

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE CO₂ EN BOTELLAS PET
(POLIETILENO TEREFALATO) EN LA PRODUCCION DE BEBIDAS
GASEOSAS”**

REALIZADO POR:

ANA KARINA PERDOMO GALLARDO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, Febrero de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE CO₂ EN BOTELLAS PET
(POLIETILENO TEREFTALATO) EN LA PRODUCCION DE BEBIDAS
GASEOSAS”**

ASESORES

Ing. Quím. Alexis Cova, M.Sc
Asesor Académico

Ing. Quím. Lohanna Mogollón
Asesor Industrial

Barcelona, Febrero de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“EVALUACIÓN DE LA RETENCIÓN DE CO₂ EN BOTELLAS PET
(POLIETILENO TEREFALATO) EN LA PRODUCCION DE BEBIDAS
GASEOSAS”**

Ing. Quím. Alexis Cova, M.Sc.

Asesor Académico

Ing. Quím. Yaneis Obando, M. Sc.

Jurado Principal

Ing. Quím. Héctor Silva, M. Sc.

Jurado Principal

Barcelona, Febrero de 2010

ARTÍCULO 41

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 41 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SOLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a mi bella madre; a ti Mireyita por ser la mejor madre de este mundo, por tenerme paciencia y por ser un apoyo enorme en toda mi vida. Gracias a ti soy lo que soy y tengo lo que tengo. A nadie más que a ti le dedico todos mis esfuerzos y mis logros, gracias por siempre estar ahí cuando me he caído, gracias por ser mi mejor amiga y por todo tu amor.

Aquí tienes mi viejita el sueño de tu vida, a tus tres hijos ingenieros. Te lo dedico con todo el amor del mundo.

Te amo mamá, y esto es para ti.

AGRADECIMIENTOS

En este momento tan especial de mi vida quiero agradecer:

Principalmente a Dios porque sin él no hubiese logrado todos mis triunfos, por ser esa luz en los momentos de dificultad y por ser mi gran compañero en cada paso que doy.

A mis padres Mireya y Antonio, por inculcarme importantes valores y ser ese pilar fundamental en mi educación, me enorgullezco de ser su hija.

A mis dos guardaespaldas, mis hermanos Ángel Luis y Antonio José por ser siempre mi gran ejemplo y apoyo en cada momento de mi vida.

A mi gran amor Rodolfo A. Silvagni por llenar mi vida de colores, porque además de mi novio eres mi mejor amigo y esa persona incondicional en mi vida. Te amo mi rey.

A mis tíos Acram, Olivetti, Enrique, Misley, Yanelis y Delmira, que siempre han estado pendientes de mí y han sabido aconsejarme.

A mis primos Patty y Roberto, a los cuales espero servirles de ejemplo, y a todos los demás primos que a pesar de la distancia siempre me han dado sus mejores palabras de apoyo.

A mis sobrinas Fabiola y Camila por llenar de alegría mi vida. Las quiero mucho.

A mis amigas Glorys, Anacary, Joana, Noelia y Johanna por ser un grupo excepcional y que sin ustedes todo hubiese sido muy aburrido. Son lo mejor.

A la gran Universidad de Oriente y a todos sus profesores por toda su dedicación a nuestra enseñanza, especialmente a mi profesor y asesor académico Alexis Cova por dedicarme un poco de su valioso tiempo en la orientación de este trabajo.

A mis compañeros pepsí, especialmente a Caleb, Gismar, Ángel, Armando y a todos los que siempre me brindaron una mano amiga.

A la Sra. Milagros Aray por confiar en mí y abrirme las puertas al mundo profesional. Que Dios la bendiga.

Y finalmente a todos los que creyeron en mí y a quienes pueda servir de apoyo y ejemplo.

RESUMEN

Para el estudio de la retención del CO₂ en botellas sopladas en Pepsi-cola de Venezuela, Planta Barcelona, se realizaron diversas pruebas y análisis. Entre ellas estuvieron, el análisis a las condiciones del proceso de soplado a cada tipo de resina utilizada en planta mediante las pruebas de perfil homogéneo de espesores y resistencia a la presión. Se aplicó la prueba de torque a las tapas de las botellas analizando el proceso mediante gráficos de control, así como también se realizaron los análisis de carbonatación a las muestras almacenadas a diferentes temperaturas (5°C, 20°C y ambiente) durante su período de vida útil de 10 semanas. Se logró observar una irregularidad en el soplado de las botellas con resina Jade a lo cual se le atribuyó la pérdida de CO₂ con valores fuera de los permitidos. Se destacó la normalidad en el proceso de soplado para botellas de resina Nanya. Se obtuvo de esta manera las bases para las propuestas creadas, dirigidas a la optimización de la producción y calidad de lo que es su producto referencial (*pepsi*). Para ello se tomó en cuenta trabajos realizados anteriormente y especificaciones establecidas por PepsiCo Internacional.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| ARTÍCULO 41 | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| RESUMEN | viii |
| CONTENIDO | ix |
| CAPITULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 PEPSI – COLA VENEZUELA, Planta Barcelona | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 2 |
| 1.3 Objetivo general | 4 |
| 1.4 Objetivos específicos | 4 |
| CAPITULO II | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Antecedentes | 6 |
| 2.2 Los polímeros | 7 |
| 2.2.1 Temperatura de transición vítrea (Tg) | 8 |
| 2.2.2 Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas | 10 |
| 2.2.3 Polímeros en la industria | 11 |
| 2.2.4 Viscosidad y tamaño molecular | 12 |
| 2.2.5 Cristalinidad | 13 |
| 2.2.6 Clasificación morfológica | 13 |
| 2.2.7 Polietileno tereftalato (PET) | 15 |
| 2.2.7.1 Preformas | 18 |
| 2.2.8 Cristalización del PET | 18 |
| 2.2.8.1 Cristalización por calor | 19 |
| 2.2.8.2 Cristalización por orientación | 20 |
| 2.2.9 Propiedades del polietileno tereftalato (PET) | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.2.10 Moldeo del polietilen tereftalato (PET)..... | 25 |
| 2.2.10.1 Tipos de moldeos..... | 26 |
| 2.3 Control de calidad..... | 30 |
| 2.3.1 Gráficos de control | 30 |
| 2.4 Análisis estadístico | 32 |
| 2.4.1 Muestreo estadístico | 33 |
| 2.4.2 Medidas de tendencia central..... | 35 |
| 2.4.3 Medidas de dispersión | 38 |
| 2.5 Descripción del proceso de producción en línea 5 (PET) desde el soplado del envase hasta el despacho del producto al mercado | 42 |
| 2.5.1 Soplado | 42 |
| 2.5.2 Etiquetado..... | 44 |
| 2.5.3 Mezclado | 45 |
| 2.5.4 Llenado y tapado | 45 |
| 2.5.5 Embalaje | 47 |
| CAPITULO III | 48 |
| DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 48 |
| 3.1 Procedimiento experimental | 48 |
| 3.1.1 Prueba de perfil homogéneo de espesores | 48 |
| 3.1.1.1 Procedimiento experimental | 48 |
| 3.1.2 Prueba de resistencia a la presión (Burt Test) | 50 |
| 3.1.2.1 Procedimiento experimental | 50 |
| 3.1.3 Determinación del torque en la tapa plástica..... | 51 |
| 3.1.3.1 Procedimiento experimental | 51 |
| 3.1.4 Carbonatación: método de agitación manual..... | 52 |
| 3.1.4.1 Procedimiento experimental | 53 |
| 3.2 Tablas de datos | 55 |
| 3.3 Muestra de cálculo..... | 59 |
| 3.3.1 Prueba de perfil homogéneo de espesores | 59 |

| | |
|---|----|
| 3.3.3 Prueba de resistencia a la presión | 61 |
| 3.3.3 Construcción de un gráfico de control para el análisis de torque | 62 |
| 3.3.4 Carbonatación: método de agitación manual..... | 65 |
| CAPITULO IV | 68 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 68 |
| 4.1 Análisis de medición de espesores y resistencia a la presión de las botellas plásticas para cada tipo de resina..... | 68 |
| 4.2 Análisis estadístico de los valores obtenidos en la prueba de torque en las tapas plásticas del envase | 74 |
| 4.3 Análisis mediante graficas del comportamiento del CO ₂ retenido en las bebidas gaseosas ya envasadas con respecto al tiempo de análisis y sus condiciones de almacenamiento..... | 78 |
| CAPITULO V..... | 85 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 85 |
| 5.1. Conclusiones..... | 85 |
| 5.2. Recomendaciones | 86 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 88 |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO | 90 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PEPSI – COLA VENEZUELA, Planta Barcelona

La empresa Pepsi-cola de Venezuela C.A. se inicia desde el año 1948, cuando por medio de una asociación de los señores José Díaz y Juan Viera inician un negocio de bebidas gaseosas, el cual tuvo por nombre Embotelladoras Golden Cup C.A., ubicada en Los Teques estado Miranda. Amplía sus actividades productivas con la apertura de la nueva planta en Villa de Cura, estado Aragua. La Embotelladora Golden Cup C.A. para diversificar mas sus actividades y como una oportunidad de incursionar en la industria refresquera pasa a ser parte de la Organización Empresas Polar en el año de 1993 adquiriendo ésta el total de las acciones. Pero es a finales de 1996 cuando esta organización comienza a desarrollarse fuertemente gracias a su asociación con Pepsico Internacional quien adquiere un treinta por ciento de las acciones, es ahí cuando aparece por primera vez el nombre de Pepsi-cola de Venezuela C.A ¹.

Entre las diversas unidades que conforman la estructura de Empresas Polar se encuentra la Unidad Estratégica de Negocios de Refrescos y Bebidas Funcionales (UENRBF), donde se encuentra Pepsi-cola de Venezuela. Esta unidad tiene en su área corporativa una Dirección Nacional de Ventas, una Dirección Nacional de Manufactura, una Dirección Nacional de Administración, una Gerencia Nacional de Recursos Humanos, una Gerencia Nacional de Mercadeo, una Gerencia Nacional de Informática, una Gerencia de Bebidas No-Carbonatadas, una Gerencia del Proyecto Botellón y una Gerencia de Proyectos Especiales. La UENRBF opera cuatro plantas propias, tres de las cuales producen refrescos: Caucagua, Villa de Cura y Maracaibo;

además, en la planta de San Pedro de los Altos se envasa el agua mineral Minalba. Jurídicamente todas se agrupan en Pepsi-cola Venezuela. Cada planta productora atiende una zona con sus respectivas agencias. Adicionalmente, esta unidad estratégica refuerza su capacidad con varias plantas independientes productoras de refrescos. La Embotelladora Terepaima ha venido respaldando las operaciones en la región centro-occidental, mientras que en la zona oriental se suma el volumen que produce la planta donde Empresas Polar realizó una inversión independiente, en terrenos de Cervecería Polar de Oriente; Pepsi-cola de Venezuela, Planta Barcelona.

Pepsi-cola de Venezuela C.A. Planta Barcelona, está ubicada en las instalaciones de Cervecería Polar, Planta Oriente; en la Carretera Negra Km. 15, sector Ojo de Agua, vía Naricual. Inició sus operaciones el 30 de Octubre de 1998. En la actualidad maneja tres líneas de producción (línea 2, línea 4 y línea 5) con la versatilidad para envasar tanto Pepsi (producto referencial) como 7 Up y sabores Golden, todas en diferentes presentaciones, divididas de la siguiente manera: por la línea 4 (botella retornable) se producen las presentaciones de 266 ml y 350 ml; mientras que por las líneas 2 y 5 (botella no retornable) se produce la presentación de 1,5 litros, con un plan de producción mensual de aproximadamente un millón de cajas en las diferentes presentaciones y sabores pero solo entre las líneas 4 y 5. La línea 2 se encuentra en pruebas de ajuste para su posterior arranque de producción.

1.2 Planteamiento del problema

Pepsi-cola de Venezuela C.A., Planta Barcelona es una empresa encargada de la producción de bebidas gaseosas, en el proceso de llenado, distribución, procesos físicoquímicos, microbiológicos y aseguramiento de la calidad. El área de producción de la línea 5 (botella no retornable) se encarga del envasado del producto en botellas plásticas de 1,5 litros, iniciándose este proceso con el soplado de las preformas para

la creación de este envase. Posteriormente son llevadas a la etiquetadora, luego a la máquina enjuagadora, por último a la llenadora en donde también son tapadas para organizarlas, envolverlas, paletizarlas y finalmente llevarlas a los centros de distribución al consumidor.

Dentro de todo el proceso de producción se encuentra un área fundamental, la unidad de Aseguramiento de la Calidad, donde se realiza el monitoreo de calidad del producto. Es en esta área donde se realizan análisis constantes a la producción de bebidas gaseosas para verificar que se estén cumpliendo los estándares de calidad establecidos por PepsiCo Internacional. Esta unidad opera en el laboratorio de la planta, donde no solo se realizan las pruebas de calidad a los insumos que se utilizan (agua, CO₂, preformas, azúcar, etc.), intermedios (jarabe simple, jarabe terminado) y productos terminados, sino también análisis al envase plástico previamente soplado. Una de todas estas pruebas consiste en la verificación de los niveles de CO₂ en las bebidas gaseosas para cumplir con los estándares de PepsiCo Internacional.

Por ser el CO₂ el contribuyente principal al perfil sensorial (sabor y apariencia) de bebidas gaseosas, éste estimula al consumidor a percibir la bebida como refrescante, es por ello que Pepsi-cola de Venezuela, planta Barcelona, sigue incursionando en los análisis de los niveles de retención de CO₂ en las bebidas, pero esta vez basándose en el estudio de las condiciones actuales de soplado para cada tipo de resina PET que se utiliza para la elaboración de las botellas plásticas de 1,5 litros en planta, ya que son estos niveles la condición más importante desde el punto de vista de calidad a la cual se le mantiene frecuentemente un riguroso seguimiento para descartar así cualquier inconveniente en el proceso.

Para ello se realizó un análisis a las bebidas gaseosas ya envasadas para verificar la capacidad de éstas de retener el CO₂ durante su vida útil, tomando muestras para las diferentes resinas PET suministradas a la empresa y sometiéndolas

a las diferentes condiciones de temperatura de almacenamiento a las que son expuestas, aplicándoles análisis de calidad. De igual forma se estudió el proceso de elaboración del envase mediante soplado y la resistencia de éstos, verificando frecuentemente las variables de producción de las botellas.

Tomando como referencia los estudios realizados en el 2006 por Mogollón², se busca comprobar las mejoras aplicadas al proceso desde ese año hasta la actualidad de acuerdo a sus recomendaciones. De igual forma, tomando en cuenta las especificaciones establecidas por PepsiCo Internacional, para asegurar que las condiciones del proceso se ubiquen dentro de un buen rango tanto de producción como de calidad y así asegurar que Pepsi-cola de Venezuela, planta Barcelona brinda al consumidor el mejor producto en bebida gaseosa del mercado.

1.3 Objetivo general

Evaluar la retención de CO₂ en botellas PET (polietileno tereftalato) en la producción de bebidas gaseosas.

1.4 Objetivos específicos

1. Medir los parámetros de interés en calidad de soplado (espesores y resistencia a la presión) en las botellas plásticas para cada tipo de resina.
2. Estudiar mediante métodos estadísticos los valores arrojados en la prueba de torque en las tapas plásticas del envase.

3. Analizar mediante graficas el comportamiento del CO₂ retenido en las bebidas gaseosas ya envasadas con respecto al tiempo de análisis y sus condiciones de almacenamiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para el año 2006 Mogollón², realizó un estudio para establecer el período de vida útil en botellas plásticas producidas en Pepsi-cola de Venezuela, Planta Barcelona, donde se practicaron diferentes muestreos durante doce semanas. Sin embargo las pérdidas de CO₂ seguían siendo superiores a los valores permitidos, por lo cual a lo largo del estudio se realizaron modificaciones al proceso de producción con la finalidad de mejorar la retención de CO₂ en las botellas. Entre esta modificación se encuentra la disminución en 10% de la temperatura de soplado, en 50% de la temperatura de refrigeración de los moldes y un aumento del 5% al estándar del volumen de carbonatación de la bebida terminada. Establecidas estas modificaciones y realizados los análisis estadísticos, se determinó que el período de vida útil representativo para Planta Barcelona es de 49 y de 42 días en las presentaciones de 1,5 L y 2,0 L, respectivamente.

Un estudio realizado por Packaging Systems & Enterprises Inc.³ (2004), determinó el tiempo necesario para que las botellas plásticas PET en presentaciones de 1,5 y 2,0 litros, diseño Carolina; disminuyeran el 16% de volumen de CO₂ con respecto al volumen contenido en las mismas desde su producción. Las muestras fueron corridas usando un diseño especial de célula de botella de aluminio conectado a un MoCon C-IV para pruebas de anhídrido carbónico o carbonatación. Los resultados que se obtuvieron calculando un tiempo para que el 16% de pérdida de CO₂ ocurriera fue de 73 días para la presentación de 1,5 litros y de 84 días para la presentación de 2 litros para muestras llenas a 4,2 V.G (volúmenes de gas).

Döhler⁴ (2004), desarrolló un método especial en tiempo real donde fueron analizadas botellas PET multicapa de la empresa Amcor PET Packaging y como estándar de comparación se empleó una botella de vidrio y una botella de PET monocapa; los ensayos tuvieron una duración de 6 a 12 meses. Las botellas ensayadas contenían una bebida isotónica de toronja-limón con un contenido de jugo de 6 por ciento y componentes tales como vitaminas y minerales. Durante el ensayo la temperatura fue constante. En el ensayo se analizaron mediante un diagrama de tiempo los parámetros color, degradación de la vitamina C, pérdida del CO₂ y lo más importante: las propiedades sensoriales. Todas las botellas fueron de 0,5 litros y las 4 botellas de PET pesaron respectivamente 28 g. Las botellas multicapa estudiadas obtuvieron resultados comparables al vidrio en cuanto a estabilidad del sabor y del color. Entre vidrio y PET siguen existiendo diferencias en cuanto a la pérdida de CO₂, una posterior optimización de la botella y de la tapa podría lograr mejoras significativas. Para una caducidad superior a los 6 meses determinaron necesario efectuar ulteriores estudios.

2.2 Los polímeros

Se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas, donde en algunos casos la repetición es lineal, de forma semejante a una cadena la forman sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas formando retículos tridimensionales. La longitud de la cadena del polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena. A esto se llama grado de polimerización. Su clasificación se basa en el mecanismo por el cual se unen estructuras monómeras o en las condiciones experimentales de reacción, entre ellas se tienen:

- a. Polimerización por adición:** como ejemplo entre éstas se encuentran la adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura del doble enlace sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización del tipo vinilo) y por otro lado la adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura de un anillo sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización tipo epóxi).
- b. Polimerización por condensación:** entre éstas se encuentra la formación de poliésteres, poliamidas, poliéteres, polianhídridos y otros, por eliminación de agua o alcoholes, con moléculas como ácidos o glicoles, diamínas, diésteres entre otros. También abarca la formación de polihidrocarburos, por eliminación de halógenos o haluros de hidrógenos, con ayuda de catalizadores metálicos o de haluros metálicos.

2.2.1 Temperatura de transición vítrea (Tg)

Es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos, por lo que se encuentra en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. Esto quiere decir que, en términos termodinámicos, no es propiamente una transición. La Tg se puede entender de forma bastante simple cuando se observa que a esa temperatura el polímero deja de ser rígido y comienza a ser blando. Se entiende que es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material. Por debajo de Tg, el material es un sólido vítreo de gran rigidez. La única deformación posible se debe al estiramiento y doblamiento de los enlaces covalentes que unen a los átomos en la cadena, y al estiramiento de los enlaces intermoleculares. Esta deformación no es permanente ni muy pronunciada.

