340,17	102,66	101,28	104,55	108,47	2010,36	2109,24	0,99523
18	340,38	102,53	101,35	104,53	108,49	2011,87	2110,76	0,99523
19	340,18	102,49	101,31	104,51	107,92	2009,42	2107,76	0,99523
20	340,40	102,55	101,00	104,33	108,47	2007,97	2106,86	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,51</b>	<b>102,65</b>	<b>101,34</b>	<b>104,40</b>	<b>108,41</b>	<b>2011,27</b>	<b>2110,09</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,31	0,14	0,18	0,09	0,21	2,66	2,61	

PRUEBA DURABILIDAD ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621								
BOTELLA	ALTURA ( mm )	DIMENSIONES mm			PESO (g.)	CAPACIDAD (ml)	PESO BRUTO	DENSIDAD DEL AGUA Temp=28°C
		HOMBRO	CUERPO	TALÓN				
1	340,19	102,39	101,00	104,33	108,49	2004,38	2103,31	0,99523
2	340,41	102,79	101,42	104,42	108,55	2008,89	2107,86	0,99523
3	340,42	102,57	101,30	104,32	108,50	2009,60	2108,51	0,99523
4	339,89	102,71	101,44	104,38	107,92	2007,67	2106,01	0,99523
5	340,64	102,76	101,63	104,13	108,42	2015,35	2114,16	0,99523
6	340,96	102,78	101,35	104,04	108,18	2016,21	2114,77	0,99523
7	340,73	102,48	101,28	104,10	108,51	2015,99	2114,88	0,99523
8	340,51	102,61	101,27	104,19	108,63	2012,83	2111,86	0,99523
9	340,36	102,76	101,63	104,13	108,29	2009,37	2108,08	0,99523
10	340,10	102,78	101,35	104,04	108,49	2006,69	2105,61	0,99523
11	340,40	102,48	101,28	104,10	108,55	2013,50	2112,45	0,99523
12	340,84	102,61	101,27	104,19	108,42	2017,08	2115,88	0,99523
15	341,39	102,65	101,38	104,16	108,18	2018,72	2117,27	0,99523
16	341,00	102,62	101,29	104,36	108,51	2017,05	2115,94	0,99523
17	340,89	102,58	101,32	104,28	108,63	2016,13	2115,14	0,99523
18	340,36	102,67	101,47	104,33	108,29	2008,41	2107,12	0,99523
19	340,18	102,42	101,39	104,75	108,49	2008,21	2107,12	0,99523
20	340,19	102,37	101,41	104,26	108,55	2017,88	2116,80	0,99523
<b>Prom.</b>	<b>340,53</b>	<b>102,61</b>	<b>101,36</b>	<b>104,25</b>	<b>108,42</b>	<b>2012,44</b>	<b>2111,27</b>	
<b>Dev. Est.</b>	0,38	0,14	0,14	0,17	0,18	4,52	4,52	

## APÉNDICE # 4

### DENSIDAD DEL AGUA.

Temperatura del Agua	Densidad relativo
°C	g/cc
16	0,9979
17	0,99773
18	0,99756
19	0,99737
20	0,99717
21	0,99697
22	0,99675
23	0,99652
24	0,99628