A temperaturas superiores a T_g , la deformación es más extensa y más dependiente del tiempo, porque las moléculas ya tienen mayor libertad y cambian continuamente su forma y hasta cierto punto su posición. La aplicación del esfuerzo tiende a orientar a las moléculas en favor de que estas adopten configuraciones que tiendan a generar trabajo entre ellas. Por ejemplo, un esfuerzo de tensión extiende a las moléculas y las orienta en la dirección del esfuerzo aplicado porque así se produce una elongación de la muestra. Este comportamiento es específico de polímeros termoplásticos y no ocurre en polímeros termoestables. Si la temperatura es mayor, pero muy cercana a T_g , la deformación es prácticamente reversible y se debe al reordenamiento de segmentos cortos de las cadenas. Todos los polímeros termoplásticos presentan una T_g , ya sean amorfos o semicristalinos, se presentan algunos ejemplos en la *tabla 2.1*. Los polímeros amorfos al calentarse presentan solo una transición, la T_g . Los polímeros semicristalinos presentan dos, la T_g y la temperatura de fusión de los cristales (T_m).⁵

Tabla 2.1 Temperatura de transición vítrea y temperatura de fusión de polímeros comunes.

| Polímero | Tg °C | Tm °C |
|--|-----------|-------|
| <u>ABS</u> | 110 | 190 |
| <u>Poliacetal</u> | -85 | 175 |
| <u>Nylon 6</u> | 50 | 225 |
| Nylon 6,6 | 50 | 260 |
| Nylon 6,10 | 40 | 215 |
| Nylon 11 | 45 | 185 |
| <u>Poliacrilonitrilo</u> | 87 | 320 |
| <u>Polibutadieno</u> | -121 | - |
| <u>Policarbonato</u> | 152 | 225 |
| <u>Policloruro de vinilideno</u> | -20 | 215 |
| <u>Policloruro de vinilo</u> | 80 | 205 |
| <u>Poliestireno táctico</u> | 100 | 235 |
| <u>Poliéter</u> | - | 235 |
| <u>Polietileno PEAD</u> | -35 - 120 | 135 |
| Polietileno PEBD | -35 - 120 | 105 |
| <u>Politereftalato de etileno (PET)</u> | 75 | 260 |
| <u>Polimetilmetacrilato</u> | 60 | 165 |
| Polipropileno | -15 - -25 | 160 |

Fuente: Mathot V. B.F.

2.2.2 Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas

Muchas propiedades físicas tales como la volatilidad, la viscosidad, tensión superficial, miscibilidad y solubilidad son determinadas en gran parte por las fuerzas intermoleculares.

La energía cohesiva es la energía total necesaria para trasladar una molécula de un líquido o sólido a una posición alejada de sus vecinas. La energía cohesiva por unidad de volumen, llamada algunas veces energía cohesiva específica o densidad de energía cohesiva, y su variación con la estructura molecular, ilustran los efectos de las fuerzas intermoleculares sobre las propiedades físicas de la materia. En ausencia de enlaces cruzados primarios, son las fuerzas intermoleculares las que proporcionan las

restricciones sobre el movimiento molecular. Si estas fuerzas son pequeñas y la energía cohesiva es baja, y las moléculas tienen cadenas relativamente flexibles, ceden fácilmente a las tensiones aplicadas. Densidades de energía cohesiva (*tabla 2.2*) algo superior acompañadas en algunos casos por grupos laterales voluminosos, son características de los plásticos típicos. Si la energía cohesiva es aun más elevada, el material muestra la alta resistencia a la tensión, elevada resistencia física y buenas propiedades mecánicas.⁶

Tabla 2.2 Densidades de energía cohesiva de polímeros lineales.

| Polimeros | Densidad de energía cohesiva cal/cm ³ |
|------------------------------|--|
| Poletileno | 62 |
| Poliisobutileno | 65 |
| Poliisopropeno | 67 |
| Poliestireno | 74 |
| Poli(acetato de vinilo) | 88 |
| Poli(cloruro de vinilo) | 91 |
| Poli(tereftalato de etileno) | 114 |

Fuente: Billmeyer, F.

2.2.3 Polímeros en la industria

Los polímeros son líquidos sub-enfriados, es decir materiales que a temperatura ambiente presentan características típicas de sólidos y de líquidos. Cuando se someten a fuerzas externas se deforman elásticamente de forma tal que cuando la fuerza deja de actuar el polímero toma su forma original, pero si la fuerza actúa durante mucho tiempo, la deformación es permanente (deformación plástica) debido a que el material es fluido al igual que un líquido. Usualmente cuanto mayor es el peso molecular del polímero, mejores son sus propiedades mecánicas, excepto la

flexibilidad, ya que cadenas moleculares de mayor tamaño hacen que el material tienda a ser más rígido, disminuyendo su resistencia al impacto. Como ejemplo de polímeros en la industria se encuentra el poliuretano, polipropileno, PVC, PET, polietileno, entre otros.⁷

2.2.4 Viscosidad y tamaño molecular

La viscosidad intrínseca de los polímeros está relacionada con el peso molecular. La utilidad de la viscosidad de una disolución como medida del peso molecular de un polímero, ha sido demostrada por Staudinger⁶ en sus primeros trabajos. La viscosidad de una solución es básicamente la medida del tamaño o extensión en el espacio de las moléculas de un polímero. Esta se relaciona empíricamente con el peso molecular para polímeros lineales. Las predicciones de Staudinger de que la viscosidad reducida de un polímero es proporcional a su peso molecular ha necesitado solo una ligera modificación: la viscosidad intrínseca ha sido sustituida por la viscosidad reducida y se ha admitido que es proporcional a una potencia del peso molecular un poco menor a 1. La relación se expresa con la *ecuación 2.1*:

$$[\eta]=k' M^a \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde k' y a son constante que se determinan a través de una representación doble logarítmica de la viscosidad intrínseca frente al peso molecular y éstas dependen de los disolventes así como del tipo de polímero. Normalmente se encuentra que tales representaciones son líneas rectas dentro del error experimental en un intervalo amplio de las variables. Esta relación empírica entre viscosidad y peso molecular es válida solo para polímeros lineales.⁵

2.2.5 Cristalinidad

Es el grado de ordenamiento que tienen las cadenas del polímero dentro de su estructura molecular. Ningún plástico es 100 % cristalino, además los así llamados cristales son muy diferentes a los cristales de productos inorgánicos o minerales. Es fundamental que para la cristalización de un polímero se tenga una estructura geoméricamente regular o bien, que cualquier átomo o grupo sustituyente en la cadena principal sea lo bastante pequeño para que, si están irregularmente espaciados, puedan todavía encajar dentro de una estructura ordenada en virtud de su pequeño tamaño.

2.2.6 Clasificación morfológica

Hay tres tipos básicos de polímeros, según sus características morfológicas:

- A. Polímeros amorfos: son aquellos polímeros cuyo estado de menor energía es aquel que tiene sus cadenas moleculares completamente distribuidas al azar y permanecen en esas condiciones cualquiera que sea la temperatura. Estos polímeros no suelen formar ordenamientos cristalinos. Si se visualizara una imagen amplificada de las cadenas moleculares en un material amorfo se observa que su distribución es similar a la que tienen los tallarines cocidos en un plato de *spaghetti*, donde cada molécula está en una dirección cualquiera y no existe dirección privilegiada (*figura 2.1*). Una característica de los materiales amorfos es que no tienen un punto de fusión bien definido sino que se van haciendo más blandos a medida que la temperatura aumenta. Ejemplos de este tipo de polímeros son el policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y el policarbonato (PC).

- B. Polímeros cristalinos o semi-cristalinos: En este tipo de polímero una porción de las cadenas moleculares tienden a asociarse de una manera muy ordenada para formar estructuras similares a los cristales y es prácticamente imposible evitar que así lo hagan durante el enfriamiento desde su estado fundido. Los polímeros cristalinos se conocen también como semi-cristalinos ya que sólo un limitado porcentaje de sus moléculas pueden agruparse en distribuciones ordenadas. Se caracterizan por tener un punto de fusión bastante definido al que se denomina "punto de fusión cristalino". Ejemplos de este tipo de polímeros son el tereftalato de polibutileno y el polietileno lineal (LPE).
- C. Polímeros cristalizables: A este tipo pertenece el PET. Estos polímeros se caracterizan porque se los puede obtener en estado amorfo o cristalino y cambiar de un estado al otro variando la temperatura y demás condiciones operativas en los procesos de producción.

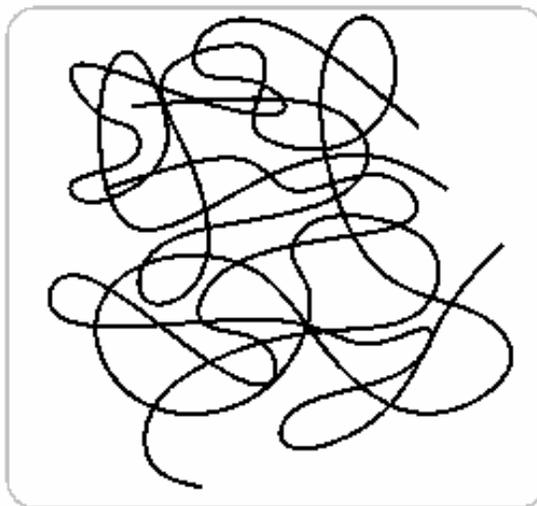


Figura 2.1 Forma ilustrativa de un polímero amorfo. Fuente: Operaciones PET/Pepsi Sacbu

2.2.7 Polietileno tereftalato (PET)

El PET (polietileno tereftalato) fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickinson en 1941 y comercializado por primera vez en 1953, siendo inicialmente utilizado en la industria textil y luego para envolturas como película plástica. Es un termoplástico de alta resistencia a la presión interna y al impacto, de excelente claridad y baja permeabilidad a los gases, lo que lo convierte en un material especialmente idóneo para el uso en la producción de envases para bebidas carbonatadas, 100% reciclable y con posibilidades de desplazar a otros materiales como por ejemplo, el PVC. Se produce a partir del *ácido tereftálico* y *etilenglicol*, que reúnen las características ideales para una reacción gradual, llamada poli-condensación. En la *figura 2.2* se muestra el esquema de la producción del PET.

Químicamente el PET es un poliéster; palabra compuesta por el término "poli" que significa "muchos o más de uno" y "éster" que designa a un compuesto orgánico, formado cuando un ácido reacciona con un alcohol. Por lo tanto poliéster significa "muchos ésteres". Cuando se desea obtener un poliéster compuesto donde muchas unidades éster se encuentran unidas se debe utilizar un alcohol y un ácido que tengan más de un grupo reactivo o lugar donde producir los enlaces. En el caso específico del PET se usan componentes con dos grupos reactivos; el alcohol utilizado es el "etilenglicol" (EG) el que se combina con el ácido dibásico tereftálico (TPA).

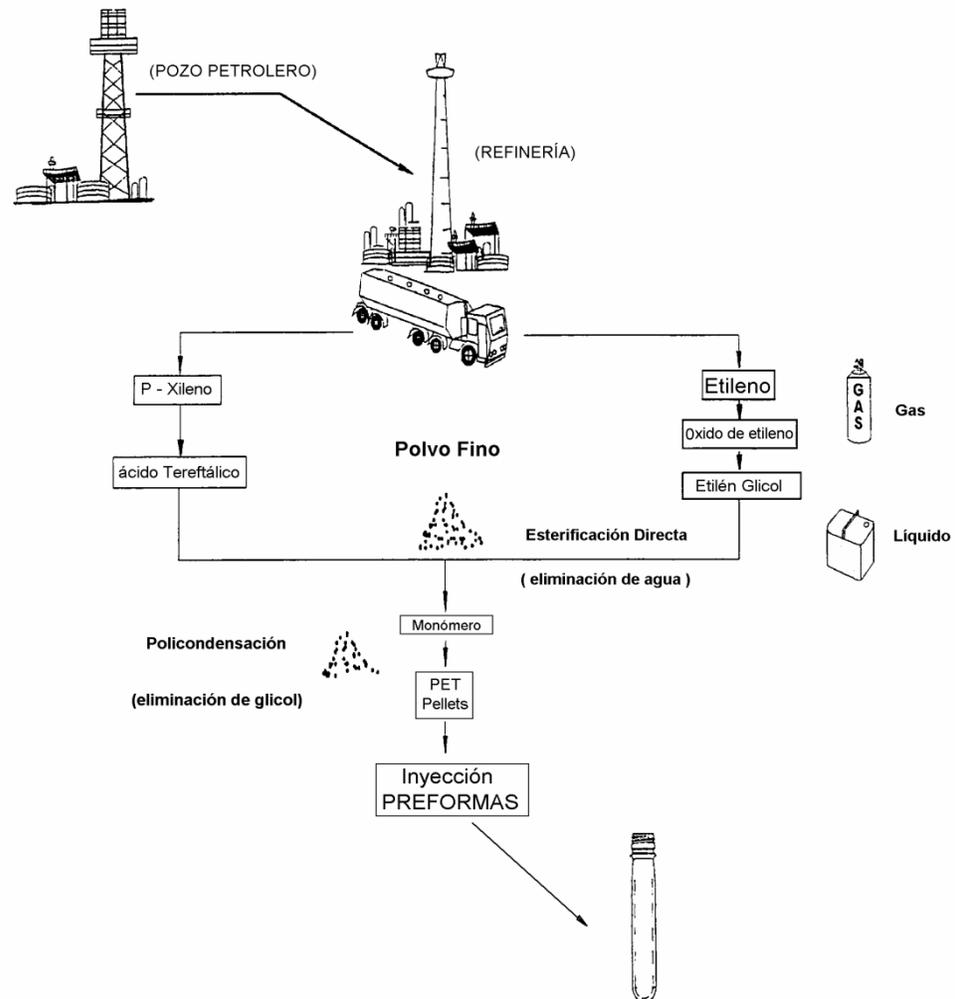


Figura 2.2 Fabricación del PET. Fuente: Operaciones PET/Pepsi Sacbu

El EG y el TPA se unen a través de una reacción llamada esterificación representada en la *figura 2.3*, dando origen a un monómero (éster tereftálico) el cual a su vez se policondensa para generar un polímero de alto peso molecular (aproximadamente 10.000 g/mol) llamado PET.

El término “polímero” deriva del griego y significa “muchas unidades”. Cuando se habla de polietilén tereftalato se hace referencia a largas cadenas moleculares donde el eslabón básico o monómero, es el éster entre el etilenglicol y el ácido ftálico (etilentereftalato).⁷

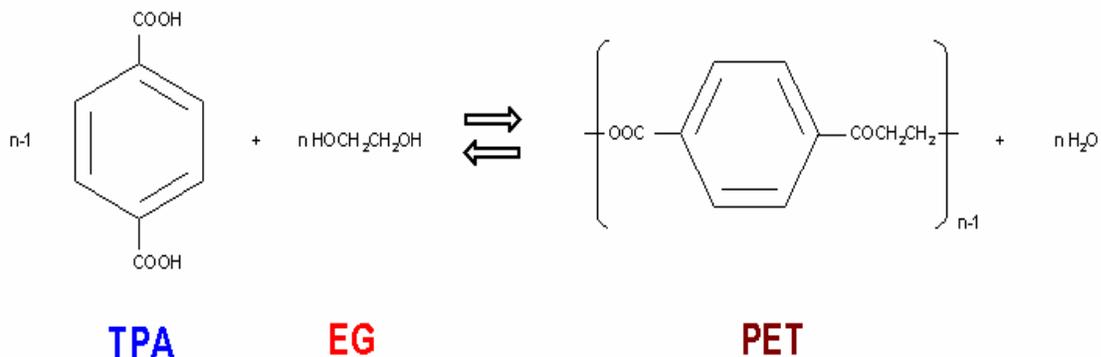


Figura 2.3 Acido tereftálico (TPA) + Etilenglicol (EG) -- Ester tereftálico + Agua.
Fuente: Operaciones PET/Pepsi Saccbu

La policondensación ocurre en presencia de catalizadores (metales pesados) y por acción del calor, el éster tereftálico se combina consigo mismo para formar un poliéster, el tereftalato de polietileno o PET. La reacción química se efectúa en dos etapas, conocidas como fase fundida y fase sólida. Para la fase fundida se trabaja en reactores especiales y dura varias horas en donde se forman cadenas moleculares de polímeros por la unión de 80-100 unidades de éster. Al finalizar esta etapa, el material no tiene aún la integridad ni la resistencia química necesaria para su uso en la fabricación de envases, su viscosidad intrínseca es muy baja aún (aproximadamente 0,6 dl/g). El proceso en fase sólida dura entre 12 y 20 horas de acuerdo a la viscosidad intrínseca (VI) deseada para el producto final. Durante ese tiempo de residencia los granos actúan como pequeños reactores donde continúa la polimerización aumentando la longitud promedio de las cadenas del poliéster y su

peso molecular hasta tener 200 ó 250 unidades de monómero. En el caso de PET, en esta etapa, la viscosidad intrínseca sube de 0,60 a 0,80 dl/g, mejorando la capacidad de moldeo del material y liberando componentes indeseables para la bebida como el caso del acetaldehído.

2.2.7.1 Preformas

Son recipientes en forma cilíndrica que presentan una rosca definitiva para ser posteriormente tapadas. Las preformas son fabricadas en equipos de inyección. Esta fabricación consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad de un molde hasta llenarlo, donde una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con alta transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de buena calidad. En el *anexo E* se muestra un ejemplo de preforma con las características respectivas para la obtención de botellas de 1,5 litros de capacidad.

2.2.8 Cristalización del PET

Los niveles de cristalinidad del PET están comprendidos entre el 0 y el 60% en peso y varían según la temperatura a la que se somete el material y las velocidades de enfriamiento o calentamiento. Si se observa la estructura molecular de un grano de PET con una cristalinidad del 50 % (*figura 2.4*), se observaría que la mitad de la masa presenta sus cadenas moleculares fuertemente unidas unas a otras en una estructura altamente ordenada y compacta llamada dominio cristalino, la cual a su vez se encuentra inmersa en una matriz formada por el otro 50% de material que permanece en el estado amorfo.

En la medida que las moléculas se acercan más y más durante la formación de cristales, alcanzan un estado de menor energía liberando calor y haciéndose más estables y resistentes a efectos mecánicos, químicos y térmicos. La energía liberada como calor durante la cristalización debe ser restituida si se desea destruir los cristales formados durante el enfriamiento, de ello resulta que se necesita mucho más calor para fundir o ablandar PET en estado cristalino que si está en estado amorfo. Hay dos maneras de formar cristales de PET (estructuras moleculares altamente ordenadas), la más simple es por calor y la segunda es por orientación. Las propiedades finales del material obtenido por los dos métodos son muy diferentes.

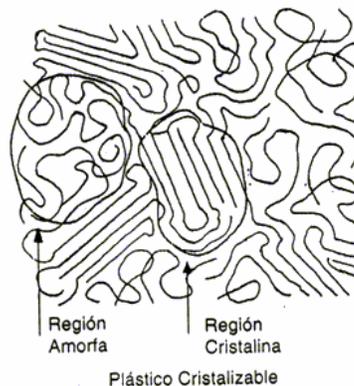


Figura 2.4 Estructura molecular del PET con un 50% de cristalinidad. Fuente: Operaciones PET/Pepsi Sacbu

2.2.8.1 Cristalización por calor

Cuando se cristaliza PET amorfo por calor solamente, se forman cristales grandes, denominados esferulitas, que refractan la luz y hacen que el polímero aparezca de color blanco. Estos cristales son duros pero quebradizos, por lo que el material en este estado (llamado vulgarmente estado cristalino del PET) tiene poca aplicación para la industria.

2.2.8.2 Cristalización por orientación

Se puede promover la formación de cristales por el proceso de orientación. Esto une dos fenómenos que explican el óptimo comportamiento del PET como material para fabricar envases (cristalización y orientación). Orientación es el proceso por el cual se logra estirar y alinear las cadenas moleculares, alcanzando estructuras altamente ordenadas de tipo cristalino. Ya que la orientación y la cristalización actúan conjuntamente, cabe destacar que, como el PET tiende naturalmente a cristalizar, sus moléculas se resisten a ser orientadas por estiramiento y permanecen en esas condiciones, por lo que es necesario encontrar un medio adecuado para bloquearlas en ese estado. Para poder orientarlas es necesario calentar el material hasta una cierta temperatura en la que la orientación es posible y luego enfriarlo para reducir la movilidad de las moléculas congelando el equilibrio. En el proceso es necesario controlar tanto la temperatura como la velocidad del enfriamiento. Los cristales obtenidos en estas condiciones, se denominan "cristales inducidos por deformación", son diferentes a las esferulitas producidas por calor y son tan pequeños que no refractan la luz. El PET orientado presenta un aspecto totalmente claro y transparente igual que en el estado amorfo, y a su vez presenta mejoras sustanciales en lo que se refiere a resistencia mecánica, resistencia química, resistencia al calor y propiedades de barrera al CO₂. En la *tabla 2.3* se ilustran algunas propiedades en los diferentes estados del material.

Tabla 2.3 Comparación de propiedades del PET por estado del material.

| Propiedad | Estado AMORFO | Estado ORIENTADO | Estado CRISTALINO |
|---------------------------|---------------|------------------|-------------------|
| Apariencia | Transparente | Transparente | Blanco opaco |
| Resistencia a la tensión | Moderada | Alta | Baja |
| Resistencia al impacto | Moderada | Alta | Baja |
| Fragilidad | Baja | Baja | Alta |
| Plasticidad | Alta | Baja | Baja |
| Estabilidad térmica | Moderada | Baja | Alta |
| Vol. libre intermolecular | Alto | Bajo | Bajo |

Fuente: Operaciones PET/Pepsi Sacbu

En la cristalización por orientación se habla de mono-orientación y bi-orientación, donde:

- a. **Mono-orientación:** Cuando se producen fibras de poliéster como las que se usan en la industria del tejido, se parte de un material PET muy similar al que se usa para fabricar botellas pero en este caso la viscosidad intrínseca es menor que 0,75 dL/gr. El material es extrudado a alta temperatura y enfriado rápidamente para tenerlo en el estado amorfo, finalmente es recalentado y orientado por estiramiento hasta una longitud diez veces la longitud original. Este proceso induce a las cadenas moleculares a "alinearse" en una dirección paralela a la del estiramiento. Como se ha estirado en una sola dirección se conoce como material mono-orientado.

- b. **Bi-orientación:** en este caso se parte de un material extrudado en una matriz plana, que se enfría rápidamente para tener una película de material en estado amorfo, la misma se recalienta luego y se estira en dos direcciones, una axial y otra transversal a la máquina sopladora. De esta manera obtenemos un material donde hay cadenas moleculares orientadas en la dirección de la máquina y otras a través de la misma. Controlando el grado de estiramiento en cada dirección se controla la cantidad de orientación. Como se ha estirado en dos direcciones se conoce como material bi-orientado.

2.2.9 Propiedades del polietilen tereftalato (PET)

Entre las propiedades más relevantes del polietilen tereftalato que deben ser controladas perfectamente, ya que sus ventajas principales pueden ser destruidas, se tiene:

- a. **Viscosidad intrínseca (V.I.):** esta es una medida indirecta del peso molecular, es decir, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero. La viscosidad intrínseca debe ser de unos $0,81 \pm 0,02$ dl/g como se indica en la *tabla 2.4*, lo que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular, la cual bajo condiciones controladas de secado y moldeo no debe existir una pérdida de viscosidad mayor de 0,03 dl/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un deterioro en la transparencia de la preforma debido a un incremento en la velocidad de cristalización, acarreado la pérdida de las propiedades mecánicas del envase, particularmente la resistencia al impacto y el soporte de la carga vertical aplicada en el proceso de tapadura. Una segunda causa de la caída de la

viscosidad intrínseca es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. De ahí que se debe emplear un perfil de temperatura de moldeo y velocidades de corte lo más suave posible que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión

- b.** Generación mínima de acetaldehído (CH_3CHO): es un líquido volátil incoloro con un punto de ebullición de aproximadamente $20,8^\circ\text{C}$ y que se distingue por su olor a frutas. Precisamente por su olor característico, el acetaldehído ha sido empleado con mucha frecuencia en la industria alimenticia como un saborizante. Este se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión del PET. Durante la fabricación del polímero la concentración de acetaldehído se controla hasta un máximo de 2 ppm. Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El acetaldehído se genera por la degradación térmica de las moléculas de PET mientras se encuentra en estado de fusión, por lo que tiene una relación directa con la historia térmica del polímero.

Tabla 2.4 Propiedades físicas y químicas del PET.

| PROPIEDAD | VALOR Y UNIDAD |
|-----------------------|------------------------------------|
| Punto de fusión | 260°C <i>aprox.</i> |
| Densidad | $1,40\text{ g/cm}^3$ <i>aprox.</i> |
| Viscosidad intrínseca | 0.81 ± 0.02 dl/g |
| Acetaldehído | $< 1,5$ ppm |
| Conductividad térmica | $0,21$ w/km K |

Fuente: APREPET A.C

- c. Transparencia máxima de la preforma: está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero. Como se muestra en la *tabla 2.3*, el PET es transparente cuando presenta una estructura molecular amorfa y será opaco cuando esté cristalizado. En la *figura 2.5* se explica que en el punto más alto de la curva de cristalización, alrededor de 175°C, el PET alcanza un grado visible de cristalinidad en menos de un minuto, de tal manera que el polímero debe ser enfriado dentro de la cavidad del molde lo más rápido posible mientras que la velocidad de cristalización es muy lenta en ambos extremos de este rango. La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma.

- d. Permeabilidad a los gases: se expresa en términos de volumen de gas o vapor que puede permear por unidad de área y por unidad de tiempo o por unidad de espesor a la temperatura y humedad relativa específica. Debido a que el PET pasa por un proceso de biorientación permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.⁹

- e. Absorción de humedad: EL PET amorfo absorbe humedad más rápidamente que el PET cristalino debido a esto la resina PET requiere de un proceso de secado antes de ser moldeado por inyección. La resina no absorbe niveles de humedad mayores a 0,2% en peso si se mantiene en un lugar cubierto y durante períodos cortos de tiempo. Sin embargo, para fabricar un producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0,004% (40 partes por millón) antes de inyectar el material. La razón para esto, es que a temperaturas superiores al punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo su peso molecular así como sus propiedades características.

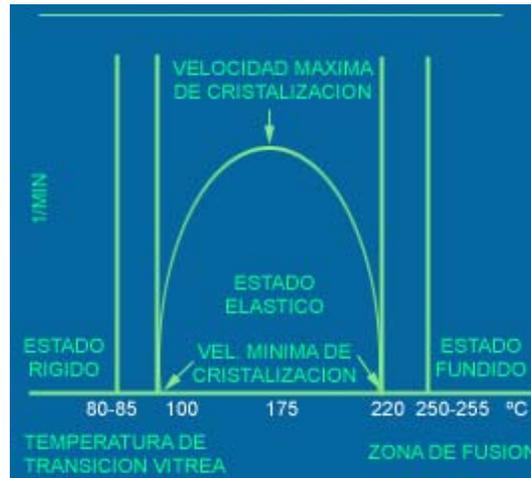


Figura 2.5 Zona de cristalización. Fuente: APREPET A.C

2.2.10 Moldeo del polietilen tereftalato (PET)

El primer lanzamiento comercial del PET como material para la fabricación de botellas de gaseosas fue efectuado por Pepsi-cola USA en la primavera de 1977 y es desde entonces que la demanda mundial de envases PET ha aumentado considerablemente. El polímero de PET puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección. El moldeo de las preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde hasta llenarlo. Una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para la obtención de botellas de excelente calidad.

2.2.10.1 Tipos de moldeos.

A partir de los polímeros y de acuerdo con el tipo de artículo que se desea confeccionar se emplean distintos procedimientos, siendo los principales:

a. Moldeo por Inyección

En esta técnica de moldeo el material se inyecta dentro de un molde a alta presión. El molde se mantiene a una temperatura prefijada mientras el polímero se enfría, las mitades se abren y el artículo terminado se expulsa. El moldeo por inyección puede producir artículos más complejos que el proceso de extrusión, pero no es un proceso continuo. Los artículos que se obtienen están ya en su forma final, pudiendo ser rígidos o flexibles, compactos o expandidos.

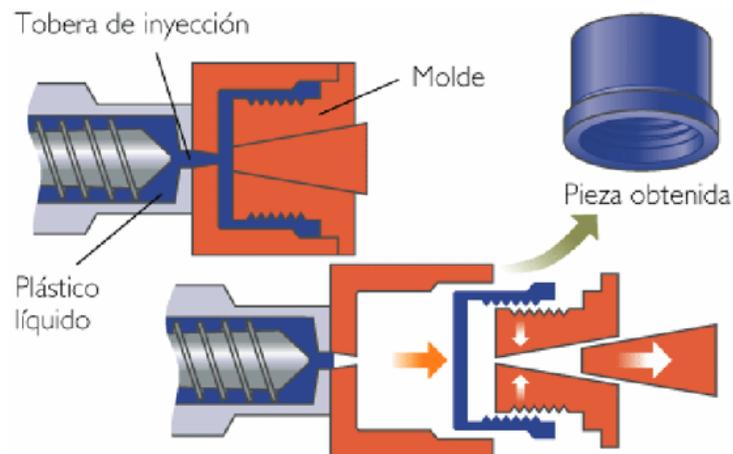


Figura 2.5 Ilustración del moldeo por inyección. Fuente: The Dow Chemical Company.

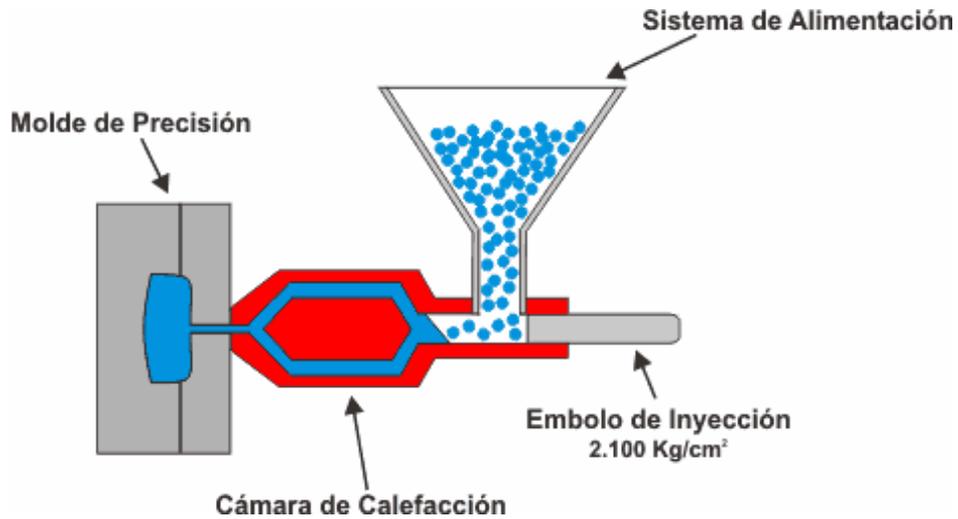


Figura 2.6 Ilustración de moldeo por extrusión. Fuente: The Dow Chemical Company.

b. Moldeo por extrusión

En el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. El polímero es transportado desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua. A partir de gránulos sólidos, el polímero emerge de la matriz de extrusión en un estado blando. Como la abertura de la boca de la matriz tiene la forma del producto que se desea obtener, el proceso es continuo. Posteriormente se corta en la medida adecuada. (*Figura 2.6*).

c. Moldeo por vacío

Mediante este proceso se comprime una chapa de resina termoplástica ablandada por el calor contra un molde frío. La chapa toma y conserva la forma del molde. Este método se emplea para revestimientos interiores (puertas de neveras, gabinetes y otros).

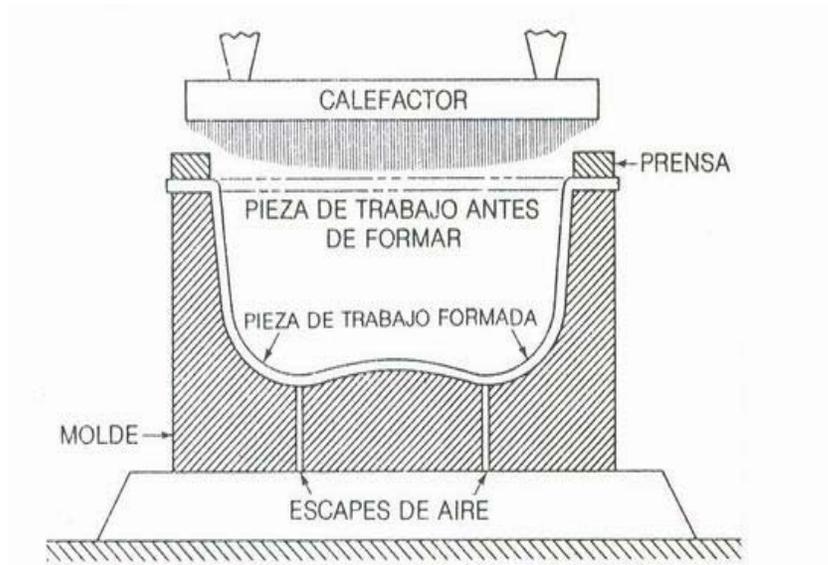


Figura 2.7 Ilustración de moldeo por vacío. Fuente: The Dow Chemical Company.

d. Moldeo por Soplado

El moldeo por soplado es el proceso a través del cual se realizan productos huecos mediante la expansión de un plástico caliente, contra las superficies internas de un molde. Los distintos procesos de moldeo por soplado brindan diferentes ventajas en cuanto a la producción de diversos productos, teniendo en cuenta el material utilizado, el rendimiento requerido, el volumen de producción y los costos. Productos como el polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC y PET pueden ser moldeados por soplado sin ningún tipo de problemas.

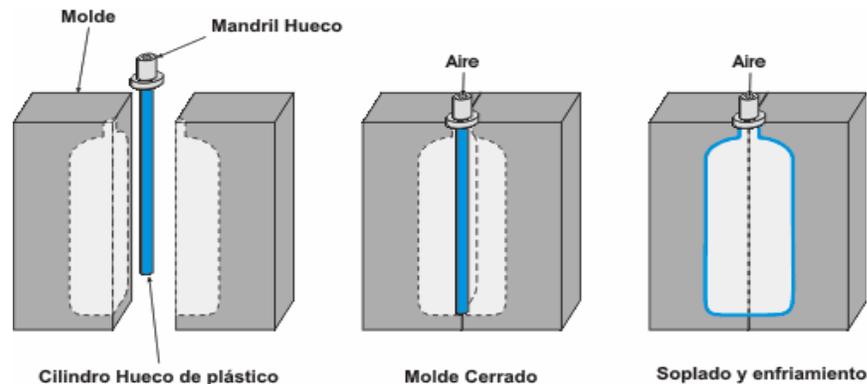


Figura 2.8 Ilustración del moldeo por soplado. Fuente: Askeland, D.; Phulé P.

- **Moldeo soplado por extrusión continua:** su utilidad para fabricar botellas o capacidades huecas de una amplia variedad de tamaños a partir de la extrusión de una preforma que penetra en un molde en dos mitades donde se expande por aplicación interior de aire a presión (0,5 a 1 Mpa). Con este proceso se fabrican capacidades que van desde menos de 11 a más de 10.000 , pero su adaptabilidad ha permitido utilizarlo en una variedad de aplicaciones
- **Moldeo soplado intermitente:** En el moldeo por soplado intermitente, la fundición se acumula antes de llegar a la matriz y es expulsada de un solo disparo. El moldeo soplado intermitente se utiliza principalmente para piezas grandes.
- **Moldeo soplado por coextrusión:** El moldeo soplado por coextrusión permite combinar materiales con diferentes propiedades para crear un producto terminado destinado para una aplicación particular. Con este proceso se puede fabricar productos que contengan varias capas en sus estructuras de pared. Asimismo, las distintas partes de la estructura se pueden optimizar para obtener un mejor balance entre las propiedades y los costos.

- **Moldeo soplado por inyección:** El moldeo soplado por inyección comienza con el moldeo por inyección de un pre-formado, el cual luego es recalentado y soplado hasta obtener su forma final en un molde.
- **Moldeo soplado por estiramiento inyectado:** El moldeo soplado estirable por inyección comienza con el moldeo por inyección de un pre-formado, que también es recalentado, pero estirado con una varilla, al mismo tiempo en que es soplado en el molde. Este es el típico proceso de conversión para producir botellas de PET.¹⁰

2.3 Control de calidad

Aunque la palabra calidad tiene connotaciones distintas según las personas que la empleen, en ella subyace siempre una idea central. El control de calidad esta basado en un conjunto de técnicas y procedimientos para orientar, supervisar y controlar todas las etapas de un proceso hasta la obtención de un producto con la calidad deseada. Los gráficos de control son, probablemente, el método más utilizado para control de calidad de características variables.

2.3.1 Gráficos de control

Es a menudo en la práctica importante conocer cuando un proceso ha cambiado suficientemente, de modo que pueden darse los pasos necesarios para remediar la situación. Tales problemas aparecen, por ejemplo, en el control de calidad, donde se debe, decidir si los cambios observados se deben simplemente a fluctuaciones aleatorias o a cambios reales en el proceso de fabricación a causa de deterioro en las máquinas, errores de los empleados, etc. Los gráficos de control suministran un

método útil y sencillo para observar tales problemas. Los gráficos de control fueron propuesto originalmente por Shewart en 1920 y en ellos se representa a lo largo del tiempo el estado del proceso que se está monitorizando. En el eje horizontal X se indica el tiempo, mientras que el eje vertical Y se representa algún indicador de la variable cuya calidad se mide. Además se incluye otras dos líneas horizontales: los límites superior e inferior de control, escogidos éstos de tal forma que la probabilidad de que una observación esté fuera de esos límites sea muy baja si el proceso está en *estado de control*. La finalidad de los gráficos de control es por tanto monitorear dicha situación para controlar su buen funcionamiento, y detectar rápidamente cualquier anomalía respecto al patrón correcto, puesto que ningún proceso se encuentra espontáneamente en ese estado de control, y conseguir llegar a él supone un éxito, así como mantenerlo. Así el control estadístico de calidad tiene como objetivo monitorear de forma continua, mediante técnicas estadísticas, la estabilidad del proceso, y mediante los gráficos de control este análisis se efectúa de forma visual, representando la variabilidad de las mediciones para detectar la presencia de un exceso de variabilidad no esperable por puro azar, y probablemente atribuible a alguna causa específica que se podrá investigar y corregir. El interés de los gráficos de control radica en que son fáciles de usar e interpretar, tanto por el personal encargado de los procesos como por la dirección de éstos, y lo que es más importante: la utilización de criterios estadísticos permite que las decisiones se basen en hechos y no en intuiciones o en apreciaciones subjetivas que tantas veces resultan desagradablemente falsas. El primer paso en el uso de un gráfico de control en garantía de calidad consiste en determinar el valor medio y la desviación estándar de los datos de evaluación, seguido del cálculo de los límites de control mediante las siguientes ecuaciones:

$$LSC = \bar{x} + \sigma \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$LIC = \bar{x} - \sigma \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$LC = \bar{x} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

donde:

LSC: límite superior de control

LIC: límite inferior de control

LC: límite central

\bar{x} : media aritmética muestral

σ : desviación estándar muestral

Estos límites de control se consideran como límites de prueba y sirven para determinar si el proceso estaba bajo control cuando las muestras fueron seleccionadas. Si todos los puntos caen dentro de los límites de control y no se observa ninguna pauta anormal se determina que el proceso estaba bajo control a la toma de las muestras y los límites de prueba serán válidos para controlar la producción actual y la futura. ¹¹

2.4 Análisis estadístico

La estadística es tomada en cuenta como una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio. Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la física hasta las ciencias sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad, y es usada para la toma de decisiones hasta en áreas de negocios e instituciones gubernamentales.