## APÉNDICE # 5

### CONDICIONES DE LA ETAPA DE LAVADO.

VARIABLES DEL PROCESO					
Ciclos	Fecha de Inicio del ciclo	Hora de Ingreso del envase a Lavadora	Hora de Salida del envase a Lavadora	Concentración de Soda Caustica	Temperatura de Soda Caustica °C
CICLO #1	02-ago-11	10h54	11h32	2,70	57,0
CICLO #2	04-ago-11	09h38	10h12	2,80	58,0
CICLO #3	06-ago-11	08h58	09h30	3,16	58,3
CICLO #4	08-ago-11	08h25	09h05	3,20	60,6
CICLO #5	10-ago-11	09h01	09h40	2,83	60,2
CICLO #6	12-ago-11	09h15	09h50	2,83	60,0
CICLO #7	14-ago-11	10h06	10h46	2,80	57,3
CICLO #8	16-ago-11	08h28	09h05	2,82	59,6
CICLO #9	18-ago-11	10h08	10h39	2,92	59,7
CICLO #10	20-ago-11	08h06	08h40	3,03	56,3
CICLO #11	22-ago-11	09h55	10h28	2,82	57,3
CICLO #12	24-ago-11	08h48	09h18	2,72	57,8
CICLO #13	26-ago-11	08h38	09h31	3,31	59,2
CICLO #14	28-ago-11	07H53	08H25	2,98	57,6
CICLO #15	30-ago-11	08h48	09h28	3,57	60,0
CICLO #16	01-sep-11	09h58	10h20	2,63	56,5
CICLO #17	03-sep-11	07h58	09h05	2,82	58,3
CICLO #18	05-sep-11	08h28	08h58	2,72	57,8
CICLO #19	07-sep-11	18h00	18h32	3,28	59,7
CICLO #20	09-sep-11	12h32	13h12	2,76	57,5
CICLO #21	11-sep-11	09h28	10h01	2,80	59,8
CICLO #22	13-sep-11	09h30	10h00	2,67	58,4
CICLO #23	15-sep-11	08h03	08h53	2,78	58,2
CICLO #24	17-sep-11	09h45	10h30	2,68	58,5
CICLO #25	19-sep-11	10h00	10h30	2,98	57,9

## APÉNDICE # 6

### Solución Carbonatada para obtener 4.2 De Volumen De CO<sub>2</sub>

Capacidad (ml)	Agua (g)	Acido Citrico(g)	Bicarbonato de Sodio (g)
250	243,50	4,80	3,20
330	321,42	6,60	4,32
355	345,80	7,00	4,70
450	438,30	8,80	5,90
500	496,80	10,04	6,62
600	584,40	11,70	7,86
625	608,75	12,20	8,19
1500	1490,40	30,10	19,90
1800	1788,48	36,14	23,84
2000	1987,20	40,16	26,48
2500	2484,00	50,20	33,10
3000	2980,00	60,20	39,70

## APÉNDICE # 7 PRESIÓN HIDROSTÁTICA

### CICLO 1

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	86,36
2	91,25
3	94,15
4	87,13
5	90,79
6	84,38
7	90,18
8	89,87
9	91,71
10	88,96
11	90,18
12	90,79
13	88,96
14	88,20
15	84,08
16	83,47
17	84,38
18	88,04
19	84,08
20	85,60
<b>Prom</b>	<b>88,13</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	88,20
2	88,20
3	84,69
4	90,94
5	92,16
6	91,25
7	86,67
8	86,82
9	86,52
10	86,36
11	87,28
12	86,82
13	86,98
14	86,67
15	86,21
16	87,43
17	84,53
18	87,89
19	86,52
20	84,99
<b>Prom</b>	<b>87,36</b>

## CICLO 5

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	86,44
2	85,72
3	85,21
4	90,79
5	84,60
6	88,40
7	87,83
8	85,83
9	94,60
10	91,81
11	83,66
12	92,47
13	85,37
14	86,06
15	85,45
16	86,36
17	86,52
18	86,52
19	86,52
20	86,21
<b>Prom</b>	<b>87,32</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	85,91
2	86,06
3	87,59
4	86,52
5	85,30
6	85,91
7	86,36
8	86,21
9	85,91
10	84,38
11	86,52
12	85,30
13	86,67
14	86,67
15	86,82
16	87,28
17	85,30
18	84,23
19	86,67
20	86,21
<b>Prom</b>	<b>86,09</b>

## CICLO 10

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	93,08
2	93,79
3	85,30
4	86,98
5	85,45
6	85,60
7	87,74
8	86,67
9	85,45
10	87,89
11	87,89
12	86,82
13	88,04
14	87,74
15	86,52
16	88,20
17	82,86
18	82,55
19	82,86
20	83,16
<b>Prom</b>	<b>86,73</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	82,55
2	83,16
3	81,79
4	83,01
5	81,48
6	81,33
7	81,79
8	81,48
9	82,40
10	81,63
11	81,48
12	81,63
13	81,63
14	82,40
15	83,01
16	82,55
17	81,33
18	81,48
19	81,48
20	81,48
<b>Prom</b>	<b>81,95</b>