La Estadística se divide en dos ramas:

- La estadística descriptiva, que se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numéricamente o gráficamente.

- La inferencia estadística, que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).¹²

2.4.1 Muestreo estadístico

Para la estadística, un muestreo generalmente se caracteriza como la técnica para la selección de una muestra a partir de una población. Al conjunto de muestras que se pueden obtener de la población se le atribuye el nombre de espacio muestral. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones: el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio o de probabilidad. En este último todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser escogidos en la muestra. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio se basa en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio es usada como muestra guía para decidir como tomar una muestra aleatoria más adelante. Entre los muestreos aleatorios se encuentran:

- a. Muestreo aleatorio simple:** está representado por la extracción de una muestra de una población finita, donde el proceso de extracción garantiza a cada uno de los elementos de la población la misma oportunidad de ser incluidos en dicha muestra. Este muestreo garantiza la presencia de la muestra ya que si en la

población existe un determinado porcentaje de individuos que presentan una característica A, la extracción aleatoria garantiza matemáticamente que por término medio se obtendrá el mismo porcentaje de datos muestrales con esa característica.

- b. Muestreo sistemático:** este tiene ventaja cuando el universo o población es de gran tamaño, o ha de extenderse en el tiempo. Se basa en identificar las unidades y relacionarlas con el calendario (cuando proceda), para luego calcular una constante, denominada coeficiente de elevación $K = N/n$; donde N es el tamaño del universo y n el tamaño de la muestra. Se determina en qué fecha se producirá la primera extracción, para ello hay que elegir al azar un número entre 1 y K ; de ahí en adelante tomar uno de cada K a intervalos regulares. Ocasionalmente, es conveniente tener en cuenta la periodicidad del fenómeno. Esto quiere decir que teniendo un determinado número de personas que es la población y se necesita escoger de esa población un número más pequeño el cual es la muestra, se divide el número de la población por el número de la muestra que queremos tomar y el resultado de esta operación será el intervalo, entonces se escoge un número al azar desde uno hasta el número del intervalo, y a partir de este número se escogen los demás siguiendo el orden del intervalo.
- c. Muestreo estratificado:** su técnica radica en la división previa de la población de estudio en grupos o clases que se suponen homogéneos respecto a la característica a estudiar. A cada uno de estos estratos se le asigna una cuota que determina el número de miembros del mismo que compondrán la muestra. Dentro de cada estrato se suele usar la técnica de muestreo sistemático, ya que con aquella suelen ser las técnicas más usadas en la práctica. Es esta técnica se reflejan con mayor precisión las características de la población de donde se extrajeron.

- d. Muestreo por estadios múltiples:** Esta técnica es la única opción cuando no se dispone de lista completa de la población de referencia o bien cuando por medio de la técnica de muestreo simple o estratificado se obtiene una muestra con unidades distribuidas de tal forma que resultan de difícil acceso. En el muestreo a estadios múltiples se subdivide la población en varios niveles ordenados que se extraen sucesivamente por medio de un procedimiento de embudo. El muestreo se desarrolla en varias fases o extracciones sucesivas para cada nivel.
- e. Muestreo por conglomerados:** esta técnica se asemeja al muestreo por estadios múltiples, y es utilizada cuando la población se encuentra dividida, de manera natural, en grupos que contienen toda la variabilidad de la población, es decir, la representan correctamente respecto a la característica a elegir, pueden seleccionarse sólo algunos de estos grupos o *conglomerados* para la realización del estudio. Dentro de los grupos seleccionados se ubicarán las unidades elementales, por ejemplo, las personas a encuestar, y podría aplicársele el instrumento de medición a todas las unidades, es decir, los miembros del grupo, o sólo se le podría aplicar a algunos de ellos, seleccionados al azar. Este método tiene la ventaja de simplificar la recogida de información muestral.¹²

2.4.2 Medidas de tendencia central

En estadística, el "promedio" es un término que define el valor característico de un conjunto de números. Existen varios métodos para calcular el promedio, tales como la **media aritmética**, la media geométrica, la media ponderada y la media armónica. El promedio también puede verse como el valor típico o el valor que representa a la población. Una de las limitaciones del promedio es que se ve afectado por valores extremos; valores muy altos tienden a aumentarlo. Por otro lado, valores muy bajos tienden a bajarlo, lo que implica que puede dejar de ser representativo de

la población. Se vale destacar la diferencia entre población y muestra; población son todos los elementos que han sido escogidos para ser estudiados, mientras que se emplea el termino de muestra para describir una porción elegida de la población.

- a. Media aritmética:** En matemáticas y estadística, la media aritmética (también llamada promedio o simplemente media), de un conjunto finito de números, es igual a la suma de todos sus valores dividida por el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales. Expresada de forma más intuitiva, podemos decir que la media (aritmética) es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación. Hay que entender que existen dos formas distintas de trabajar con los datos poblacionales o muestrales: sin agrupar o agrupándolos en tablas de frecuencia. Esta apreciación nos sugiere dos formas de representar la media aritmética; la \bar{X} , con una barra horizontal sobre el símbolo para medias de una muestra (\bar{X}), mientras que la letra μ se usa para la media aritmética de una población.

A partir de datos no agrupados se recurre a las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Muestra} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Población} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

donde:

\bar{X} : media aritmética muestral

μ : media aritmética poblacional

x_i : valor de la observación i

n : numero de la cantidad de muestras o población

Cuando hablamos de distribución de frecuencia se recurre a las ecuaciones para datos agrupados:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad \text{Muestra} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad \text{Población} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

donde:

\bar{X} : media aritmética muestral

f : frecuencia de la clase i

x_i : valor de la observación i

n : número de la cantidad de muestras o población

- b. Media geométrica:** es un promedio muy útil en conjuntos de números que son interpretados en orden de su producto, no de su suma (tal y como ocurre con la media aritmética). Por ejemplo, las velocidades de crecimiento, tasas de interés, incrementos porcentuales, etc. Y está representada por la siguiente ecuación:

$$MG = (\prod_{i=1}^n x_i)^{1/n} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

donde:

MG : media geométrica

x_i : valor de la observación i

- c. Media ponderada:** con esta se obtiene un promedio que tiene en cuenta la importancia de cada valor para el total global, representada por la siguiente ecuación:

$$\overline{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

donde:

\overline{X}_w : media ponderada

w : peso asignado a la observación i

x_i : valor de la observación i

- d. Media armónica:** representada por una H, de una cantidad finita de números es igual al recíproco, o inverso, de la media aritmética de los recíprocos de dichos números, expresada de la siguiente manera¹³:

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

donde:

H: media armónica

n : cantidad de elementos de la muestra

x_i : valor de la observación i

2.4.3 Medidas de dispersión

Así como las medidas de tendencia central permiten identificar el punto central de los datos, las *medidas de dispersión* permiten reconocer que tanto se dispersan los datos alrededor del punto central; es decir, indican cuanto se desvían las observaciones alrededor de su promedio aritmético (Media). Este tipo de medidas son parámetros informativos que permiten conocer como los valores de los datos se reparten a través de eje X, mediante un valor numérico que representa el promedio

de dispersión de los datos. Las medidas de dispersión más importantes y las más utilizadas son la *Varianza* y la *Desviación estándar* (o Típica).

- a. Varianza:** Esta medida permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (*Media* \bar{X}). Es necesario resaltar que la varianza muestra como resultado el promedio de la desviación, pero este valor se encuentra elevado al cuadrado, y se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \mu)^2}{N} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

donde:

σ^2 : varianza de la población

x_i : elemento i de la población

μ : media de la población

N : número de elementos

Calculando la varianza para datos agrupados, se utiliza la ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n f_i * (x_i - \mu)^2}{N} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

donde:

σ^2 : varianza de la población

f_i : frecuencia de la clase i

x_i : elemento i de la población

μ : media de la población

N : número de elementos

Mientras que, para el cálculo de la varianza para datos no agrupados, se utiliza la ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

donde:

σ^2 : varianza muestral

x_i : elemento i de la muestra

\bar{X} : media de la muestra

N : número de elementos

- b. Desviación estándar:** Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar muestra como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Y viene representada por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

donde:

σ : desviación estándar de la población

x_i : elemento i de la población

μ : media de la población

N : número de elementos

Calculando la desviación estándar para datos agrupados, tenemos la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n f_i \cdot (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

donde:

σ : desviación estándar de la población

f_i : frecuencia de la clase i

x_i : elemento i de la población

μ : media de la población

N : número de elementos

Mientras que, para el cálculo de la desviación estándar para datos no agrupados, tenemos la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

donde:

σ : desviación estándar muestral

x_i : elemento i de la muestra

\bar{X} : media de la muestra

n : número de elementos

El cambio del denominador de n por n-1 está en relación al hecho de que esta segunda fórmula es una estimación más precisa de la desviación estándar verdadera de la población y posee las propiedades que necesitamos para realizar inferencias a la población.¹³

2.5 Descripción del proceso de producción en línea 5 (PET) desde el soplado del envase hasta el despacho del producto al mercado

2.5.1 Soplado

La elaboración de refrescos en esta línea de botellas plásticas se inicia con el proceso de soplado que es realizado mediante una maquina de moldeo por soplado denominada *Blomax 14 Serie III, SIG Corpoplast*, diseñada para la producción automatizada de botellas PET (*anexo A*).

Como inicio del proceso se encuentra el recipiente de almacenamiento que contiene las preformas a transportar. Éste está equipado con un perfil de descarga que reduce la presión de las preformas en la cinta transportadora en el fondo del recipiente. La cinta transportadora desplaza las preformas a través de la tolva intermedia hacia el transportador escarpado. En el extremo final del transportador escarpado caen las preformas por la tolva de llenado hacia el ordenador de rodillos. Ambos rodillos del ordenador de rodillos empujan las preformas en dirección de los rieles de alimentación, ajustándolos de tal forma que se cuelgan en el anillo de soporte. Las preformas que no se logran colgar en el anillo de soporte entre los rodillos, se retornan mediante una rueda de rechazo y caen por un tubo de retorno hacia una posición al lado de los rodillos en la tolva intermedia. A su vez para garantizar una carga continua de la máquina de moldeo por soplado, se forma un tramo de amontonamiento, en donde se encuentra un sensor colocado en la parte inferior del riel guía. Cuando éste tramo se encuentra desocupado, la presión de amontonamiento resulta insuficiente y el sujetador de detención de la estación de carga detiene la entrada de preformas en la máquina. Las preformas se empujan por su propia presión de amontonamiento hacia la rueda inversora de preformas, donde serán recogidas por los dedos de sujeción. La rueda inversora de preformas gira las preformas en 180°, transfiriéndolas luego a través del soporte de preformas de la

rueda de carga hacia el punto de entrega de la rueda de carga y descarga donde son colocadas en los mandriles de transporte en donde conjuntamente hacen el recorrido por toda la máquina. La rueda de carga y descarga tiene dos tareas: **a)** Las preformas de una estación de carga se colocan en los mandriles de transporte y se transfieren a la estación de entrega I. **b)** Las botellas producidas se transfieren desde la estación de entrega III hacia la rueda de carga y descarga. Durante este proceso, el soporte de mandril se desplaza hacia abajo y extrae así el mandril de transporte desde la boca de la botella.

La rueda de carga/descarga transfiere los mandriles de transporte con las preformas a la estación de entrega I. La estación de entrega I transfiere los mandriles de transporte con las preformas a los porta-mandriles del tramo de calefacción. Se ponen en giro en todo el tramo de calefacción mediante una cadena fija, calentándose así en todo el contorno a través de un perfil de calor especial de manera equilibrada. Las placas de refrigeración protegen las bocas de las preformas y los mandriles de transporte del calentamiento. La estación de entrega II recibe los mandriles de transporte con las preformas temperadas desde el tramo de calefacción y los transfiere a la estación de soplado que está equipada con estaciones de soplado en las cuales se realiza el soplado de las preformas, elaborando así las botellas. En el centro de la rueda de soplado se encuentra el transformador de anillo rozante, el distribuidor giratorio para el aire y el distribuidor giratorio para el temperado de los moldes de soplado ubicando por debajo la alimentación y purga del agua para el temperado. Para la alimentación de aire se realiza la alimentación en tan sólo un nivel de presión (= 40 bar). En el centro se crean presiones de 20 bar y 6 bar mediante una estación de reducción de aire comprimido. Todas las estaciones de soplado están equipadas con una cavidad de soplado respectiva donde en cada una de ellas se encuentra un soporte de molde que acoge todo el inserto de molde de soplado completo. Para la refrigeración de los moldes de soplado y los moldes de fondo se encuentran éstos

conectados con el circuito de refrigeración de agua mediante mangueras y acoplamientos rápidos.

El mecanismo de cierre del molde de soplado consiste de un soporte de molde de soplado y un retén labial. Durante el proceso de soplado se carga el lado trasero del soporte del molde con aire de soplado. De esta forma se juntan las mitades derecha e izquierda del molde de soplado con una fuerza proporcional a la presión de soplado. El movimiento de retorno se realiza mediante la evacuación de aire. El sistema de estirado se compone de un soporte de estirado, un soporte y un acoplamiento del vástago de estirado. Mediante esta unidad se realiza el estirado de la preforma tibia hasta su longitud total de botella. Las botellas completamente sopladas se transfieren desde la estación de soplado hacia la estación de entrega III. La estación de entrega III transfiere las botellas hacia la rueda de carga y descarga. Durante la transferencia se bajan los mandriles de transporte. Las botellas se recogen por las pinzas de la rueda inversora y se giran en 180° de modo que las bocas de botella miran hacia arriba. En la salida de botellas, éstas se transportan en forma colgante sobre los rieles de guiación y mediante un flujo de aire se extraen desde el área de máquina.¹⁴

2.5.2 Etiquetado

Esta etapa se inicia con la llegada de las botellas desde la sopladora mediante el transportador de aire. Estas entran a la etiquetadora *Roll Quatro* pasando a través de un tornillo sin fin el cual les proporciona la separación adecuada para entrar al carrusel circular que las coloca listas para el etiquetado. Mientras, la película o etiqueta entra a la máquina y pasa por el rodillo de corte, es tomada por el rodillo de traslado y puesta en contacto con el rodillo de cola, que tiene un velo de cola que entra en contacto con los extremos de la etiqueta, a partir de aquí la botella entra en

contacto con la etiqueta, la cual se adhiere mientras la botella gira sobre sí misma para finalizar con la unión de los extremos de la etiqueta.¹⁶

2.5.3 Mezclado

Con el término “producción” se indica un estado de funcionamiento de la máquina de mezclado *Starblend PLUS* durante el cual se prepara el producto a partir de los componentes de base (agua, jarabe y CO₂). El método de carbonatación del producto, utilizado en la máquina es la inyección directa, y es el proceso por el que se inyecta CO₂ directamente en el producto a fin de obtener una bebida con gas. Seguidamente el producto se mantiene en contacto con el CO₂ durante un cierto período de tiempo (Tiempo de estacionamiento). Dentro del serpentín de estacionamiento se encuentran unos mezcladores estáticos que rompen las burbujas de CO₂ a fin de que éste sea absorbido mejor y más rápidamente. La totalidad del proceso se desarrolla a una presión superior a la presión de equilibrio del producto final, por tanto, el producto absorberá por completo el CO₂ inyectado. La proporción agua/jarabe (prevista en la receta) es la relación entre litros de agua y litros de jarabe que constituye la correcta composición de la bebida. La mezcla agua/jarabe se realiza midiendo los caudales instantáneos del agua y del jarabe por medio de los medidores flujos.¹⁵

2.5.4 Llenado y tapado

Aquí llegan las botellas desde la etiquetadora. El proceso de llenado de las botellas se inicia con un previo enjuague de estas. Las botellas vacías llegan a la enjuagadora mediante un transportador de aire y aquí entran en contacto con una estrella que las separa y elimina su empuje. La distancia de separación equivale exactamente a la distancia entre las pinzas de la enjuagadora y entre las válvulas de llenado de la llenadora.

Las botellas son correctamente centradas bajo las pinzas de sujeción mediante una estrella y una guía que las mantiene colgadas por el cuello. Un brazo de palanca invierte las botellas sobre las boquillas de pulverización/rociado. El ciclo de enjuague comienza con la rociadura y escurrimiento que al concluirse las botellas retornan a su posición original mientras van saliendo de la enjuagadora y entrando en la llenadora por los compartimientos de la estrella de entrada que las posicionan en las horquillas de las válvulas de llenado para comenzar este ciclo.

La botella, ya enganchada, comienza la fase de subida por acción del aire, una vez alcanzada la posición de retención, se activa el procedimiento de llenado, que comienza con la aplicación de un chorro de gas a fin de abrir las válvulas de membrana, donde la primera determina el paso desde la cámara hacia la botella y la segunda permite que la mezcla gas/aire pase a la cámara de descarga. Se cierra la válvula de membrana que permite presurizar la botella. Con la botella en presión, aplicando aire en el cilindro, se provoca la apertura de la válvula del líquido, comenzando de esta forma el llenado isobarométrico por caída de forma que el líquido baja a lo largo de las paredes de la botella, sin turbulencias. Mientras el líquido entra, el flujo de gas que pasa a través de la válvula de membrana se retorna a la cámara.

El llenado termina cuando a través del medidor de caudal ha pasado el volumen programado de líquido, con lo cual, el envío de una señal eléctrica provoca el cierre del aire que llega al cilindro lo que, a su vez, determina que el resorte en conjunto con la presión del producto provoque el cierre de la válvula del líquido. Se abre la válvula de membrana que permite descomprimir el cuello de la botella. La botella llena comienza su bajada y una estrella de salida la sitúa debajo de la capsuladora alineada ahora respecto a los cabezales capsuladores donde es tapada a presión y enroscamiento debido al giro de la botella. Una vez efectuada la tapadura es trasladada, ayudada por una guía hasta la estrella y desde allí hasta la cinta de salida.

Las botellas salen de la *Simonazzi Eurotronica FM (anexo B)* pasando por un detector óptico que se encarga de rechazar aquellas botellas que no cumplan con una buena condición de etiquetado, tapado o un buen volumen de llenado.¹⁶

2.5.5 Embalaje

Las botellas que cumplen con lo establecido continúan su recorrido a través de una banda transportadora para ser embaladas, donde primero son ordenadas de acuerdo al número de botellas por caja (12 para la presentación de 1,5 L) y envueltas en un termoplástico pasando a través de un horno donde son sometidas a temperaturas de 160 – 180 °C para tensar y cerrar el plástico alrededor de las botellas para así formar las cajas. Siguiendo el camino de la banda transportadora son llevadas al *Robokombi* en donde son organizadas y colocadas en grupo por un robot en una base de madera, mientras a su vez coloca una base de cartón sobre cada hilera de cajas hasta completar 5 pisos de 10 cajas cada uno para 1,5 L formando así las llamadas Paletas. Luego estas pasan hasta la *Envolvedora* que las envuelve completamente desde arriba hasta abajo para posteriormente ser tomada por un montacargas y ser trasladada al almacén para luego ser despachadas.¹⁷

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Procedimiento experimental

3.1.1 Prueba de perfil homogéneo de espesores

Esta variable ayuda a determinar la distribución más homogénea posible del material a través del cuerpo de la botella (*hombro, panel y base*). Se tiene como referencia para determinar las especificaciones funcionales propias de un proceso de soplado, tomando en cuenta diseño de preforma, condiciones ambientales propias, capacidad de la máquina sopladora, perfil de calentamiento en la sopladora y tipo de resina. (Pepsi método de prueba TM1-2)

3.1.1.1 Procedimiento experimental

- a.** Se encendió el equipo Magna Mike minutos antes del análisis para su calentamiento.
- b.** Se tomó la esfera de acero inoxidable (balín) adecuada para botellas plásticas (balín de 1/8 in. Para envase PET)
- c.** Se inició el análisis introduciendo la esfera en la muestra totalmente seca manteniendo siempre la superficie que se esté midiendo perpendicular al eje formado por la punta del probador y la esfera.
- d.** Se midió el punto de inyección, en el fondo de la botella. Este debió encontrarse entre 2,1 y 3,0 mm de espesor.

- e. Se midieron cinco puntos en el hombro de la botella, procurando subir gradualmente hasta cubrir toda la zona.
- f. Se midieron cinco puntos en el panel o cuerpo de la botella, procurando subir gradualmente hasta cubrir toda la zona.
- g. Se midieron tres puntos en la base o fondo de la botella, procurando subir gradualmente hasta cubrir toda la zona y dos mediciones en uno de los pétalos, seleccionado al azar.
- h. Se calculó el promedio de cada una de las secciones para calcular el perfil homogéneo de espesores; el cual se comparó con los valores estándar:

Para 1,5 L (*preforma de 45 g*):

- Ninguna lectura individual menor de 0,25 mm.
 - Promedio del hombro mayor o igual a 0,30 mm.
 - Promedio del panel mayor o igual a 0,28 mm.
 - Promedio de la base mayor o igual a 0,28 mm.
 - El perfil homogéneo presenta una tolerancia de $\pm 10\%$.
- i. Se dividió el envase en sus tres secciones y se pesaron.
 - j. Se registraron sus pesos, así como su peso total, teniendo en cuenta que para el peso total de la botella, se tiene una tolerancia de $\pm 0,30$ g para preformas menores de 45 g. Así como para el peso de la base se tiene una tolerancia del 25 al 28% del peso total de la botella.¹⁸

Los valores arrojados en esta prueba se registran en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (*tabla B.1*) que trabaja en conjunto con el equipo Magna Mike

realizando automáticamente los cálculos respectivos de perfil homogéneo de espesores y más. Se sustraen los datos más relevantes y se reflejan en la *tabla 3.1*

3.1.2 Prueba de resistencia a la presión (Burt Test)

Durante el llenado, las botellas fueron sometidas a un incremento rápido de la presión interna. Esta es una prueba cualitativa que debe cumplir los siguientes parámetros:

- No debe estallar ninguna parte de la botella.
- Al sacar la botella del aparato del Burt Test ésta debe estar en una plataforma plana y estable.

Se debe deformar homogéneamente. Si se deforma más de una sección es porque existe un sobrecalentamiento en esa parte deformada de la botella. (Pepsi método de prueba TM16)

3.1.2.1 Procedimiento experimental

- a. Se llenó la botella plástica de agua hasta que rebose.
- b. Se introdujo en el medidor de presión, se selló y se cerró la compuerta.
- c. Se abrieron las válvulas de agua y aire comprimido hasta un valor de 135 psi (*930,79 KPa*).
- d. Se pulsó el botón de encendido, sometiendo así al envase a presión por un período de 30 segundos.
- e. Se verificó cuando el medidor de presión encendió su luz en “TEST”.

- f. Terminado el lapso, el *medidor de presión* encendió su luz de “PASS”, cuando la botella superó la prueba de presión.
- g. Se liberó la botella y se retiró del equipo, realizando la evaluación visual de las deformaciones presentes en ella.
- h. De acuerdo a las observaciones realizadas se dio aprobación o rechazo al lote de botellas plásticas.
- i. Se repitieron de igual forma para las demás botellas.¹⁸

3.1.3 Determinación del torque en la tapa plástica

Es aquí donde se determina si las tapas de rosca han sido aplicadas adecuadamente y proporcionan un sello íntegro. La principal razón es verificar la aplicación de las tapas por medio de maquinas, ya que debe proporcionar un sello efectivo de presión para las bebidas carbonatadas, mientras que permite la remoción de la tapa con un nivel razonable de torque manual. (Pepsi método de análisis TM401.03)

3.1.3.1 Procedimiento experimental

- a. Se colocó la botella llena y originalmente tapada en el probador de torque con el medidor de torque incremental anexado.
- b. Se colocó el mandril manual sobre la tapa, de manera que la marca negra esté alineada con la punta en el medidor de incremento. No se puede girar la tapa en la botella durante este paso.
- c. Se llevó el probador del torque a cero.

- d. Se giró el mandril en sentido anti horario unos 90 grados, utilizando un movimiento lento y constante. No es necesario girar hasta que se libere CO₂. Se registró este valor de torque de remoción.
- e. Lentamente, se giró el mandril en sentido horario (para apretar la tapa), pasando la marca negra, de manera que la marca roja esté alineada con el indicador del medidor de incrementos. (torque incremental).¹⁹
- f. Se registraron los resultados obtenidos en la *tabla 3.2*.

3.1.4 Carbonatación: método de agitación manual

La carbonatación de la bebida es medida en volúmenes de gas (V.G.), siendo este igual al volumen de gas dióxido de carbono (CO₂) a una temperatura de 0°C (32°F) y 1 atm (14,7 psi) de presión que se disolverán en un volumen igual de líquido. Los niveles de carbonatación son calculados midiendo la temperatura y la presión de una muestra previamente equilibrada y obteniendo el resultado mediante las tablas de volúmenes de carbonatación¹⁹. Esta presión de equilibrio y la temperatura de la bebida del envase agitado, están relacionadas con la cantidad de dióxido de carbono en la bebida. (*Volumen de gas es indirectamente proporcional a la temperatura/presión*). La carbonatación puede medirse a cualquier temperatura; sin embargo, para mayor exactitud, es conveniente hacer las mediciones a (5 ± 2) °C, o a la temperatura del llenado; ya que la solubilidad del CO₂ aumenta a bajas temperaturas. Estos resultados se reflejan en la *tabla 3.3*

Debido a que la solubilidad del CO₂ depende de la cantidad de sólidos disueltos en el líquido se usan tablas separadas para bebidas que contienen azúcar y bebidas dietéticas. (Pepsi método de análisis TM200.001)

3.1.4.1 Procedimiento experimental

- a. Se seleccionó una botella al azar. Para obtener mejores resultados se ajustó la temperatura a $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (41°F).
- b. Se equilibró la muestra suavemente invirtiéndola 15 veces en 30 segundos. No se agitó de lado a lado, o arriba hacia abajo. Se esperó a que desaparecieran las burbujas. Si no se equilibra la muestra adecuadamente previo al análisis, el resultado sería una lectura de CO_2 relativamente alta.
- c. Se colocó la botella en el analizador *Zanh Nagel (anexo C)* alineada a la tapa con el aparato perforador.
- d. Se cerró la válvula de purga.
- e. Se sujetaron los resortes de seguridad.
- f. Se bajó cuidadosamente la barra hasta que el anillo de sello o aguja perforadora descansan sobre la superficie de la tapa. La punta de la aguja perforadora no debe extenderse más de $1\frac{1}{2}$ mm debajo del extremo inferior del anillo de sello.
- g. Se perforó la tapa empujando la barra hacia abajo con un movimiento firme y rápido.
- h. Se soltaron los resortes de seguridad y se verificó que no haya fuga, revisando que la lectura del manómetro permanezca estable.
- i. Se introdujo el termómetro en la botella, verificando que este no roce con las paredes de la misma.
- j. Se liberó la presión del cuello de la botella abriendo cuidadosamente la válvula de purga y permitiendo que la presión baje aproximadamente hasta 2 psig e inmediatamente se cerró la válvula. El objetivo de la purga es eliminar el aire del

cabezal de la botella, reduciendo errores en la lectura de CO₂ y sin que ocurra pérdida de producto.

- k.** Se sujetó el fondo del analizador con una mano, y la barra con la otra agitándose vigorosamente con un movimiento horizontal hasta que el manómetro alcanzó una lectura de presión máxima y constante.
- l.** Se agitó 10 veces inicialmente y se verificó la lectura de presión.
- m.** Se repitió la agitación y se verificó la lectura de presión, registrándose la misma al mantenerse constante la lectura. En caso contrario se repite la agitación y se verifica la lectura de presión nuevamente.
- n.** Se registró las lecturas de presión máxima y temperatura.
- o.** Se convirtió la presión y temperatura a volúmenes de gas usando las *tablas de volúmenes de carbonatación Pepsi (apéndice A)*. Se aseguró de usar la tabla correcta que en este caso aplica la de bebidas que contienen azúcar.
- p.** Se abrió la válvula de purga y la presión llegó a cero antes de remover la botella del analizador.¹⁹

3.2 Tablas de datos

Tabla 3.1 Espesores, análisis dimensional y apariencia de la botella soplada con la resina Nanya.

| MOLDES | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 56 | 55 | |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HOMBRO mm | 1 | 0,430 | 0,480 | 0,470 | 0,510 | 0,427 | 0,469 | 0,445 | 0,513 | 0,483 | 0,426 | 0,429 | 0,434 | 0,450 | |
| | 2 | 0,290 | 0,300 | 0,300 | 0,290 | 0,295 | 0,294 | 0,296 | 0,306 | 0,299 | 0,298 | 0,310 | 0,271 | 0,298 | |
| | 3 | 0,290 | 0,300 | 0,340 | 0,300 | 0,312 | 0,291 | 0,324 | 0,322 | 0,326 | 0,307 | 0,319 | 0,300 | 0,295 | 0,301 |
| | 4 | 0,300 | 0,310 | 0,330 | 0,330 | 0,344 | 0,315 | 0,353 | 0,356 | 0,345 | 0,331 | 0,327 | 0,307 | 0,312 | 0,312 |
| | 5 | 0,330 | 0,310 | 0,320 | 0,330 | 0,363 | 0,336 | 0,371 | 0,340 | 0,367 | 0,357 | 0,337 | 0,307 | 0,319 | 0,316 |
| PANEL mm | 1 | 0,310 | 0,310 | 0,310 | 0,300 | 0,329 | 0,387 | 0,330 | 0,324 | 0,357 | 0,339 | 0,349 | 0,303 | 0,311 | 0,314 |
| | 2 | 0,310 | 0,320 | 0,300 | 0,300 | 0,311 | 0,335 | 0,315 | 0,316 | 0,320 | 0,317 | 0,310 | 0,304 | 0,314 | |
| | 3 | 0,310 | 0,310 | 0,310 | 0,310 | 0,308 | 0,325 | 0,320 | 0,317 | 0,321 | 0,323 | 0,312 | 0,307 | 0,306 | 0,305 |
| | 4 | 0,310 | 0,330 | 0,330 | 0,300 | 0,313 | 0,331 | 0,322 | 0,336 | 0,341 | 0,316 | 0,361 | 0,345 | 0,313 | 0,298 |
| | 5 | 0,310 | 0,330 | 0,330 | 0,310 | 0,312 | 0,382 | 0,328 | 0,338 | 0,355 | 0,340 | 0,370 | 0,330 | 0,328 | 0,303 |
| BASE mm | 1 | 0,390 | 0,360 | 0,380 | 0,360 | 0,477 | 0,413 | 0,403 | 0,393 | 0,409 | 0,409 | 0,411 | 0,407 | 0,393 | 0,398 |
| | 2 | 0,320 | 0,330 | 0,370 | 0,320 | 0,325 | 0,350 | 0,329 | 0,324 | 0,346 | 0,323 | 0,331 | 0,337 | 0,331 | 0,327 |
| | 3 | 0,320 | 0,310 | 0,310 | 0,310 | 0,313 | 0,333 | 0,341 | 0,313 | 0,330 | 0,305 | 0,322 | 0,308 | 0,321 | 0,307 |
| | 4 | 0,330 | 0,320 | 0,310 | 0,300 | 0,316 | 0,335 | 0,338 | 0,310 | 0,323 | 0,303 | 0,326 | 0,334 | 0,318 | 0,316 |
| | 5 | 0,290 | 0,310 | 0,280 | 0,300 | 0,273 | 0,278 | 0,317 | 0,269 | 0,318 | 0,311 | 0,261 | 0,352 | 0,291 | 0,322 |
| Masa inicial g | 1582 | 1590 | 1589 | 1590 | 1587 | 1587 | 1588 | 1590 | 1591 | 1588 | 1587 | 1587 | 1587 | 1588 | |
| BURT TEST | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Masa final g | 1637 | 1640 | 1629 | 1641 | 1636 | 1639 | 1643 | 1640 | 1635 | 1638 | 1639 | 1641 | 1633 | 1636 | |
| % Expansión | 3,31 | 3,08 | 2,48 | 3,11 | 2,95 | 3,20 | 3,34 | 3,04 | 2,65 | 3,04 | 3,16 | 3,30 | 2,76 | 2,97 | |

Tabla 3.2 Torques de remoción e incremento de las diferentes resinas para las muestras almacenadas durante el tiempo de estudio.

| RESINAS | NANYA | | JADE | |
|------------|----------|------------|----------|------------|
| Tiempo | Torque | | Torque | |
| | Remocion | Incremento | Remocion | Incremento |
| 0 semana | 9 | 15 | 14 | 18 |
| | 11 | 19 | 12 | 16 |
| | 9 | 15 | 15 | 17 |
| | 10 | 12 | 10 | 15 |
| | 11 | 18 | 7 | 10 |
| | 11 | 17 | 11 | 17 |
| 1ra semana | 11 | 17 | 11 | 15 |
| | 13 | 18 | 11 | 17 |
| | 12 | 17 | 14 | 16 |
| | 12 | 16 | 16 | 15 |
| | 13 | 15 | 14 | 12 |
| | 13 | 15 | 15 | 14 |
| 2da semana | 13 | 18 | 11 | 15 |
| | 12 | 18 | 12 | 15 |
| | 14 | 15 | 14 | 16 |
| | 14 | 17 | 14 | 15 |
| | 13 | 13 | 15 | 12 |
| | 13 | 14 | 15 | 13 |
| 3ra semana | 14 | 15 | 13 | 14 |
| | 9 | 15 | 13 | 19 |
| | 15 | 19 | 11 | 14 |
| | 13 | 17 | 17 | 18 |
| | 14 | 16 | 15 | 12 |
| | 15 | 15 | 13 | 16 |
| 4ta semana | 11 | 15 | 13 | 15 |
| | 13 | 16 | 10 | 14 |
| | 13 | 15 | 13 | 13 |
| | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | 16 | 13 | 14 | 13 |
| | 12 | 15 | 14 | 13 |
| 5ta semana | 13 | 18 | 12 | 15 |
| | 8 | 11 | 13 | 15 |
| | 13 | 15 | 15 | 18 |
| | 16 | 16 | 15 | 16 |
| | 10 | 10 | 17 | 15 |
| | 12 | 12 | 16 | 14 |

Tabla 3.2 Torques de remoción e incremento de las diferentes resinas para las muestras almacenadas durante el tiempo de estudio. (Continuación)

| RESINAS | NANYA | | JADE | |
|-------------|----------|------------|----------|------------|
| Tiempo | Torque | | Torque | |
| | Remocion | Incremento | Remocion | Incremento |
| 6ta semana | 13 | 13 | 14 | 17 |
| | 15 | 15 | 14 | 16 |
| | 15 | 17 | 14 | 17 |
| | 16 | 16 | 17 | 17 |
| | 14 | 17 | 15 | 15 |
| | 14 | 15 | 14 | 17 |
| 7ma semana | 17 | 17 | 16 | 17 |
| | 16 | 17 | 17 | 17 |
| | 16 | 14 | 17 | 19 |
| | 14 | 17 | 16 | 16 |
| | 13 | 17 | 16 | 16 |
| | 14 | 17 | 11 | 11 |
| 8va semana | 16 | 17 | - | - |
| | 13 | 17 | - | - |
| | 16 | 14 | 15 | 14 |
| | 14 | 17 | 15 | 16 |
| | 17 | 17 | 16 | 15 |
| | 17 | 16 | 14 | 16 |
| 9na semana | 13 | 17 | - | - |
| | 13 | 15 | - | - |
| | 10 | 13 | 14 | 15 |
| | 13 | 16 | 13 | 16 |
| | 15 | 17 | 14 | 12 |
| | 15 | 15 | 12 | 15 |
| 10ma semana | 15 | 17 | - | - |
| | 14 | 18 | - | - |
| | 17 | 20 | 13 | 17 |
| | 14 | 14 | 15 | 17 |
| | 14 | 12 | 12 | 15 |
| | 14 | 17 | 16 | 15 |

Tabla 3.3 Mediciones de presión y temperatura para determinar el volumen de CO₂ en las diferentes resinas para las muestras almacenadas a la temperatura de 5°C (41°F).

| RESINAS | NANYA | | JADE | |
|----------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
| Tiempo | Presion (psi) | Temperatura (°F) | Presion (psi) | Temperatura (°F) |
| 0 horas | 53,0 | 65,0 | 36,0 | 47,0 |
| | 55,0 | 67,0 | 37,0 | 48,0 |
| 1ra semana | 31,0 | 41,0 | 31,5 | 42,5 |
| | 31,0 | 42,0 | 31,0 | 41,0 |
| 2da semana | 30,0 | 40,0 | 31,0 | 42,0 |
| | 30,0 | 41,0 | 30,0 | 41,0 |
| 3ra semana | 29,0 | 40,0 | 30,0 | 41,0 |
| | 27,0 | 39,0 | 30,0 | 41,0 |
| 4ta semana | 29,0 | 41,0 | 29,5 | 41,5 |
| | 28,0 | 41,0 | 29,0 | 42,0 |
| 5ta semana | 29,0 | 43,0 | 28,0 | 43,0 |
| | 29,5 | 42,0 | 27,5 | 42,0 |
| 6ta semana | 31,0 | 45,0 | 26,0 | 42,0 |
| | 30,0 | 44,0 | 27,5 | 41,5 |
| 7ma semana | 27,0 | 40,0 | 27,0 | 41,0 |
| | 27,0 | 40,0 | 26,5 | 43,0 |
| 8va semana | 28,0 | 41,0 | - | - |
| | 27,0 | 41,0 | - | - |
| 9na semana | 27,0 | 41,0 | - | - |
| | 26,0 | 40,0 | - | - |
| 10ma semana | 26,0 | 40,0 | - | - |
| | 26,0 | 40,5 | - | - |

3.3 Muestra de cálculo

3.3.1 Prueba de perfil homogéneo de espesores

Para el cálculo del perfil homogéneo de espesores se inicia con la determinación de la media aritmética del conjunto de medidas para cada sección, tomando como ejemplo el primer conjunto correspondiente al hombro para el molde 1 de la *tabla 3.1*:

Mh₁: 0,430 mm

Mh₂: 0,290 mm

Mh₃: 0,290 mm

Mh₄: 0,300 mm

Mh₅: 0,330 mm

Utilizando la *ecuación 2.5*, expresada de la siguiente manera:

$$\overline{X_{ps}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde:

$\overline{X_{ps}}$: medida promedio de espesor de sección (mm)

X_i : medida numero i (mm)

n : numero de medidas

Sustituyendo las medidas se tiene:

$$M_{ph} = \frac{(0,430 + 0,290 + 0,290 + 0,300 + 0,330)\text{mm}}{5}$$

$$M_{ph} = \frac{1,64 \text{ mm}}{5}$$

$$M_{ph} = 0,328 \text{ mm}$$

De igual forma se repiten los cálculos para cada conjunto de medidas de las demás secciones (panel y base). Se continúa con el cálculo del perfil homogéneo de espesores por medio de la media aritmética para todas las secciones:

$$P_{he} = \frac{M_{ph} + M_{pp} + M_{pb}}{3} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

donde:

P_{he} : perfil homogéneo de espesores (mm)

M_{ph} : medida promedio del hombro (mm)

M_{pp} : medida promedio del panel (mm)

M_{pb} : medida promedio de la base (mm)

Al sustituir nos queda:

$$P_{he} = \frac{(0,328 + 0,310 + 0,330) \text{ mm}}{3}$$

$$P_{he} = \frac{0,968 \text{ mm}}{3}$$

$$P_{he} = 0,323 \text{ mm}$$

Por último se calculó mediante una regla de tres el régimen de tolerancia, el máximo y el mínimo que se encontró en un 10% por encima y por debajo, respectivamente, del perfil homogéneo de espesores ya calculados.

$$\begin{aligned} Max &= P_{he} * 1,10 \\ Max &= 0,323 \text{ mm} * 1,10 \\ Max &= 0,355 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Min &= P_{he} * 0,9 \\ Min &= 0,337 \text{ mm} * 0,9 \\ Min &= 0,290 \text{ mm} \end{aligned}$$

Los mismos cálculos son aplicados para cada una de las secciones con botellas de las dos resinas estudiadas y sus resultados son reflejados en las *tablas 4.1 y 4.2*

3.3.3 Prueba de resistencia a la presión

Un cálculo utilizado en la prueba de resistencia a la presión es el porcentaje de expansión, manifestado por la deformación de la botella durante la prueba. Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso final}} * 100 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

donde:

%E: porcentaje de expansión

Peso final: peso final de la botella en g.