## CICLO 15

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	86,36
2	84,69
3	85,30
4	85,91
5	86,21
6	86,52
7	86,06
8	92,62
9	86,21
10	84,53
11	85,75
12	84,99
13	85,75
14	85,75
15	85,14
16	85,30
17	86,06
18	85,91
19	85,91
20	86,06
<b>Prom</b>	<b>86,05</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	85,45
2	85,45
3	86,06
4	86,36
5	86,36
6	85,75
7	85,60
8	85,75
9	85,60
10	85,60
11	86,06
12	85,91
13	86,21
14	86,21
15	86,06
16	84,84
17	85,30
18	85,75
19	85,30
20	85,14
<b>Prom</b>	<b>85,74</b>

## CICLO 20

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	85,34
2	84,38
3	84,08
4	84,38
5	84,84
6	84,69
7	84,81
8	84,53
9	84,08
10	83,77
11	83,92
12	83,92
13	84,69
14	84,23
15	84,84
16	85,30
17	84,23
18	84,38
19	83,92
20	84,53
<b>Prom</b>	<b>84,44</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	84,53
2	84,84
3	84,53
4	84,99
5	84,53
6	84,23
7	83,47
8	84,99
9	85,34
10	84,53
11	84,23
12	84,08
13	84,84
14	83,62
15	84,53
16	84,08
17	83,31
18	83,62
19	84,38
20	84,38
<b>Prom</b>	<b>84,35</b>

## CICLO 25

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-626	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	81,94
2	81,79
3	81,94
4	82,09
5	82,09
6	82,24
7	81,33
8	81,79
9	82,40
10	82,09
11	81,94
12	81,63
13	81,63
14	81,79
15	81,79
16	81,48
17	81,18
18	81,79
19	81,63
20	81,79
<b>Prom</b>	<b>81,82</b>

RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN APLICADA
1	81,79
2	81,48
3	81,79
4	81,79
5	81,48
6	81,79
7	81,94
8	81,48
9	81,79
10	80,87
11	87,89
12	85,60
13	85,60
14	85,30
15	74,46
16	80,57
17	80,26
18	80,11
19	80,26
20	80,26
<b>Prom</b>	<b>81,83</b>

## APÉNDICE # 8 PRESIÓN INTERNA

### CICLO 1

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	55,50	1	55,00
2	56,50	2	54,50
3	60,00	3	56,00
4	57,50	4	49,50
5	56,00	5	52,50
6	56,00	6	58,50
7	50,00	7	51,00
8	57,50	8	48,50
9	60,00	9	59,50
10	57,50	10	53,00
11	55,50	11	58,00
12	58,00	12	62,50
13	55,00	13	59,00
14	58,00	14	61,00
15	57,50	15	50,50
16	63,00	16	53,00
17	50,50	17	49,50
18	54,00	18	58,50
19	59,00	19	56,00
20	56,00	20	61,00
<b>Prom</b>	<b>56,65</b>	<b>Prom</b>	<b>55,35</b>
<b>OBSERVACIÓN: BOTELLAS LLENADAS EN LINEA CON BEBIDA GASEOSA</b>			

### CICLO 5

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	77,00	1	72,00
2	76,00	2	76,00
3	74,00	3	70,00
4	70,00	4	72,00
5	74,50	5	73,50
6	74,50	6	76,50
7	70,00	7	69,00
8	74,50	8	70,00
9	74,50	9	75,00
10	74,00	10	69,50
11	74,00	11	78,00
12	72,00	12	75,00
13	75,00	13	<b>74,50</b>
14	75,00	14	71,00
15	75,00	15	<b>71,00</b>
16	75,00	16	68,00
17	76,00	17	71,00
18	72,00	18	70,50
19	74,50	19	76,50
20	74,50	20	75,00
<b>Prom</b>	<b>74,10</b>	<b>Prom</b>	<b>72,70</b>

**OBSERVACION: TODAS LAS BOTELLAS FUERON LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA**

## CICLO 10

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	54,00	1	51,50
2	51,00	2	52,50
3	56,00	3	49,00
4	58,00	4	54,50
5	62,00	5	52,50
6	50,00	6	51,00
7	51,00	7	55,00
8	50,50	8	54,50
9	50,50	9	59,00
10	59,50	10	49,00
11	60,00	11	52,00
12	52,00	12	51,00
13	52,50	13	53,00
14	54,50	14	51,50
15	53,00	15	55,00
16	55,00	16	53,50
17	51,00	17	49,50
18	54,50	18	54,50
19	55,00	19	50,00
20	52,50	20	55,50
<b>Prom</b>	<b>54,13</b>	<b>Prom</b>	<b>52,70</b>

**OBSERVACIÓN: BOTELLAS LLENADAS EN LINEA CON  
BEBIDA GASEOSA**

### CICLO 15

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	70,00	1	61,50
2	61,00	2	65,00
3	65,00	3	64,00
4	71,00	4	62,50
5	62,00	5	66,50
6	68,00	6	64,00
7	68,00	7	69,50
8	56,00	8	62,00
9	72,00	9	67,50
10	62,00	10	65,50
11	64,00	11	64,00
12	42,00	12	67,50
13	68,50	13	67,60
14	65,00	14	69,00
15	68,00	15	66,50
16	45,00	16	62,00
17	49,00	17	65,50
18	64,00	18	68,00
19	69,00	19	67,00
20	63,00	20	65,50
<b>Prom</b>	<b>62,63</b>	<b>Prom</b>	<b>65,53</b>

**OBSERVACION: TODAS LAS BOTELLAS FUERON LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA**

## CICLO 20

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	59,50	1	62,00
2	58,50	2	63,00
3	58,50	3	61,00
4	60,50	4	65,00
5	55,50	5	54,50
6	60,00	6	59,50
7	57,50	7	53,50
8	55,50	8	60,00
9	57,00	9	60,00
10	59,00	10	57,00
11	56,50	11	56,00
12	59,50	12	60,00
13	62,00	13	62,00
14	57,50	14	59,50
15	57,50	15	58,00
16	65,50	16	65,50
17	68,00	17	62,00
18	56,00	18	65,00
19	65,00	19	54,00
20	53,50	20	53,50
<b>Prom</b>	<b>59,13</b>	<b>Prom</b>	<b>59,55</b>

**OBSERVACION: TODAS LAS BOTELLAS FUERON LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA**

## CICLO 25

PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-626		PRESION INTERNA ENVASES RESINA AF-621	
BOTELLA	PRESIÓN (PSI)	BOTELLA	PRESIÓN (PSI)
1	58,50	1	54,00
2	59,50	2	57,00
3	59,00	3	60,00
4	60,00	4	58,00
5	57,50	5	53,00
6	59,00	6	56,50
7	55,00	7	65,00
8	54,00	8	61,00
9	57,50	9	50,00
10	55,00	10	51,50
11	58,50	11	55,00
12	55,00	12	53,00
13	59,00	13	52,00
14	57,50	14	54,00
15	54,00	15	58,00
16	57,50	16	65,50
17	59,00	17	62,00
18	55,00	18	65,00
19	57,50	19	54,00
20	57,00	20	53,50
<b>Prom</b>	<b>57,25</b>	<b>Prom</b>	<b>56,90</b>

**OBSERVACION: TODAS LAS BOTELLAS FUERON LLENADAS CON SOLUCION CARBONATADA**

## APÉNDICE # 9 STRESS CRACKING

### CICLO 1

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## CICLO 5

<b>NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626</b>					
<b>BOTELLA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1		1			
2		1			
3		1			
4		1			
5		1			
6			1		
7			1		
8		1			
9			1		
10		1			
11		1			
12		1			
13		1	1		
14			1		
15			1		
16			1		
17		1			
18					
19			1		
20			1		
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621</b>					
<b>BOTELLA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1		1			
2		1			
3		1			
4		1			
5		1			
6		1			
7		1			
8			1		
9			1		
10			1		
11			1		
12		1			
13		1			
14		1			
15		1			
16		1			
17		1			
18		1			
19		1			
20		1			
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## CICLO 10