Peso inicial: peso inicial de la botella en g.

Al sustituir los datos de la *tabla 3.1* correspondientes al primer molde en la ecuación se tiene que:

$$\%E = \frac{1636,52 - 1582,36}{163652} * 100$$

$$\%E = 3,31$$

Los resultados se muestran en la *tabla 3.1* en donde son registrados para cada molde. Los datos se recogen mediante el equipo Magna Mike que trabaja en conjunto con una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

3.3.3 Construcción de un gráfico de control para el análisis de torque

El principal paso para la construcción de un gráfico de control para el análisis de torque es el cálculo de la media aritmética de los datos involucrados en el estudio. Para ello se utilizan los datos de la *tabla 3.2* correspondientes al torque de remoción de las primeras muestras recolectadas (0 semanas) de la resina Nanya: $T_{r1}= 9$; $T_{r2}= 11$; $T_{r3}= 9$; $T_{r4}= 10$; $T_{r5}= 11$; $T_{r6}= 11$.

En conjunto, con la ecuación de la media aritmética que se muestra en el *capítulo II* mediante la *ecuación 2.5*, se tiene entonces que:

$$\overline{X_{Trt}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

donde:

$\overline{X_{Trt}}$: media de torque de remoción de conjuntos de medidas

x_i : medida numero i

n: numero de medidas

Sustituyendo los datos en la ecuación nos queda:

$$\overline{X_{Tr0}} = \frac{9 + 11 + 9 + 10 + 11 + 11}{6}$$

$$\overline{X_{Tr0}} = 10,17$$

Este valor es el primer punto de la gráfica correspondiente a 0 semanas para un torque de remoción. Así mismo se repiten los cálculos para los demás conjuntos de

datos para la construcción del gráfico de control donde los valores de la ordenada Y son las medias calculadas y los valores de la ordenada X son el tiempo en semanas. Estos datos se ven reflejados en la *tabla C.2* y evaluados mediante la *figura 4.2*

Posteriormente se calculan los límites de control de la gráfica; donde se recurre al cálculo de promedio de promedios ($\overline{X_{ppr}}$), el cual es un promedio final de los resultados obtenidos de cada media calculada por semanas ($\overline{X_{Tri}}$) y es el valor correspondiente al límite central de la grafica, para ello nuevamente se aplica la ecuación de la media aritmética, y se tiene:

$$\overline{X_{ppr}} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{X_{Tri}}}{n} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

donde:

$\overline{X_{ppr}}$: Promedio de promedios de torque de remoción

$\overline{X_{Tri}}$: media i de torque de remoción

n : número de elementos

Tomando los valores de la *tabla C.2* para torque de remoción de la resina Nanya

y sustituyéndolos en la ecuación, se tiene que:

$$\overline{X_{ppr}} = \left(\frac{10,17 + 12,33 + 13,17 + 13,33 + 13,17 + 12 + 14,5 + 15 + 15,5 + 13,17 + 14,67}{11} \right)$$

$$\overline{X_{ppr}} = 13,36$$

Luego este mismo valor es utilizado en el cálculo de los límites inferiores y superiores de control junto con la desviación estándar muestral, como lo muestran las *ecuaciones 2.2 y 2.3* para los límites de control.

La desviación estándar se obtiene a través de la *ecuación 2.17* donde se tiene que:

$$\sigma_{Tr} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\bar{X}_{Tr_i} - \bar{X}_{ppr})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

donde:

σ_{Tr} : desviación estándar para torque de remoción

\bar{X}_{Tr_i} : media i de torques de remoción

\bar{X}_{ppr} : promedio de promedios para torque de remoción

n : número de elementos

Al sustituir nuevamente los datos de la *tabla C.2* ahora en esta ecuación queda que:

$$\sigma_{Tr} = \sqrt{(((10,17 - 13,36)^2 + (12,33 - 13,36)^2 + (13,17 - 13,36)^2 + (13,33 - 13,36)^2 + (13,17 - 13,36)^2 + (12 - 13,36)^2 + (14,5 - 13,36)^2 + (15 - 13,36)^2 + (15,5 - 13,36)^2 + (13,17 - 13,36)^2 + (14,67 - 13,36)^2)/(11 - 1))}$$

$$\sigma_{Tr} = 1,53$$

Por último, ya obtenidos todos los valores necesarios se procede al cálculo de los límites de control mediante las *ecuaciones 2.2 y 2.3* del *capítulo II* quedando de esta manera:

$$LSC_r = \bar{X} + \sigma \quad (\text{Ec. 3.7})$$

donde:

LSC_r : límite superior de control de remoción

\bar{X} : valor de promedio de promedios

σ : desviación estándar muestral

$$LIC_r = \bar{X} - \sigma \quad (\text{Ec. 3.8})$$

donde:

LIC_r : límite inferior de control de remoción

\bar{X} : valor de promedio de promedios

σ : desviación estándar muestral

Donde sustituyendo los valores ya obtenidos anteriormente, queda que los límites de control para la gráfica de torque de remoción correspondientes a la resina Nanya son:

$$LSC_r = 13,36 + 1,53 = 14,89$$

$$LIC_r = 13,36 - 1,53 = 11,83$$

Todos los cálculos se repiten de la misma manera para la construcción de la gráfica con los valores de torque de incremento y torque de remoción de las resinas Nanya y Jade.

Los resultados están reflejados en la *tabla C.2* y son estudiados mediante los *gráficos 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5*.

3.3.4 Carbonatación: método de agitación manual

Para este cálculo se utilizan las tablas de volúmenes de carbonatación Pepsi para determinar el volumen de CO₂ en las muestras, por ejemplo:

Tomando el primer par de datos para un tiempo de 0 semanas de la *tabla 3.3*: $P_{V_x} = 53$ psi y $T_{V_x} = 65$ °F, utilizando la tabla de volúmenes de carbonatación Pepsi ubicada en el *apéndice A* para una P_{V_x} se tiene como resultado:

$$V_x = 4,33$$

donde:

V_x : valor buscado (volúmenes de gas)

T_{V_x} : temperatura de valor buscado (°F)

P_{V_x} : presión de valor buscado (psi)

El mismo cálculo se repite para los demás pares de datos de cada resina en las *tablas 3.3, B.1 y B.2* y los resultados son reportados en la *tabla C.1*. Igualmente se procede a calcular la media aritmética con cada muestra de cada día de muestreo, de la siguiente manera:

Tomando los datos de la *tabla C.1* para 0 semanas, se tiene:

$$\overline{Vol. CO_2} = \frac{(4,33 + 4,33)}{2}$$

$$\overline{Vol. CO_2} = 4,33$$

Considerando que en estudios anteriores se trataron los valores de CO₂ como porcentaje de pérdida para observar su comportamiento de una mejor manera; para ello se utilizó una sencilla regla de tres, teniendo como 100% el valor inicial para

cada uno de los muestreos. Tomando los datos de la *tabla C.1* para una temperatura de 5°C correspondientes a la primera semana se tiene:

$$\%perdidaCO_2 = \frac{4,33 * 100}{4,215}$$

$$\%perdidaCO_2 = 100 - 97,344 = 2,66\%$$

De la misma forma son tratados el resto de datos de cada muestra. Los demás resultados están reflejados en la *tabla C.1* y *4.3* para su posterior uso en el análisis del comportamiento del CO₂ graficados con respecto al tiempo de estudio.

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de medición de espesores y resistencia a la presión de las botellas plásticas para cada tipo de resina

Para los estudios realizados de perfil homogéneo de espesores, se observó que los valores de homogeneidad del hombro para botellas sopladas con la resina Jade (*tabla 4.1*) fueron ligeramente elevados, pero bajo especificaciones, lo que demostró la presencia de una pequeña acumulación de material en el cuello de las botellas que a pesar de todo no influyó de manera significativa en la homogeneidad del resto del cuerpo de la misma, lo que se puede apreciar con los resultados de homogeneidad de espesores para las secciones de panel y base las cuales se mantuvieron entre valores normales de especificación.

Para el caso de las otras muestras sopladas con la resina Nanya, éstas no presentaron ningún tipo de irregularidad dentro de la homogeneidad de sus espesores a lo largo de todo el cuerpo de las botellas (*tabla 4.2*).

Es apreciable en la *tabla B.3* que las medidas de espesores tomadas para el hombro presentaron un valor más alto para la primera lectura realizada y es precisamente en esta zona donde comienza la fase de transición de la preforma en la cual este valor indica si hay acumulación o no de material en el cuello de la botella.

El hecho de presentar exceso de material en la fase de transición implica una pérdida potencial de CO₂ por la presencia de material no bi-orientado, lo que conlleva a un producto con características no esperadas dentro de su vida útil.

Una de las principales causas de que las botellas presentaron un exceso de material en esta fase se le atribuye a un no adecuado ajuste en el perfil de temperatura dentro del horno. Dicho horno trabaja con calor radiante liberado por las lámparas infrarrojas directamente sobre las preformas y éstas pueden ajustarse individualmente, en donde un óptimo ajuste de perfil está comprendido en un rango de temperatura de 90 – 110 °C y debe caracterizarse por ir de mayor a menor empezando desde el cuello de la preforma donde se inicia el empuje del material para una uniformidad en la distribución de éste, ya que son las condiciones necesarias para apropiarse la preforma a su posterior proceso de estirado, presoplado y soplado.

Tomando en cuenta lo anterior existe la necesidad de mantener la homogeneidad de espesores, y para ello debe existir un perfil de temperatura que mantenga el cuerpo ligeramente más caliente que el cuello ya que éste debe estirarse más, lo que implica entonces que el ajuste individual de la potencia de cada lámpara sea tal que entre ellas se visualice una curvatura (*figura 4.1*). Cabe destacar que al iniciar los análisis para las resinas estudiadas, las condiciones de soplado en la máquina Blomax 14, serie III fueron las mismas, presentando un rango de variación en sus parámetros de ± 3 .

Tabla 4.1 Perfil homogéneo de espesores para la resina Jade.

| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hombro (mm) | 0,370 | 0,389 | 0,376 | 0,369 | 0,396 | 0,363 | 0,392 | 0,402 | 0,379 | 0,353 | 0,357 | 0,357 | 0,347 | 0,363 |
| Panel (mm) | 0,321 | 0,314 | 0,329 | 0,314 | 0,350 | 0,353 | 0,332 | 0,342 | 0,315 | 0,317 | 0,323 | 0,297 | 0,308 | 0,307 |
| Base (mm) | 0,320 | 0,319 | 0,311 | 0,325 | 0,306 | 0,313 | 0,331 | 0,320 | 0,322 | 0,320 | 0,322 | 0,339 | 0,346 | 0,351 |
| Perfil H. (mm) | 0,337 | 0,341 | 0,339 | 0,336 | 0,350 | 0,343 | 0,352 | 0,355 | 0,339 | 0,330 | 0,334 | 0,331 | 0,334 | 0,340 |
| Maximo (mm) | 0,371 | 0,375 | 0,373 | 0,370 | 0,385 | 0,377 | 0,387 | 0,390 | 0,373 | 0,363 | 0,367 | 0,364 | 0,367 | 0,374 |
| Minimo (mm) | 0,303 | 0,307 | 0,305 | 0,303 | 0,315 | 0,309 | 0,317 | 0,319 | 0,305 | 0,297 | 0,301 | 0,298 | 0,300 | 0,306 |

Homogeneidad

Tabla 4.2 Perfil homogéneo de espesores para la resina Nanya.

| Moldes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hombro (mm) | 0,328 | 0,340 | 0,352 | 0,352 | 0,348 | 0,341 | 0,358 | 0,367 | 0,364 | 0,344 | 0,344 | 0,324 | 0,331 | 0,335 |
| Panel (mm) | 0,310 | 0,320 | 0,316 | 0,304 | 0,315 | 0,352 | 0,323 | 0,326 | 0,339 | 0,327 | 0,340 | 0,318 | 0,312 | 0,307 |
| Base (mm) | 0,330 | 0,326 | 0,330 | 0,318 | 0,341 | 0,342 | 0,346 | 0,322 | 0,345 | 0,330 | 0,330 | 0,348 | 0,331 | 0,334 |
| Perfil H. (mm) | 0,323 | 0,329 | 0,333 | 0,325 | 0,335 | 0,345 | 0,342 | 0,338 | 0,349 | 0,334 | 0,338 | 0,330 | 0,325 | 0,325 |
| Maximo (mm) | 0,355 | 0,362 | 0,366 | 0,357 | 0,368 | 0,379 | 0,376 | 0,372 | 0,384 | 0,367 | 0,372 | 0,363 | 0,357 | 0,358 |
| Minimo (mm) | 0,290 | 0,296 | 0,299 | 0,292 | 0,301 | 0,310 | 0,308 | 0,305 | 0,314 | 0,300 | 0,305 | 0,297 | 0,292 | 0,293 |

Homogeneidad

Comparando los estudios con los de Mogollón², se visualizó la variación existente en los ajustes ya establecidos por ésta para un óptimo proceso de soplado de botellas con respecto a las condiciones utilizadas actualmente para dicho proceso, en donde se puede aclarar que las condiciones de temperatura de preforma se mantuvieron en un valor promedio de 94,7 °C, siendo ésta establecida anteriormente en un rango de 100 – 103 °C. De lo anterior se puede deducir que el proceso continúa dentro de las condiciones de temperatura aceptables ya que la apariencia de las botellas fueron las esperadas debido a que si esta temperatura estuviese considerada muy cercana a la temperatura de transición vítrea, las botellas sopladas presentarían en alguna zona de su cuerpo el defecto físico conocido como aperlado (aspecto blanco nacarado) debido a la generación de micro-fisuras en la superficie interior de la pared que refractan la luz.

Siendo la bi-orientación una de las propiedades que hace al PET un material ideal para la fabricación de botellas para bebidas gaseosas, es considerable entonces que el proceso de soplado debe efectuarse de modo que se convierta el material amorfo en un material altamente orientado. Por ser el PET un polímero semicristalino (solo un porcentaje de sus moléculas pueden agruparse de manera ordenada) su región amorfa tiende a ser más permeable a las moléculas de CO₂ que las áreas cristalinas¹⁸. Una buena distribución del material en un envase PET debe ser lo más uniforme posible ya que es más importante que el peso existente en cada sección de la botella para maximizar las propiedades de barrera del envase y el desempeño adecuado en la vida de anaquel del producto.

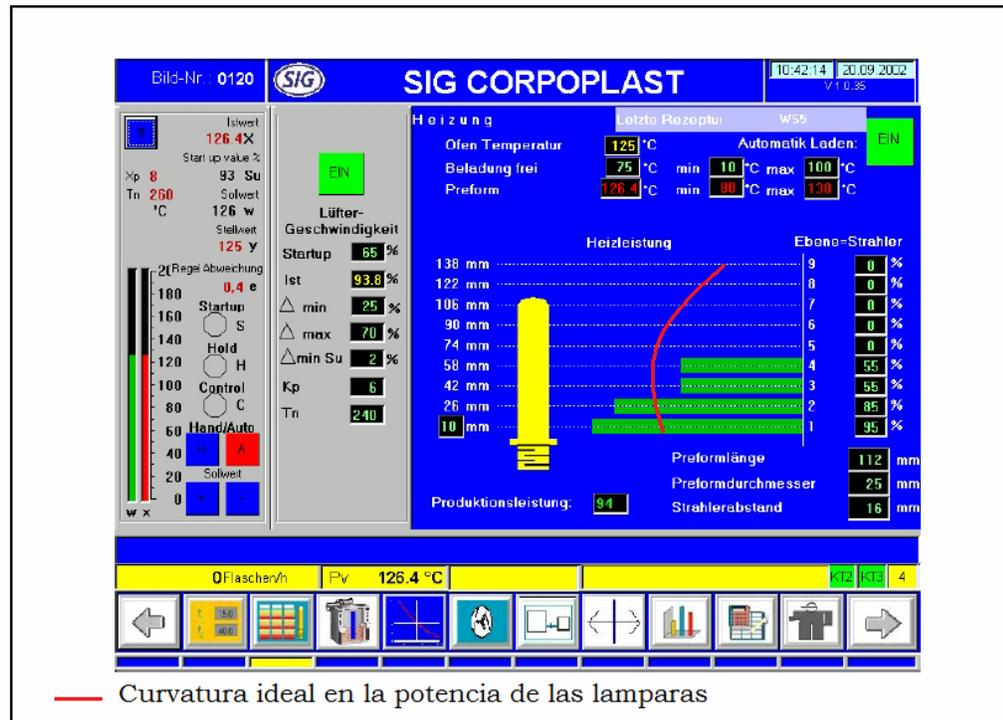


Figura 4.1 Menú de calefacción en la pantalla de la Blomax 14, serie III.

Todas las botellas superaron la prueba de resistencia a la presión (Burt Test), ya que ninguna estalló mientras estuvieron sometidas a la presión de la prueba (135 psi).

Para el cálculo del porcentaje de expansión de las botellas sopladas con la resina Jade se presentaron valores considerablemente altos en comparación con los porcentajes obtenidos en las botellas sopladas con resina Nanya. Estos datos para el porcentaje de expansión fueron registrados en la misma hoja de cálculo de Excel (*tabla 3.1*) en donde se encuentran los valores de espesores, y fueron calculados de acuerdo a lo ya explicado en la muestra de cálculo en el *capítulo II*.

La apariencia de las botellas de resina Jade posterior a la prueba fue en forma recta, es decir, habían perdido su curvatura original según el diseño (*figura 4.2*), lo que indica que el área del panel fue la que sufrió la mayor deformación al expandirse,

lo que puede constatar lo expuesto anteriormente sobre el perfil homogéneo de espesores ya que debido a la acumulación de material en el área del cuello no pudo ser posible una exacta distribución durante el proceso de soplado, lo que conllevó a un panel menos resistente a las presiones internas. Se puede deducir que botellas sopladas en estas condiciones facilitan la pérdida de CO₂ por la existencia de porosidad en esta área y por la posibilidad del plástico en ceder a la presión sometida durante todo su período de vida útil. Dicha porosidad es regulada mediante las presiones de soplado y la temperatura de enfriamiento de los moldes los cuales se mantuvieron dentro de un promedio de 34,5 bares y 6 – 9 °C respectivamente.

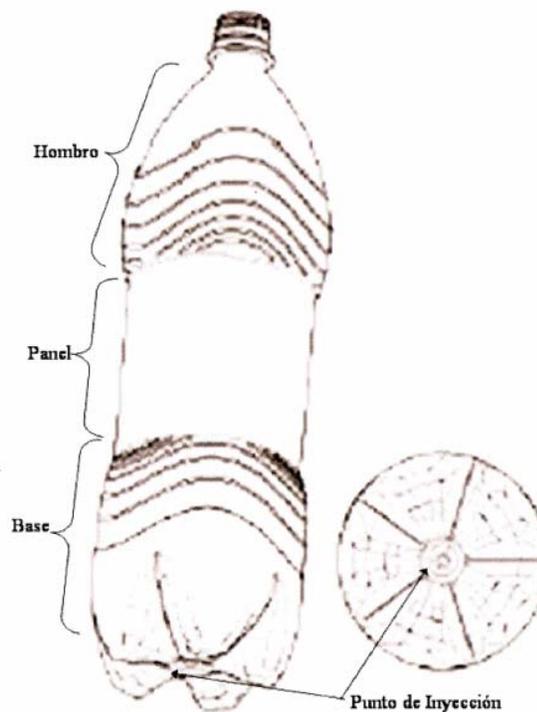


Figura 4.2
diseño carolina. Fuente: Bedenko, V., Volumen 2.

Botella PET

4.2 Análisis estadístico de los valores obtenidos en la prueba de torque en las tapas plásticas del envase

Para el análisis estadístico aplicado a los datos de torque arrojados mediante la prueba que lleva el mismo nombre (prueba de torque), se visualizó en los gráficos de control (*figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6*) que fueron aproximadamente 25% los valores que se encontraron fuera de los límites de control.

En los gráficos de torque de remoción (*figuras 4.3 y 4.5*) se observó que los valores de torque que sobrepasaron los límites siempre estuvieron fuera del límite superior de control, exceptuando un solo punto que se encontraba por debajo del límite inferior de control, es decir, dichos valores representaron un torque de remoción más alto del nivel calculado.

Los valores que se encontraron fuera en los gráficos de torque de incremento (*figuras 4.4 y 4.6*) estuvieron siempre por debajo del límite inferior de control, sin embargo se debe destacar que el rango de los límites para torque de incremento están comprendidos entre 11 y 16 mientras que el rango de los límites para torque de remoción están comprendidos entre 9 y 13, lo que indica que los valores obtenidos se mantuvieron dentro del rango aceptable por la empresa.

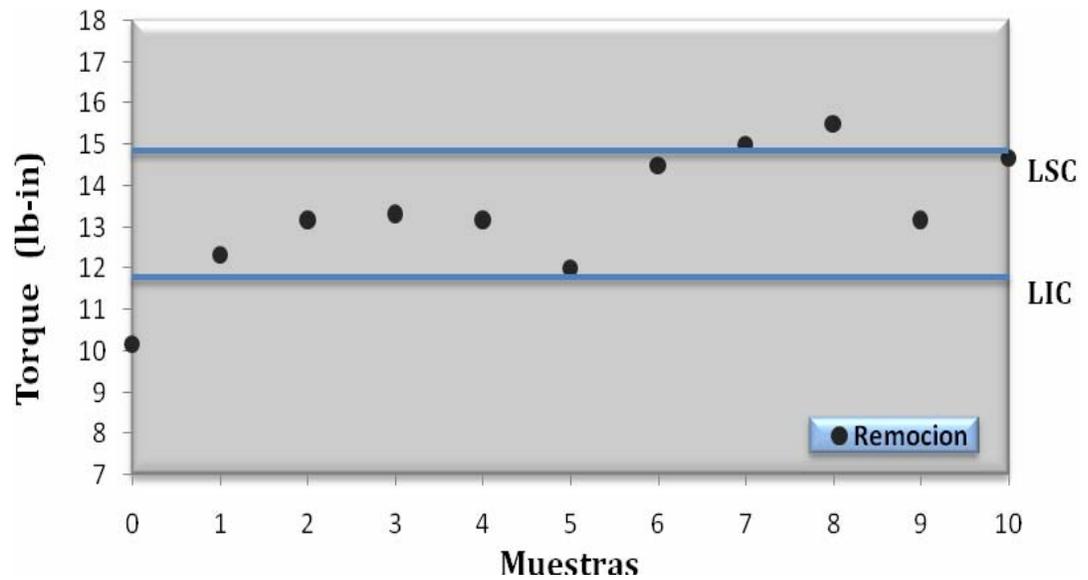


Figura 4.3 Gráfico de control para torque de remocion en el envasado del producto con resina Nanya.

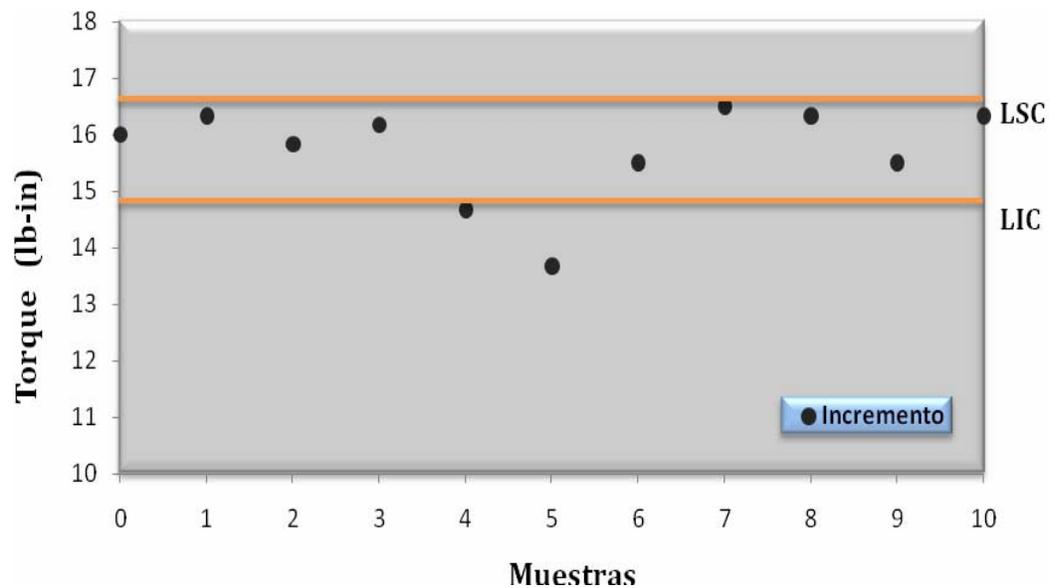


Figura 4.4 Gráfico de control para torque de incremento en el envasado del producto con resina Nanya.

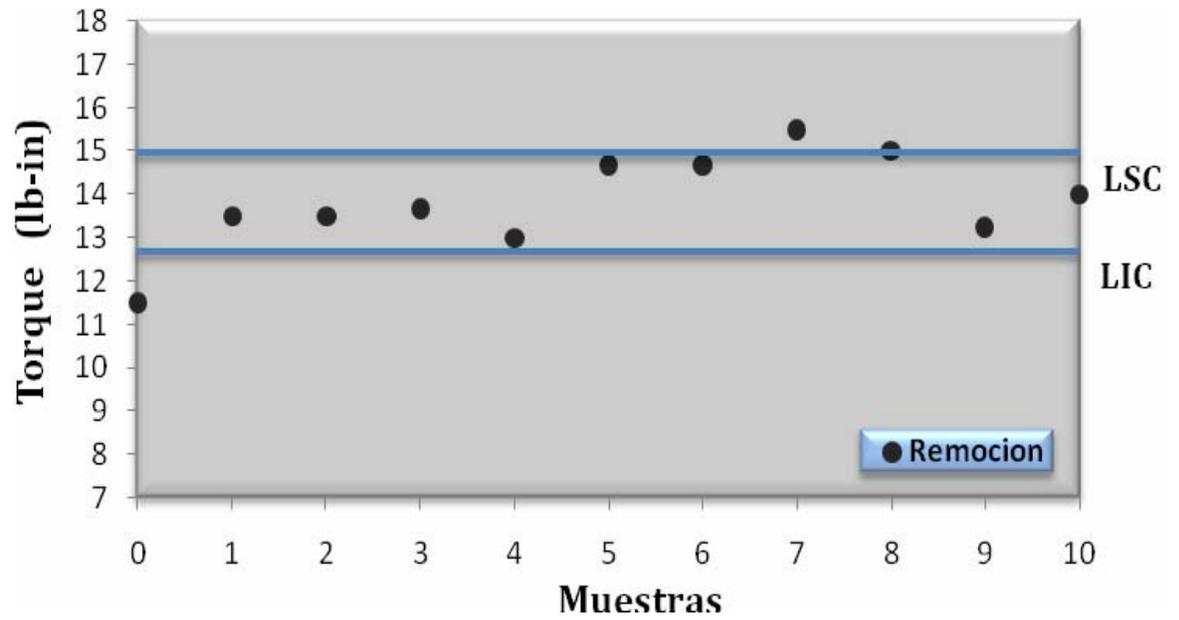


Figura 4.5 Gráfico de control para torque de remocion en el envasado del producto con resina Jade.

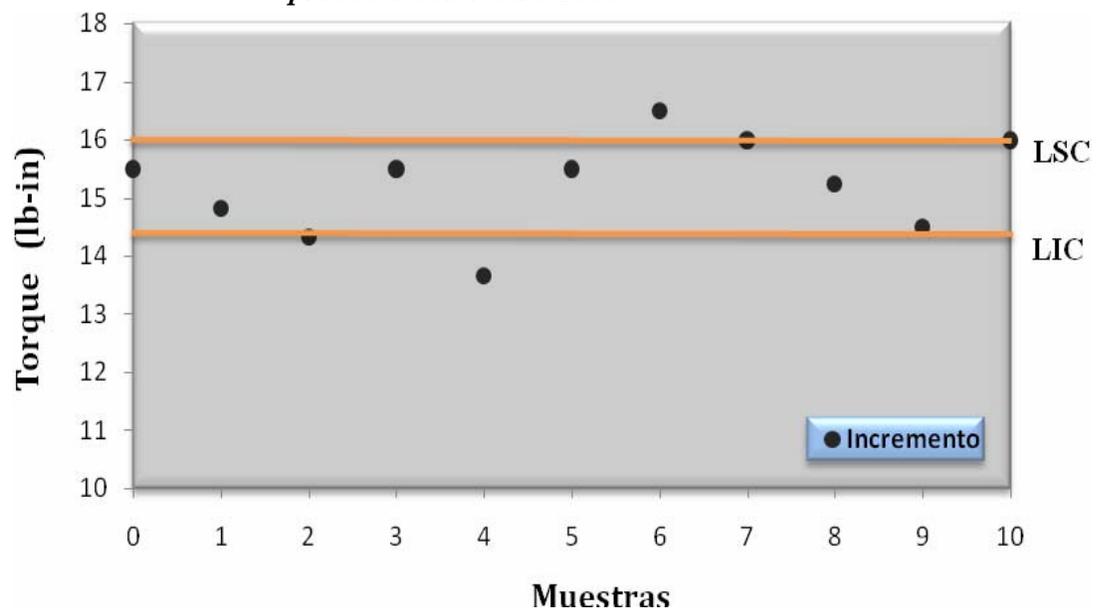


Figura 4.6 Gráfico de control para torque de incremento en el envasado del producto con resina Jade.

De lo anterior se puede deducir que el trabajo de tapadura de botellas de la máquina *Simonazzi Eurotrónica FM* se encontraba bajo control por no presentar mayores fluctuaciones. En comparación con los límites establecidos por Pepsico Internacional, el trabajo de tapadura de esta máquina se encontraba por encima de estos, lo que indica que la fuerza de aplicación de las tapas fue mucho más fuerte que el normal establecido por la empresa, favoreciendo así la minimización de la pérdida de carbonatación e indicando que la botella presentó una buena resistencia.

Esta prueba no arroja resultados significativos mientras sea la única que se practique para el estudio de la tapa ya aplicada en el envase. Un buen acompañante de ésta podría ser un probador que determine la habilidad de las tapas para soportar altas presiones, manteniendo la unión de la rosca y manteniendo la integridad del sello. Para ello se puede mencionar la prueba Alcoa PAT (*apéndice D*) ya que su principio de operación se basa en la determinación de la buena aplicación de la tapa soportando esta altas presiones comprendidas entre los 150 y 175 psi sin que haya pérdida de gas y sin que la tapa se desprenda, ya que a partir de esta prueba se puede a retener el producto si se observan resultados inaceptables. Cabe destacar que los valores de la tabla C.2 fueron los utilizados para la construcción de los gráficos de control nombrados en esta sección.

Una mala aplicación de la tapa puede originar una pérdida de carbonatación o un desprendimiento prematuro de la tapa de la botella. La aplicación a máquina de las tapas debe proveer un sello de presión efectivo para la carbonatación de la bebida y a la vez permitir su remoción a un nivel razonable de torque aplicado manualmente. El torque de remoción requerido debe estar en función de las dimensiones y características del acabado, así como de las características de operación de la máquina tapadora y el diseño de la tapa.

4.3 Análisis mediante graficas del comportamiento del CO₂ retenido en las bebidas gaseosas ya envasadas con respecto al tiempo de análisis y sus condiciones de almacenamiento

En los análisis de los niveles de carbonatación de las muestras almacenadas a diferentes condiciones de temperatura se observó que el producto envasado en las botellas sopladas con la resina Jade presentaron una mayor tendencia a la caída de los niveles de carbonatación en comparación con el producto envasado en las botellas sopladas con la resina Nanya (*Figuras 4.7 y 4.8*). Esta observación resalta una vez más lo expuesto en las secciones anteriores en donde se pone de manifiesto las alteraciones presentes en las características de calidad de las botellas de resina Jade determinadas por la aplicación de las pruebas más significativas en el área de soplado; caso contrario que ocurrió en las botellas de resina Nanya que no presentaron características irregulares de calidad a pesar de que ambas resinas fueron tratadas a las mismas condiciones en el proceso de soplado, es decir, ambos tipos de resinas fueron sopladas con la misma receta. En la *figura 4.8* se observa que la caída de los niveles de carbonatación sobrepasa el nivel mínimo establecido por Pepsico Internacional en un tiempo de 7,2 semanas lo que indica un 28 % aproximadamente por debajo del tiempo de vida útil de 10 semanas establecido para botellas de 1,5 litros de capacidad.³

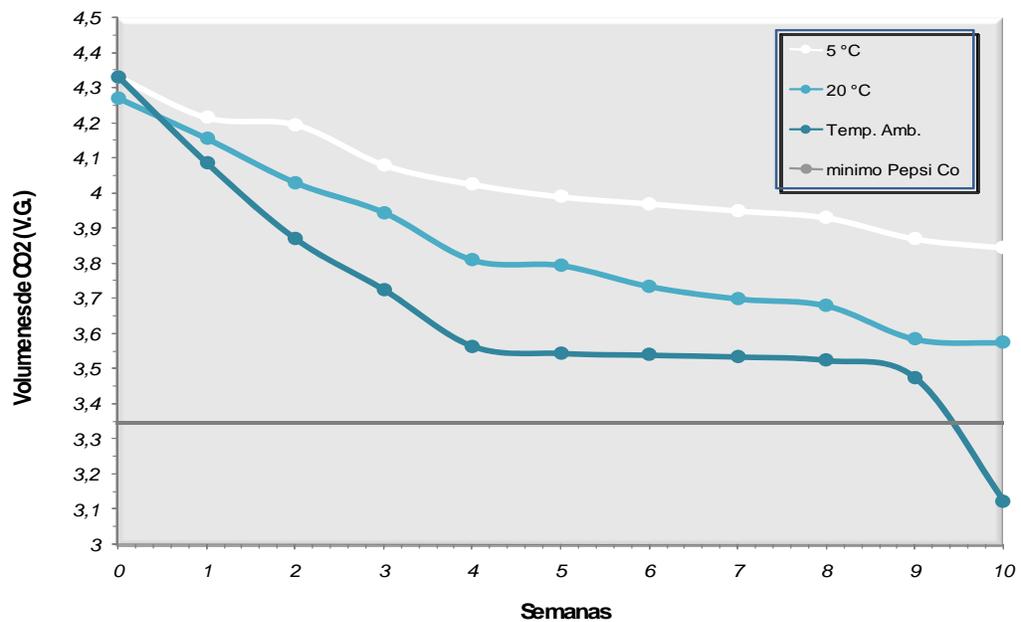


Figura 4.7 Comportamiento del CO₂ en las botellas sopladadas con la resina Nanya durante su periodo de almacenamiento en las diferentes condiciones de temperatura.

Tomando en cuenta la relación de pérdida del CO₂ del producto ya envasado, a diferentes condiciones de temperatura de almacenamiento, se puede visualizar entonces que en las *figuras 4.9, 4.10 y 4.11* se pone de manifiesto más detalladamente el comportamiento del CO₂ a lo largo del tiempo en que tuvieron almacenadas las muestras. Es claro que para un almacenamiento de 5 °C de temperatura (*Figura 4.9*) ambas muestras de resinas usadas en las botellas, mantuvieron un nivel de carbonatación muy superior al mínimo establecido por Pepsico Internacional. Observándose favorablemente que dentro de la vida útil del producto nunca hubo una pérdida superior al 16% de carbonatación (*tabla 4.3*), siendo este porcentaje de pérdida el más notable por el consumidor.

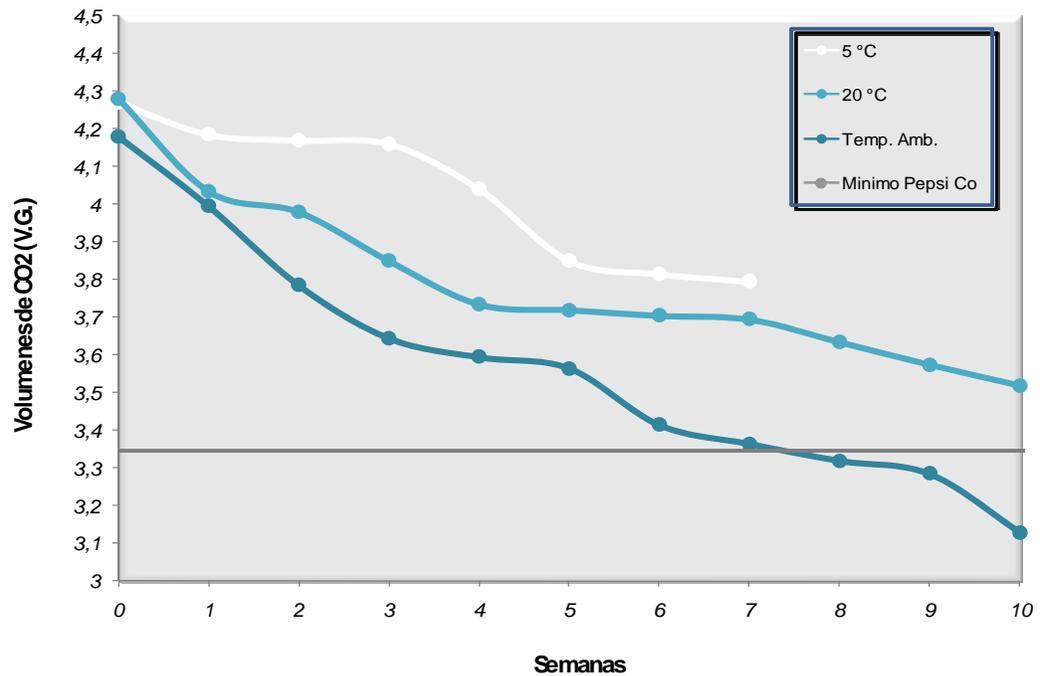


Figura 4.8 Comportamiento del CO₂ en las botellas sopladas con la resina Jade durante su periodo de almacenamiento en las diferentes condiciones de temperatura.