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1				1	
2				1	
3				1	
4				1	
5				1	
6					1
7					1
8					1
9				1	
10				1	
11				1	
12				1	
13				1	
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19				1	
20				1	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>8</b>
NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1				1	
2				1	
3					1
4					1
5					1
6					1
7				1	
8				1	
9				1	
10				1	
11				1	
12					1
13					1
14				1	
15				1	
16				1	
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

## CICLO 15

<b>NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626</b>					
<b>BOTELLA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

<b>NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621</b>					
<b>BOTELLA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

## CICLO 20

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

## CICLO 25

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-626					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

NIVELES DE STRESS CRACKING DE LOS ENVASES RESINA AF-621					
BOTELLA	A	B	C	D	E
1					1
2					1
3					1
4					1
5					1
6					1
7					1
8					1
9					1
10					1
11					1
12					1
13					1
14					1
15					1
16					1
17					1
18					1
19					1
20					1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

## APÉNDICE # 10 CARGA VERTICAL

RESISTENCIA A LA CARGA VERTICAL DEL ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-626 (≥ 536,08 Newtons)	
BOTELLAS	FUERZA APLICADA
1	875,94
2	860,23
3	861,21
4	867,1
5	901,47
6	848,44
7	900,49
8	898,53
9	868,14
10	870,2
11	796,4
12	865,14
13	852,37
14	876,92
15	945,66
16	917,18
17	842,55
18	875,94
19	875,94
20	902,45

RESISTENCIA A LA CARGA VERTICAL DEL ENVASE PET- RETORNABLE 2000ML RESINA AF-621 (≥ 536,08 Newtons)	
BOTELLAS	FUERZA APLICADA
1	1014,4
2	896,56
3	866,12
4	804,25
5	863,17
6	879,87
7	880,85
8	792,47
9	825,86
10	884,78
11	805,24
12	829,79
13	769,88
14	755,15
15	832,73
16	797,38
17	772,83
18	830,77
19	759,08
20	854,34

## BIBLIOGRAFÍA

1. Vincent,M., Álvarez,S. & Zaragoza,J. (2006). Ciencia y Tecnología de Polímeros. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. pp 11,27.
2. Billmeyer,F. (1975). Ciencia de los Polimeros. Barcelona: Reverte. pp 3,14,143,148,201,210,231,374-375.
3. Seymour,R. (1995). Introducción a la Química de los Polímeros. Barcelona: Reverte. Pp 7,21
4. Brescia, Frank y otros. (1977). Química. Nueva Editorial Interamericana S.A. D.F. México. 654p.
5. Vincent,M., Álvarez,S. & Zaragoza,J. (2006). Principales polímeros comerciales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. pp 11,27.
6. Odian, G., Principles of Polymerization, 3rd ed., J. Wiley, New York, 1991.
7. Brindis,E., (2002). Propiedades Básicas de los Polímeros. Octubre 10,2014, de Biblioteca Virtual de las Ciencias en Cuba Sitio web: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASHdff3.dir/doc.pdf>
8. Norma ASTM D2911 (1994). Standard specification for dimensions and tolerances for plastic bottles. Annual Book of American Standard Testing Methods.

9. Norma ASTM D4506 (1996) Standard test methods for determining the 24-hour gas (air) space acetaldehyde content of freshly blown PET bottles. Annual Book of American Standard Testing Methods.
10. Norma ASTM D2561 (1995) Standard test method for environmental stress-crack resistance of blow-molded polyethylene containers. Annual Book of American Standard Testing Methods.
11. Norma ASTM D2463(1995) Standard test method for drop impact resistance of blow-molded thermoplastic containers. Annual Book of American Standard Testing Methods.
12. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2047 (1996). Plásticos. Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos
13. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2043 (1996). Plásticos. Determinación de la resistencia a la rotura por tracción.
14. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2044 (1996). Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto de materiales plásticos rígidos
15. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1077(1987). Bebidas gaseosas. Muestreo
16. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1101 (1908). Bebidas gaseosas. Requisitos.