Con lo explicado anteriormente queda en claro que mientras se mantenga el producto envasado en ambientes de bajas temperaturas es más favorable para las características de calidad que aseguran un producto aceptable por el consumidor, se mantengan a lo largo de la vida útil de este, ya que una de las propiedades que caracterizan al CO₂ gaseoso es que mantiene una excelente solubilidad en frío y a mayor presión. Es por esto que el mezclado y el envasado del producto se realizan a una temperatura alrededor de los 4 °C. Mientras tanto la *figura 4.9* representa las botellas de ambas resinas almacenadas a 20 °C en donde se observó que la tendencia de los niveles de carbonatación muestran una caída superior a las muestras almacenadas a 5 °C de temperatura. Aun así estos niveles no se encuentran por debajo del mínimo aceptable por PepsiCo Internacional, es decir, que estas muestras almacenadas a 20 °C mantuvieron todavía un comportamiento adecuado durante sus

10 semanas de vida útil en donde apenas en la semana número 9,5 de almacenamiento es donde se manifestó la pérdida del 16% de carbonatación en ambas resinas, lo cual indica que un ambiente bajo estas condiciones de temperatura continuaron siendo favorables en lo que respecta al aseguramiento de calidad del producto envasado.

Tabla 4.3 Porcentajes de pérdida de volumen de CO₂ en la bebida durante el tiempo de análisis.

| | | 5 °C | | 20 °C | | TEMP. AMBIENTE (35°C) | |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|
| | | NANYA | JADE | NANYA | JADE | NANYA | JADE |
| SEMANAS | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 1 | 2,66 | 1,99 | 2,69 | 5,72 | 5,66 | 4,43 |
| | 2 | 3,12 | 2,34 | 5,62 | 7,01 | 10,62 | 9,45 |
| | 3 | 5,77 | 2,58 | 7,61 | 10,05 | 13,97 | 12,80 |
| | 4 | 7,04 | 5,39 | 10,77 | 12,73 | 17,67 | 14,00 |
| | 5 | 7,85 | 9,84 | 11,12 | 13,08 | 18,13 | 14,71 |
| | 6 | 8,31 | 10,66 | 12,53 | 13,43 | 18,24 | 18,30 |
| | 7 | 8,78 | 11,12 | 13,35 | 13,67 | 18,36 | 19,50 |
| | 8 | 9,24 | - | 13,82 | 15,07 | 18,59 | 20,57 |
| | 9 | 10,62 | - | 16,04 | 16,47 | 19,75 | 21,41 |
| | 10 | 11,20 | - | 16,28 | 17,76 | 27,83 | 25,12 |

Sin embargo las muestras de producto envasado para ambas resinas almacenadas a temperatura ambiente fueron las que mostraron una tendencia a la caída de los niveles de carbonatación mucho mayor que las otras dos condiciones de almacenamiento de 5°C y 20°C.

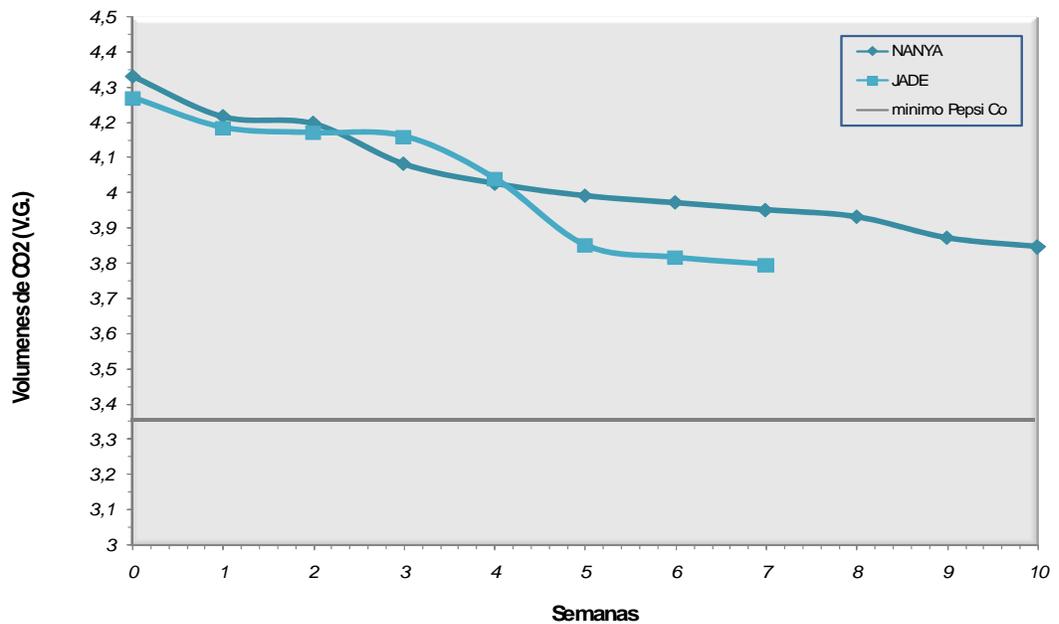


Figura 4.9 Comportamiento del CO₂ en las botellas sopladas con ambas resinas durante su período de almacenamiento a 5°C.

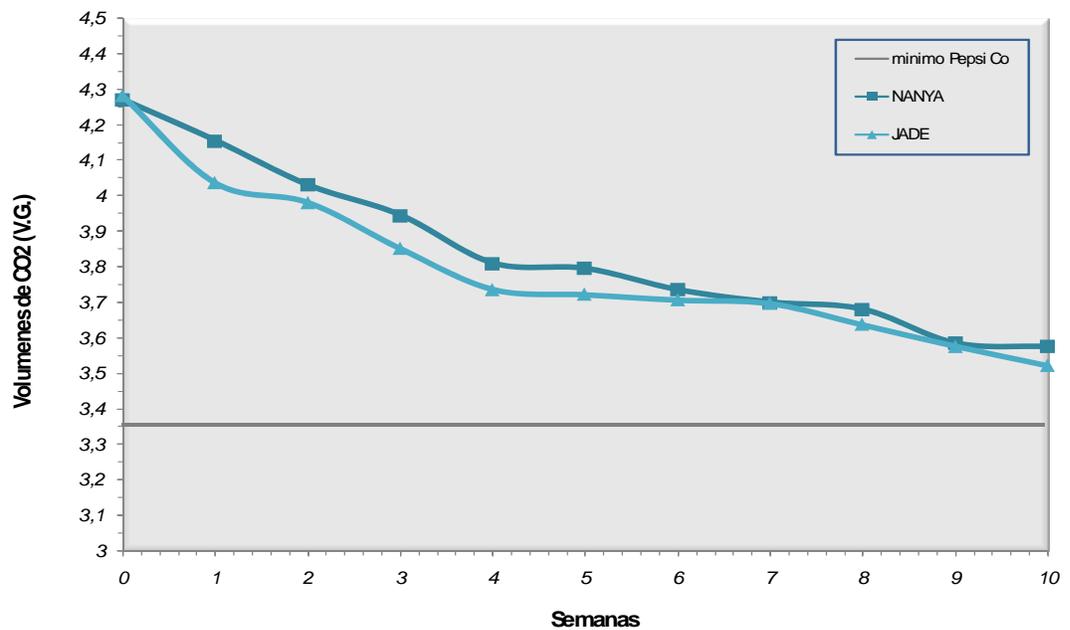


Figura 4.10 Comportamiento del CO₂ en las botellas sopladas con ambas resinas durante su período de almacenamiento a 20°C.

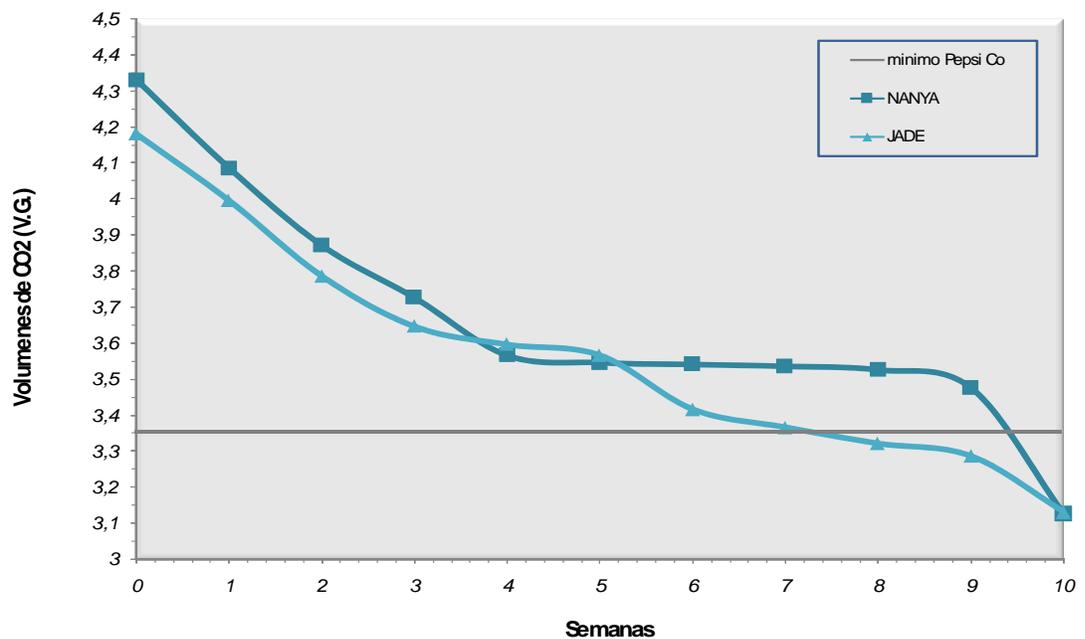


Figura 4.11 Comportamiento del CO₂ en las botellas sopladas con ambas resinas durante su período de almacenamiento temperatura ambiente.

Se muestra en la *figura 4.11* que los niveles si cruzaron el mínimo aceptable por Pepsico Internacional en la semana numero 7 para las muestras envasadas con resina Jade y en su ultima semana para las muestras envasadas con resina Nanya. Siendo lo mas alarmante la perdida del 16% de carbonatacion en un tiempo de 4 semanas de almacenamiento para la resina Nanya y en 6 semanas para la resina Jade lo que representa 60 % y 40% respectivamente por debajo del tiempo de vida util.

Se puede apreciar para las tres condiciones de almacenamiento, que ambas resinas presentaron una tendencia similar independientemente de cuanto fueron las disminuciones de los niveles de carbonatacion. Se deduce entonces que a pesar de que se viene arrastrando irregularidades en la calidad del envase en una de las resinas esta vez toma mayor relevancia las condiciones ambientales en las cuales son almacenados los productos ya envasados definiendose como perjudicial en la calidad

del producto envasado a temperaturas de almacenamiento aproximadas a la temperatura ambiente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Mediante la medición de espesores en las botellas sopladas con resina Jade se observó la acumulación de material amorfo en el cuello.
2. Durante el proceso de soplado, la temperatura de preforma se encontraba dentro de un valor aceptable alrededor de 5,3 °C por debajo de la temperatura ya establecida por Mogollón².
3. El perfil de temperatura dentro del horno en el soplado con resina Jade no mantuvo el ajuste apropiado.
4. Todas las botellas superaron la prueba del Burt Test durante el tiempo establecido.
5. El diseño de las botellas sopladas con resina Jade presentó deformaciones en el área del panel luego de practicárseles la prueba del Burt Test.
6. Las pruebas de perfil homogéneo de espesores y de resistencia a la presión guardan una importante relación en lo que respecta a la calidad de la botella.
7. Fueron muy pocos (aproximadamente un 25%) los valores que se mantuvieron fuera de los límites de control durante la prueba de torque.
8. El desempeño de la maquina *Simonazzi Eurotronica FM* como tapadora de botellas se encontraba bajo control.
9. La prueba de torque por sí sola no arroja resultados significativos.

10. El producto envasado con la resina Jade presentó mayor caída de los niveles de carbonatación que el producto envasado con la resina Nanya.
11. Las muestras almacenadas a 5 °C no presentaron la pérdida del 16% de carbonatación durante su vida útil de 10 semanas.
12. La pérdida más resaltante del 16% de carbonatación corresponde a las muestras almacenadas a temperatura ambiente.
13. En un 60% por debajo del tiempo de vida útil las muestras envasadas con resina Nanya presentaron la pérdida del 16% de carbonatación.
14. El almacenamiento del producto envasado también se consideró de vital importancia.
15. A menor temperatura de almacenamiento mayor es el tiempo de durabilidad de las características de calidad del producto.

5.2. Recomendaciones

1. Establecer de manera definitiva las condiciones en las que fueron sopladas las preformas de resina Nanya.
2. Ajustar el perfil de temperatura dentro del horno de acuerdo a lo discutido en las secciones anteriores para el soplado de resina Jade.
3. Realizar posteriores estudios para establecer las condiciones de soplado para cada una de las resinas utilizadas en Pepsi Cola, Planta Barcelona.
4. Aumentar el espesor de las preformas para así disminuir la permeabilidad de las botellas.

5. Crear la posibilidad de reducir el finish (*anexo E*) de la botella de manera que compense el gramaje del aumento de espesor.
6. Considerar como fundamental la relación que guardan la prueba del perfil homogéneo de espesores y la prueba del burt test.
7. Implementar dentro del aseguramiento de calidad la prueba hidrostática Alcoa PAT (apéndice D) a las tapas aplicadas.
8. Estudiar la posibilidad de mantener un ambiente fresco a temperatura un poco más baja que la temperatura ambiente en el área de almacenamiento de producto ya envasado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pepsi-Cola Venezuela, **“HISTORIA”**. Disponible en portal intranet: <http://portal-empresas-polar/portal01/Portal/Corporaci%C3%B3n/>.(2004)
2. Mogollón, L. **“Evaluar el proceso de soplado como variable de control de calidad para la determinación del periodo de vida útil de bebidas gaseosas en botellas plásticas”** Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente. Venezuela (2006).
3. Packaging Systems & Enterprises Inc. **“Results of CO₂ Retention Predictive Equation Testing”**. Informe técnico. Mexico, febrero (2004)
4. Krones magazine **“Ensayos en tiempo real de identidad del PET”**. Revista Técnica. Edición Marzo (2004).
5. Mathot V. B.F., **“Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers”**. Hanser Publishers, Munich Vienna New York, (2004)
6. Billmeyer, F. **“Ciencia de los Polimeros”**. Editorial Reverté S.A. España (1975)
7. **Operaciones PET/Pepsi Sacbu**, Manual de Consulta, capítulo 2, (1999)
8. APREPET A.C. **“Información Técnica”**. Disponible en: http://www.aprepet.org.mx/esp/sec_2/Informaci%C3%B3nT%C3%A9cnica.pdf. (2004)
9. Askeland, D.; Phulé P., **“Ciencia e Ingeniería de los Polímeros”**. (2000)
10. The Dow Chemical Company, **“Procesos de Fabricación”** (1995-2008). Disponible en: [http://plastics.dow.com/plastics/la /span/fab/molding/blow.html](http://plastics.dow.com/plastics/la/span/fab/molding/blow.html)

11. Hansen, B.; Hansen, G.; Prabhakar M., **“Control de Calidad”**. Ediciones Díaz de Santos S.A. (1995)
12. Schaum, **“Estadística”**, editorial McGRAW-Hill. España (1980)
13. Cermeño, J. **“Diseño de Experimentos”**. Primera edición, fondo editorial UDO. Anzoátegui, Venezuela (1998).
14. **“Manual De Referencia Para El Operador”**. SIG Corpoplast. Blomax 10 – Blomax 20, Serie III. Italia (2002).
15. **“Mezclador, manual de uso y mantenimiento”**. Vol.1. SIG SIMONAZZI, S. p. A. ITALIA (2002)
16. **“Llenadora, manual de uso y mantenimiento”**. Vol.1. SIG SIMONAZZI, S. p. A. Italia (2002).
17. **“SK, manual de uso y mantenimiento”**. Confeccionadora a film termorretráctil de alta velocidad. SMI, S. p. A. Headquarters. Italia (1999)
18. Pepsi Co. Beverages Internacional. **“Manual de Empaque LARB-2006”**. Versión en español.
19. Bedenko, V. **“Manual de Métodos Analíticos”**, Volumen 2. 3ra Revisión. Pepsi – Cola de Venezuela, Enero, (2004).
20. **Operaciones PET/Pepsi Sacbu**, Manual de Consulta, capítulo 8, (1999).
21. Eastman Chemical Company, **“PEPSI—PLASCO”**. Informe técnico. Chile. (2001).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

| | |
|-----------|--|
| TÍTULO | “Evaluación de la retención de CO₂ en botellas PET (polietileno tereftalato) en la producción de bebidas gaseosas” |
| SUBTÍTULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CÓDIGO CVLAC / E MAIL |
|-------------------------------------|--|
| Perdomo Gallardo, Ana Karina | CVLAC: 17.090.066 EMAIL: anitak_per@hotmail.com |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluación

Retención

Polietileno tereftalato

Dióxido de carbono

Botella

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

| ÁREA | SUB ÁREA |
|---------------------------------|--------------------|
| Ingeniería y Ciencias Aplicadas | Ingeniería Química |

RESUMEN (ABSTRACT):

Para el estudio de la retención del CO₂ en botellas sopladas en Pepsi-cola de Venezuela, Planta Barcelona, se realizaron diversas pruebas y análisis. Entre ellas estuvieron, el análisis a las condiciones del proceso de soplado a cada tipo de resina utilizada en planta mediante las pruebas de perfil homogéneo de espesores y resistencia a la presión. Se aplicó la prueba de torque a las tapas de las botellas analizando el proceso mediante gráficos de control, así como también se realizaron los análisis de carbonatación a las muestras almacenadas a diferentes temperaturas (5°C, 20°C y ambiente) durante su período de vida útil de 10 semanas. Se logró observar una irregularidad en el soplado de las botellas con resina Jade a lo cual se le atribuyó la pérdida de CO₂ con valores fuera de los permitidos. Se destacó la normalidad en el proceso de soplado para botellas de resina Nanya. Se obtuvo de esta manera las bases para las propuestas creadas, dirigidas a la optimización de la producción y calidad de lo que es su producto referencial (*pepsi*). Para ello se tomó en cuenta trabajos realizados anteriormente y especificaciones establecidas por PepsiCo Internacional.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

| APELLIDOS Y NOMBRES | ROL / CÓDIGO CVLAC / E-MAIL | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------|-----------|--------------|
| Cova, Alexis. | ROL | CA | AS (X) | TU | JU |
| | CVLAC: | V- 11.905.328 | | | |
| | e-mail: | alexiscovab@gmail.com | | | |
| Mogollón, Lohanna | ROL | CA | AS | TU | JU(X) |
| | CVLAC: | V- 15.568.382 | | | |
| | e-mail: | lohannamb@hotmail.com | | | |
| Obando, Yaneis | ROL | CA | AS | TU | JU(X) |
| | CVLAC: | V- 5.476.677 | | | |
| | e-mail: | Obandoyhotmail.com | | | |
| Silva, Hector | ROL | CA | AS | TU | JU(X) |
| | CVLAC: | | | | |
| | e-mail: | | | | |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| | | |
|-------------|------------|------------|
| 2010 | 02 | 03 |
| AÑO | MES | DÍA |

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|--|--------------------------|
| Tesis.Evaluación_retenciónCO2_botellasPET.doc | Aplicación/msword |
| | |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N
O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8
9.

ALCANCE

ESPACIAL: **Pepsi Cola** (OPCIONAL)

TEMPORAL: (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Ana Karina Perdomo Gallardo

AUTOR

Alexis Cova

TUTOR

Yaneis Obando

JURADO

Hector Silva

JURADO

Lohanna Mogollón

JURADO

Prof. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS