

CAPITULO VII

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización del proceso de fabricación de chicle.

El proceso de fabricación de goma de mascar, es un proceso que maneja diversas condiciones de humedad y temperatura, las cuales si no son controladas adecuadamente pueden perjudicar el comportamiento de la goma, lo que se verá reflejado en características indeseables en el producto recubierto (pastillas). Es por ello que el análisis y estudio de las condiciones de procesamiento de la goma (previo al recubierto) es de gran ayuda.

7.1.1 Etapas del proceso de fabricación de goma de mascar.

En la planta analizada en este estudio, el proceso de fabricación de goma de mascar se lleva a cabo bajo ciertas especificaciones y normas establecidas por la empresa en el manual de normas y especificaciones de fabricación de la goma “Barchcard” (Cadbury Adams, 2002), las etapas del proceso consideradas y sus especificaciones son fundido, mezclado, laminado (pre-extruído, marcado y extruído) y acondicionamiento.

7.1.1.1. Etapa 1: Fundido

Esta etapa consiste en fundir la base o polímero sintético (sólido) en un mezclador de fondo mostrado en la Figura 7.1; este equipo cuenta con una chaqueta de vapor como medio de calentamiento para fundir la base, la temperatura de fusión de la base debe encontrarse un rango de 85 a 95 °C, y no debe exceder de 95 °C.

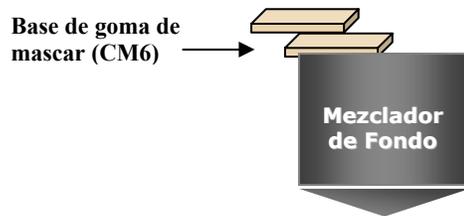


Figura 7.1. Mezclador de fondo

La base fundida es transportada a través de tuberías enchaquetadas con agua caliente, hasta llegar al área de mezclado. El registro de temperatura obtenido en este estudio de la base fundida fue de 77.6 ± 3.14 °C.

7.1.1.2 Etapa 2: Mezclado

La etapa de mezclado consiste en la incorporación de sacarosa pulverizada, glucosa, base fundida y saborizantes para formar la denominada goma de mascar, lo cual se realiza en un mezclador tipo volteo enchaquetado mostrado en la Figura 7.2.

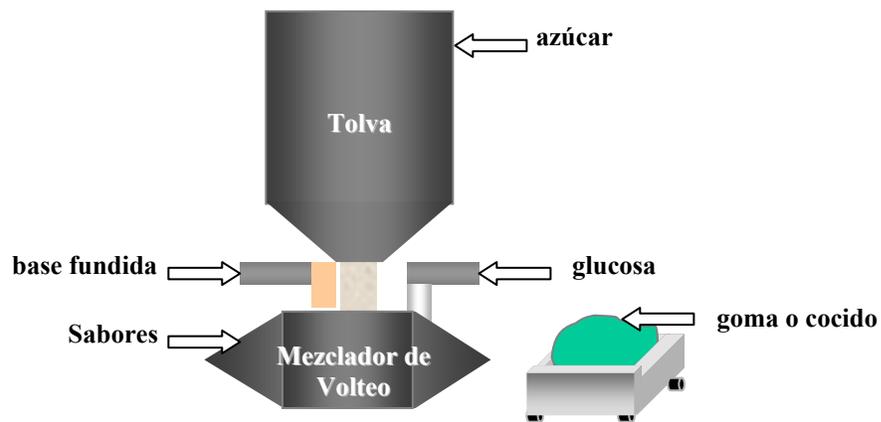


Figura 7.2 Mezclador de volteo, tolva y carro para transportar la goma o cocido al pre-extrusor.

Para la incorporación de los ingredientes mostrados en la Figura 7.2 se deben seguir ciertas condiciones y el siguiente orden:

En la primera etapa:

1. Se adiciona el reproceso (no debe exceder el 15% de un lote), este reproceso es pastilla molida que no debe tener más de 30 días de almacenamiento y pastilla sin moler que no debe tener más de 3 meses de haberse producido.

Los productos de reproceso son pastillas que sufrieron daños durante el recubierto como pastillas: deformes, cuatas (pegadas), con moteo (grumos en la superficie), mal recubiertas entre otros, otro material de reproceso son las láminas (o centros laminados), que durante la fabricación de la goma se encontraron fuera de especificación.

2. Se adiciona la base fundida, la cual debe mantenerse a una temperatura de 70 ± 5 °C.
3. Se incorpora el jarabe glucosa, el cual debe cumplir con especificaciones descritas en el Batchcard (Cadbury Adams, 2002); jarabe incoloro, inodoro y con sabor dulce. La temperatura de manejo de debe ser alrededor de 50 ± 2 °C.
4. Se agita la mezcla.

En una segunda etapa:

1. Se adiciona la sacarosa pulverizada, y se agita.
2. Se adicionan los sabores, y se agita.
3. Se continua el proceso de mezclado hasta obtener una mezcla homogénea.
4. Finalmente se detiene el mezclador, se retira la goma o cocido, y se coloca en un carro que la transporta al pre-extrusor. La goma se debe mantener en intervalo de temperatura de 42°C a 48°C, y no debe exceder 52°C, a fin de evitar degradación del sabor, en caso contrario el material debe considerarse como reproceso.

7.1.1.3 Etapa 3: laminado

Esta etapa se lleva a cabo en una laminadora cuya función es dar forma a la goma tomando en cuenta las características descritas en el Manual del Supervisor de Fabricación Chicle (1995); tales características a considerar son largo, espesor y peso de la lámina, son específicas para cada marca de chicle. La laminadora mostrada en la Figura 7.3, consta de dos extrusores, un túnel, un sistema de rodillos en el cual se da el espesor y el marcado (forma y tamaño de los centros laminados), para finalmente apilar las láminas en plataformas.

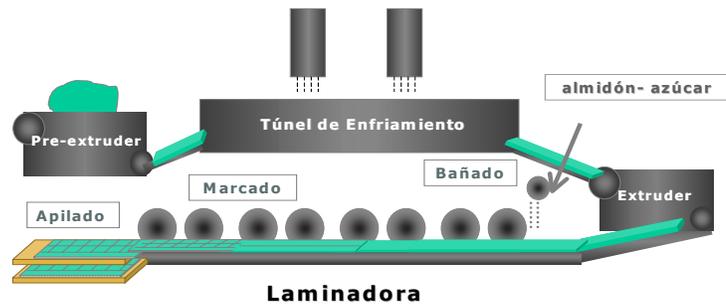


Figura 7.3. Etapa de laminado: pre-extrusor, túnel de enfriamiento, extrusor, laminadora.

a) Pre-extruido

Esta etapa tiene como fin darle forma de lámina a la goma (masa) en un extrusor, que está constituido por una banda que transportará la goma hacia el túnel de enfriamiento, en donde la deposita de forma uniforme para introducirla al túnel (Cadbury Adams, 1995). El cuerpo de este equipo cuenta con un sistema de tornillos sinfín que incorporan la goma en el extrusor, y una boquilla en donde se da la extrusión de la goma, en uno de los extremos del equipo se encuentran dos termómetros que controlan la temperatura del cuerpo, y de la boquilla.

b) Túnel de enfriamiento

La función de este equipo es disminuir la temperatura de la goma entre de 7 a 9 °C de la temperatura con la que ingresa. La temperatura del aire dentro del túnel debe ser de 6 a 10 °C (Cadbury Adams, 1995) y los componentes del equipo son:

1. Ventiladores que suministran aire frío a las toveras que se encuentran por debajo y por encima de la banda transportadora por donde circula la goma y entradas laterales de aire frío.

2. Motores de velocidad variable que controlan la velocidad con la que se mueve la banda.

c) Extruído

La goma que sale del túnel de enfriamiento entra al extrusor a una temperatura alrededor de 48 °C, pasa a través de la cámara (que es el cuerpo del extrusor), donde se encuentran dos tornillos sinfín que mezclan la goma proveniente del túnel, sobrantes de goma durante el marcado y la goma que se encuentran fuera de especificación en el momento de la fabricación. En esta etapa el operario esta pendiente de la textura y elasticidad de la goma.

d) Marcado y apilado

Después de que la goma ha sido extruída es bañada con una mezcla de almidón y azúcar, y se hace pasar a través de ocho rodillos para aplanarla a un cierto espesor y finalmente marcar los centros laminados (cada lámina marcada tiene 805 piezas). La temperatura óptima para el laminado es de 44 °C a 48 °C, los problemas empiezan cuando se encuentra por debajo de 40 °C ya que en ese caso los rodillos planos se frenan.

Cuando las láminas han sido marcadas son apiladas en grupos de seis láminas en una charola, para que finalmente sean agrupadas en una plataforma (cada plataforma tiene 60 charolas). La velocidad de apilado es de 62 láminas por minuto.

La etapa de marcado y apilado es muy importante porque distribuye las láminas al cuarto frío y se debe verificar que las especificaciones de las láminas o centros laminados sean las adecuadas para el recubierto.

7.1.1.4 Etapa cuatro: Cuarto frío

El cuarto frío (Figura 7.4) es un área de reposo de los centros laminados para lograr su acondicionamiento y llegar a 16 ° *shore* de dureza, que es el nivel adecuado para que el centro no se dañe al ser recubierto. Las condiciones de operación del aire dentro del cuarto son: temperatura de 18 ± 2 °C y humedad relativa 50 ± 5 %HR. Bajo las condiciones mencionadas la dureza de 16 ° *shore* se alcanza alrededor de las 24 horas pero las láminas pueden permanecer en el cuarto de 1 a 8 días (Cadbury Adams, 2002).

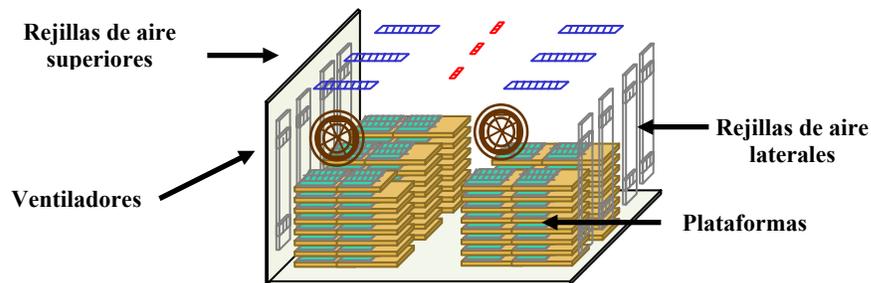


Figura 7.4. Cuarto frío empleado para el acondicionamiento de la goma antes de ser recubierto

7.1.2 Identificación de variables críticas del proceso de fabricación de goma de mascar.

De acuerdo a los objetivos de este estudio se monitorearon cada una de las etapas del proceso a fin de reconocer las *variables críticas* que están afectando a las *variables de respuesta*; es decir, encontrar las causas o fuentes de variabilidad en el proceso que generen cambios en la goma mascar. Una variable de respuesta es aquella que se monitorea para determinar la calidad del producto: peso, espesor, largo y dureza (textura), y como variable crítica aquella que durante el proceso de fabricación afectan el resultado de las variables de respuesta. Se detecta que las variables críticas e importantes para el manejo de la goma son las condiciones de operación como: temperatura y humedad relativa, tiempo de proceso así como también el reproceso adicionado, variables que afectan los cambios de humedad, a_w y dureza de la goma. Por lo anterior el monitoreo se enfoca en la evaluación del proceso, previo a la etapa de recubierto de la goma.

- a.** Temperatura de la base, actividad de agua (a_w) de la base antes y después de fundir.
- b.** Temperatura de la glucosa incorporada en el mezclado.
- c.** Temperatura, a_w y humedad de la goma al retirarse de los mezcladores.
- d.** Temperatura, a_w y humedad de la goma a la salida del pre-extrusor.
- e.** Temperatura, a_w y humedad de la goma salida del túnel de enfriamiento
- f.** Temperatura, humedad relativa (%HR) y velocidad del aire del túnel de enfriamiento.

- g.** Temperatura, a_w , de la goma laminada bañada con almidón y azúcar.
- h.** Temperatura, a_w , dureza de los centros laminados en el cuarto frío.
- i.** Peso de las láminas en el cuarto frío.
- j.** Humedad relativa (%HR), temperatura y velocidad del aire del cuarto frío.

Estas variables fueron evaluadas en dos procesos; el que usa goma con reproceso (CR) y el que emplea goma sin reproceso (SR).

7.1.3 Condiciones de humedad, temperatura y actividad de agua de la goma antes de entrar al cuarto frío.

A continuación se indican los niveles de humedad y temperatura de la goma durante las etapas de fundido, mezclado y laminado (Figuras 7.1, 7.2 y 7.3) de los dos materiales estudiados; goma CR y goma SR, mostrados en las Tablas II y III.

En la Tabla IV se reportan los valores promedio y la desviación estándar de la humedad, actividad de agua y temperatura de la goma con reproceso, los datos puntuales obtenidos en los monitoreos realizados se encuentran en el apéndice A.

Tabla II. Características de la goma CR durante las etapas de fabricación de Goma de mascar.

Etapa	Tipo de goma	Temperatura (°C)	Humedad (g H₂O/100 g s.s)	a_w
<i>Fundido</i>	Base	68.7 ± 2.0	0.20 ± 0.02%	0.213 ± 0.02
<i>Mezclado</i>	Base Fundida	74.35 ± 2.1	0.40 ± 0.06%	0.280 ± 0.01
	Goma salida del mezclador	47.63 ± 0.45	2.20 ± 0.02%	0.520 ± 0.02
<i>Laminado</i>	Goma pre-extraída	48.25 ± 0.87	2 ± 0.02%	0.521 ± 0.01
	Goma salida del túnel	45.8 ± 1.77	2.10 ± 0.03%	0.563 ± 0.01
	Láminas marcadas (con almidón y azúcar)	41.6 ± 1.59	1.30 ± 0.01%	0.401 ± 0.03

Por otra parte en la Tabla III se reportan las características promedio obtenidas de los monitoreos en diferentes días para goma SR, los datos puntuales se encuentran en el apéndice A.

Tabla III. Características de la goma SR durante las etapas de fabricación de goma de mascar.

Etapa	Tipo de goma	Temperatura (°C)	Humedad (g H₂O/100 g s.s)	a_w
<i>Fundido</i>	Base	68.7 ± 2.0	0.20 ± 0.02%	0.213 ± 0.02
<i>Mezclado</i>	Base Fundida	75.4 ± 2.1	0.40 ± 0.01%	0.280 ± 0.01
	Goma salida del mezclador	47.45 ± 1.3	2.00 ± 0.03%	0.556 ± 0.002
<i>Laminado</i>	Goma pre-extraída	48.93 ± 0.1	2 ± 0.04%	0.533 ± 0.02
	Goma salida del túnel	45.25 ± 1.4	2.40 ± 0.02%	0.555 ± 0.01
	Laminas marcadas (con almidón y azúcar)	41.55 ± 2.0	1.80 ± 0.04%	0.463 ± 0.02

En las Tablas II y III se puede observar que la base se mantiene a la temperatura de ablandamiento (“drop softening point”), que se requiere según lo reportado por Cadbury Adams Inglaterra (2003) entre 65 °C y 75 °C en la etapa de fundido, a esta temperatura el polímero se mantiene en estado gomoso, condición necesaria para incorporarle los ingredientes.

A continuación se enumeran algunas observaciones a partir de los registros realizados y sintetizados en las Tablas II y III:

- a) Comparando las temperaturas obtenidas de cada etapa con los rangos establecidos por la norma (descritos en la sección 7.1.1), se puede decir que en todos los casos se está operando con valores adecuados a excepción del túnel de enfriamiento donde la temperatura de la goma sólo descende de 2 a 3 ° C, con lo cual no se cumple el descenso establecido de 7 a 9 °C (Cadbury Adams, 1995).
- b) La temperatura de la goma SR es de 1 a 2 °C mayor que la goma CR en cada una de las etapas medidas.
- c) La temperatura de la goma retirada del mezclador se mantiene dentro del rango establecido, pero sí se obtienen temperaturas por encima de 48 °C la goma es difícil de manipular, y durante el pre-extruido no se obtendrá una lámina de dimensiones homogéneas.
- d) De acuerdo a los resultados obtenidos se observa un incremento de humedad de la base, tal y como se puede observar en la Tabla II, la humedad de la goma CR se incrementa de 0.4 a 2.2 (g H₂O/100 g de sólidos secos), al incorporar los ingredientes en la etapa de mezclado lo que provoca un cambio importante en la a_w de 0.28 a 0.52, mientras que para la goma SR (Tabla III) los cambios de humedad y a_w son de 0.4 a 2 (g H₂O/100 g s.s) y de a_w de 0.28 a 0.556, lo que puede ser un índice de que a pesar de que en ambos productos se tienen niveles de humedad similares, en el que no tiene reproceso el agua está menos integrada a la estructura de la goma dadas las diferencias de a_w .

- e) Se observa que no existe diferencia en la humedad de la goma extraída del mezclador y la pre-extraída; esto quiere decir que no hay pérdida de humedad importante cuando los carros con goma o cocidos esperan para ser pre-extraídos, no obstante las capas externas de la goma pierden temperatura, y se forma una costra que podría significar pérdida de elasticidad de esta capa.
- f) La humedad de la goma se incrementa ligeramente de 2 a 2.1, y la a_w de 0.521 a 0.563 cuando la lámina sale del túnel, y se le adiciona la mezcla de almidón y azúcar la humedad disminuye a 1.3 y la a_w a 0.401 para el material CR (Tabla II); un comportamiento similar sucede en el caso de la goma SR como se puede observar en la Tabla III alcanzando niveles de humedad y a_w de 1.8 y 0.463 respectivamente. Los cambios en la a_w y humedad están relacionados con la composición del producto y el nivel de humedad relativa del aire en el túnel de enfriamiento, que como se verá posteriormente se encuentra por encima del 60 %.

7.1.4 Caracterización de los ingredientes adicionados en el mezclado.

En la Tabla IV se presentan los valores de actividad de agua de cada uno de los ingredientes que conforman la mezcla llamada “goma”.

Tabla IV. Actividad de agua de cada uno de los ingredientes utilizados en la formulación de goma de mascar.

Ingredientes	a_w
Esencia	0.664 ± 0.009
Sacarosa	0.302 ± 0.001
Almidón	0.306 ± 0.002
Glucosa	0.702 ± 0.012

* Valores de a_w medidos a 18 ± 1.4 °C.

Es evidente que al mezclarse estos con la base fundida con a_w de 0.40 provocan el incremento de dicho parámetro a los valores reportados de 0.52 (Tabla II) y 0.556 (Tabla III).

Es importante controlar la temperatura del jarabe de la glucosa para lograr una buena incorporación a la goma, la temperatura promedio registrada fue 51.2 ± 1.5 °C (los datos puntuales se encuentran en el apéndice A), nivel que es adecuado en términos de viscosidad y por lo tanto es fácil manejarla e incorporarla a la goma.

7.1.5 Determinación de las propiedades psicrométricas del aire en el túnel de enfriamiento y su efecto sobre la calidad de la goma

La función principal del túnel de enfriamiento es disminuir la temperatura de la goma, el tiempo que tarda en atravesar la goma el túnel es alrededor de 3 a 3.5 min, y durante este período está en contacto con aire frío. Los monitoreos del túnel de enfriamiento mostrado en la Figura 6.1, se realizaron en tres diferentes días de los meses de mayo y junio del 2003. Los registros de la humedad relativa y temperatura del aire de enfriamiento se efectuaron en diferentes entradas de aire (entradas laterales y las toveras inferiores y superiores del equipo), tal y como se muestra en la Figura 7.5.

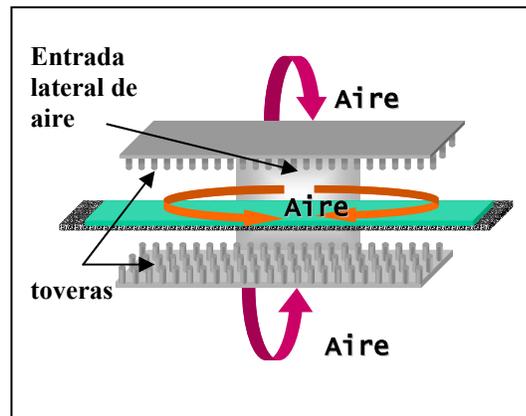


Figura 7.5. Entradas de aire del túnel de enfriamiento

En la Figura 7.6 se muestra el monitoreo de temperatura de bulbo seco del aire dentro del túnel, los valores obtenidos alcanzaron temperaturas hasta 21 °C y se encuentran por encima de la temperatura propuesta de 6 a 10 °C (Manual del Supervisor de Fabricación Chicle “MSFC” de 1995).

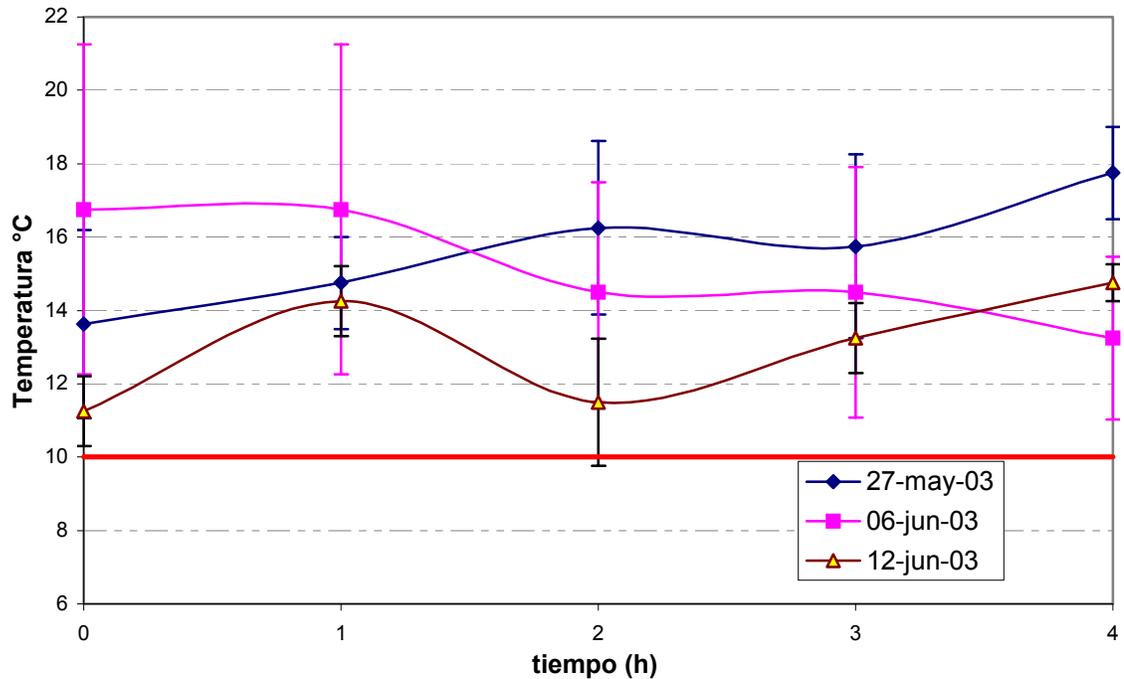


Figura 7.6. Monitoreo de la temperatura del aire dentro del túnel del enfriamiento.

El descenso de la temperatura de la goma por lo regular es de 2 a 3 °C como se observa en las Tablas II y III, y nunca es de 7 a 9 °C como se indica en el MSFC (1995).

La variación de la humedad relativa del aire que ingresa al túnel a través de las entradas laterales del túnel (evaluada en tres días de proceso) se muestra en la Figura 7.7. En la Figura 7.8 se muestra la humedad relativa del aire a través de las toveras (entradas inferior y superior como se muestra en la Figura 7.5). Como se puede observar en ambas figuras durante el tiempo de monitoreo de la humedad relativa y se ubico en un intervalo de 60 a 80%. De información reportada en el MSFC (Cadbury Adams, 1995), se reporta que la humedad relativa de trabajo del túnel debe de mantenerse alrededor del 45 % lo que indica que de acuerdo al menos en los registros presentados no se cumple esta condición.

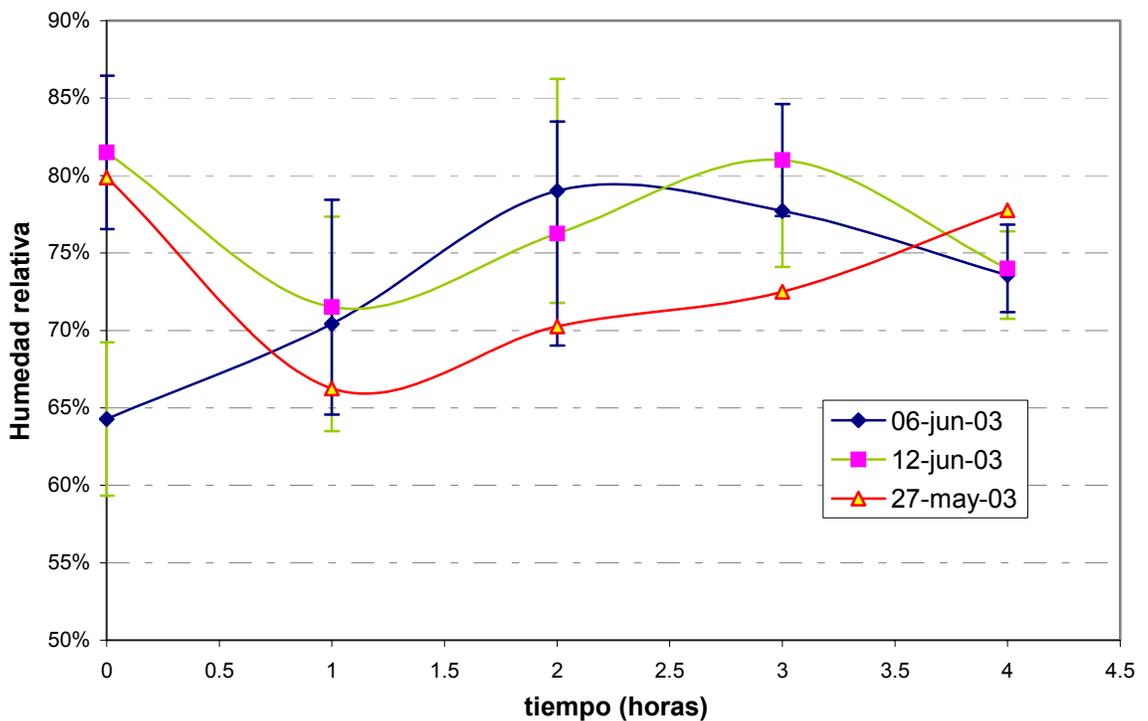


Figura 7.7. Monitoreo de la humedad relativa de las entradas laterales del aire del túnel de enfriamiento

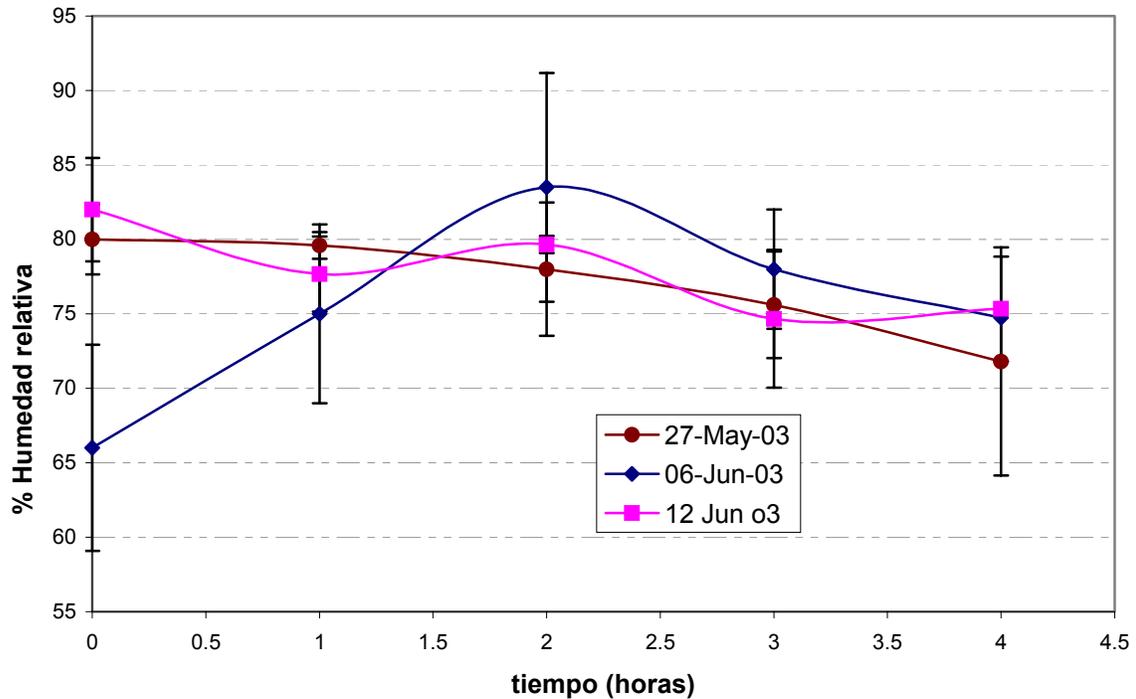


Figura 7.8. Monitoreo de humedad relativa de las toveras (entradas superior e inferior) del aire del túnel de enfriamiento

No obstante el corto tiempo que permanece la goma en el túnel, la humedad relativa tan elevada hace que la a_w de la goma se incremente de 0.521 a 0.563 (Tabla II), y de 0.533 a 0.555 (Tabla III), lo que podría generar productos con menor viscosidad en las siguientes etapas del proceso. Por otra parte la humedad relativa recomendada en el MSFC de 1995 es de 45%, podría tener un efecto contrario reduciendo la a_w e incrementando la viscosidad de la goma lo que podría no ser favorable para las etapas posteriores. De acuerdo al funcionamiento actual del proceso los niveles altos de humedad relativa no afectan desfavorablemente al desarrollo de las etapas posteriores.

Por otra parte, se encontró que el flujo de aire del túnel es muy variable debido a que las toveras se encuentran tapadas y cubiertas de residuos de goma, obteniendo registros de velocidad de aire de 0.69 a 2.96 m/s. Los niveles de temperatura y humedad pueden deberse a que el flujo de aire no es homogéneo ni constante por los registros de velocidad del aire.

Comparando los resultados obtenidos del túnel de enfriamiento con el que se tiene en Colombia para esta misma empresa (Cadbury Adams, 2003), se sabe que las condiciones del aire del túnel utilizado en esa planta son temperatura de 18 a 20 °C y humedad relativa de 40 a 45 %, se puede observar que estos valores se encuentran por debajo de los registrados en el túnel analizado en este estudio.

Todos los monitoreos anteriores se realizaron cuando la goma atraviesa el túnel, por lo que surgió la necesidad de determinar las condiciones de humedad relativa, temperatura y velocidad del aire en el túnel sin producto. Se encontró que la temperatura del aire es de 16 a 22 °C y la humedad relativa de 49 a 58 % y la velocidad del aire osciló de 0.35 a 4.6 m/s. Se puede observar que sigue existiendo un flujo más variable, esto quiere decir que el flujo del aire no es lo suficiente para distribuir de manera más homogénea la temperatura y desplazar el calor latente de la goma debido a la suciedad del equipo. La goma entra caliente al túnel, y por lo tanto incrementa la humedad relativa del aire por la condensación del agua que se da en los tubos tapados y por consiguiente el flujo de aire no es lo suficiente para desplazar este calor.

7.1.6 Estudio del comportamiento de la goma de mascar dentro del cuarto frío o área de reposo.

Una vez que a la goma se le ha agregado almidón y azúcar, y se han marcado las formas de la pastilla (láminas o centros laminados) se procede a introducirla a cuarto frío para incrementar su dureza.

El monitoreo del comportamiento de los centros laminados en el cuarto frío o área de reposo se realizó en diversos momentos comprendidos entre los meses de agosto del 2003 al 2004 como se describió en la sección 6.2.1.3, obteniendo información de las siguientes variables y parámetros:

1. Cambios de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire en función del tiempo y puntos de medición (Figura 7.4).
2. Cambios de temperatura de las láminas (centros laminados) con y sin reproceso en función del tiempo y posición.
3. Cambios de la a_w de los centros laminados.
4. Cambios del peso de las láminas.
5. Cambios de dureza de los centros laminados.

Todas estas variables y parámetros fueron determinadas en dos materiales, goma con reproceso (CR) y goma sin reproceso (SR). Las variables evaluadas de la goma: peso, temperatura, dureza y actividad de agua se monitorearon de la siguiente manera; la plataforma se dividió entres zonas (superior, intermedia e inferior) como se muestra

en las Figuras 6.2 y 6.3 (descrita en la sección 6.2.1.3.2) a fin de obtener la distribución de cada uno de estos parámetros a lo largo de la plataforma, se obtuvo el valor de cada una de estas variables durante 24 horas.

7.1.6.1 Cambios de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, y puntos de medición.

a) Ubicación de los puntos más fríos del cuarto frío.

De los registros obtenidos de la zona 1 y 4 (Figura 6.3) se encontró que existe mayor velocidad y menor temperatura del aire cerca de los ventiladores y de las rejillas (Figura 7.4), tal es el caso de las filas F8 y F9 donde la velocidad del aire registrada entre las hileras es de 0.97 a 1.6 m/s y temperaturas de 15.97 ± 0.34 °C; un caso contrario es a la mitad de las hileras alejadas de los ventiladores donde se encontraron temperaturas alrededor de 19 °C y flujo de aire nulo, tal es el caso de la parte media de las hileras F1 y F2 donde no se obtuvo registro de la velocidad del aire y la temperatura fue de 19.14 ± 0.317 °C. En la Figura 7.9 se muestra la distribución de la temperatura del aire dentro del cuarto frío de la zona 4, el gráfico representa los puntos o hileras medidas (Figura 6.3) contra la temperatura encontrada en cada uno de los puntos seleccionado.

Entre los pasillos del cuarto frío se encontró que la temperatura del aire es de 16 a 17 °C con una velocidad del aire de 0.43-0.77 m/s.

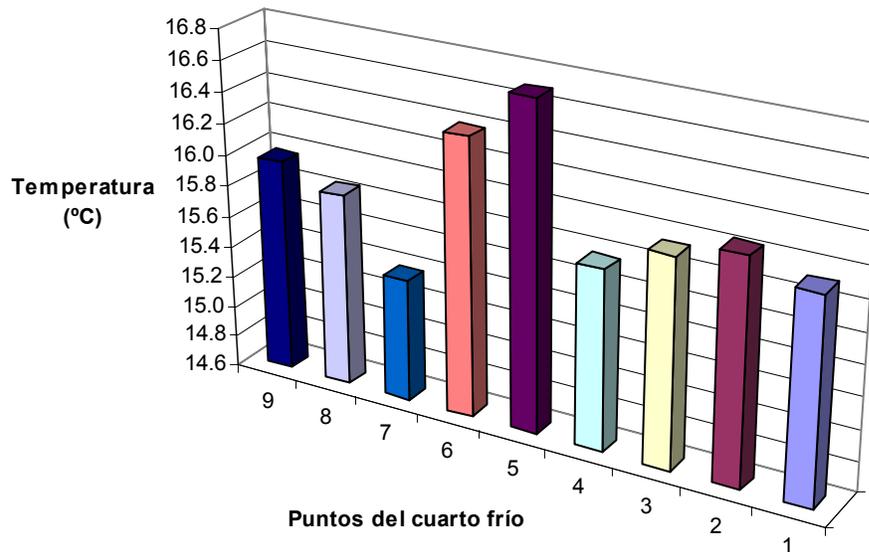


Figura 7.9. Distribución de la temperatura del aire a lo largo de la zona 4 dentro del cuarto frío.

a) Distribución de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire a lo largo de una plataforma:

Por lo anterior la distribución de la temperatura, humedad relativa y flujo de aire que reciben las plataformas dependerá en que hilera y en que parte de estas se encuentran colocadas:

- a) Por la cercanía entre plataformas y charolas es difícil tener un flujo de aire óptimo.

b) En los centros de las plataformas se encontraron flujos de aire nulos incluso cerca de rejillas y pasillos, tal es el caso entre las hileras F5 y F6 (Figura 6.3) como se observa en la Figura 7.10 en la parte de atrás (4) de la hilera hay mayor velocidad de aire (0.92 m/s) porque esta cerca de las rejillas y en la parte del centro de la plataforma que se encuentra a la mitad de la hilera el flujo de aire es cero.

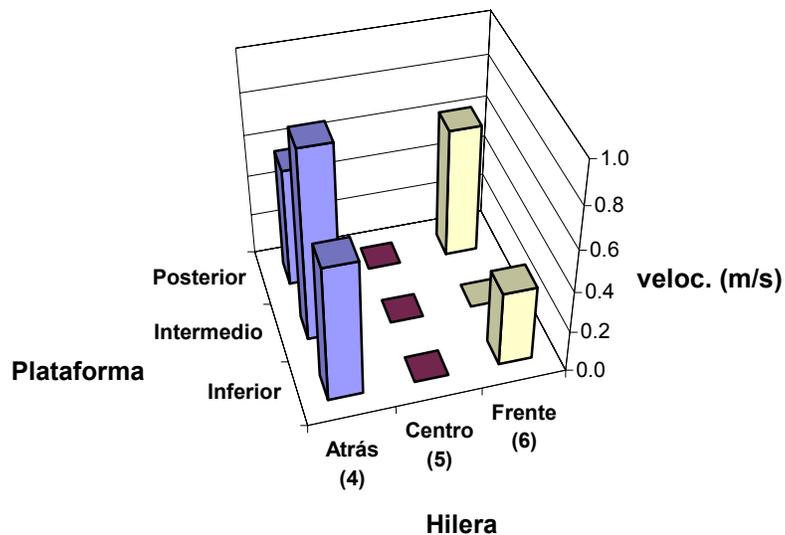


Figura 7.10 Distribución del aire a lo largo de una plataforma entre las hileras F5 y F6

c) La parte de arriba de una plataforma recibe mayor flujo de aire a comparación del resto de las charolas para la mayoría de los casos, como se puede ver en la Figura 7.11 que muestra un monitoreo realizado a una plataforma colocada en la hilera F8 durante 3 minutos en intervalos de 10 segundos se tomó el valor de velocidad del aire. El flujo mayor encontrado fue en la parte de arriba de 1.06 a 1.89 m/s, en el centro de 0 a 1.25 m/s y debajo de (0.93 a 1.21 m/s)

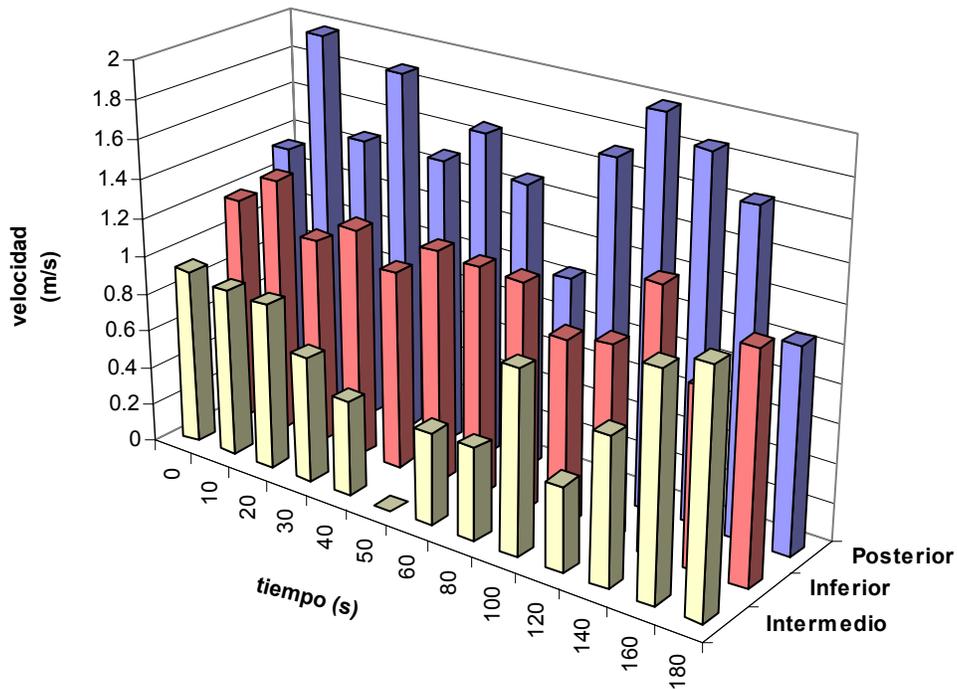


Figura 7.11 Distribución de la velocidad del aire (m/s) a lo largo de la plataforma

- d) La distribución de la humedad relativa a lo largo de una plataforma en el cuarto frío variará de acuerdo a la zona en que se encuentre localizada o a la ocupación del cuarto, en la Figura 7.12 se muestra la variación de la humedad relativa que rodea una plataforma colocada en la parte media de la hilera F2 monitoreada durante 7 horas, encontrándose valores de humedad relativa del aire de 50 a 53 % mientras que el valor de humedad registrado por el psicrómetro del cuarto colocado entre las hileras F4 y F5 fue de 51.3 ± 0.5 % esta diferencia se debe a que en la zona donde está colocado el psicrómetro por lo regular está libre de plataformas y únicamente mide esa zona. Se presentó mayor variación de humedad en la parte de arriba y del centro de la plataforma, esto se debe a que la

velocidad de aire promedio es de 0.07 m/s y 0.78 m/s respectivamente por lo tanto el flujo de aire es deficiente.

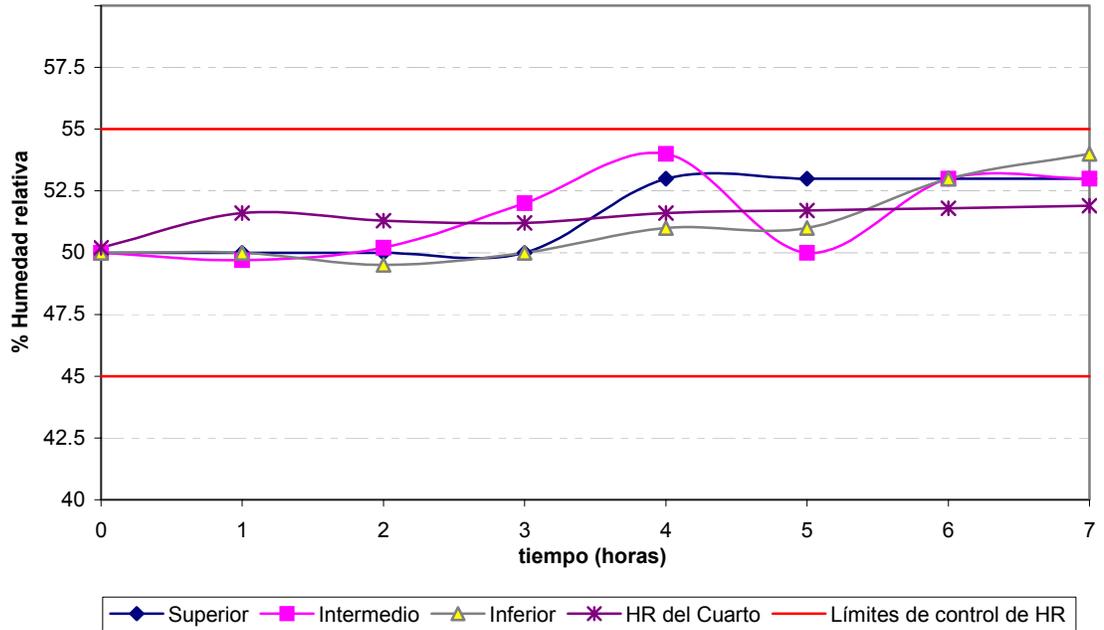


Figura 7.12 Variación de la humedad relativa del aire en función del tiempo a lo largo de la plataforma.

e) La variación de la temperatura a lo largo de una plataforma colocada en la hilera F2 se muestra en la Figura 7.13 el valor de temperatura promedio registrado fue $18.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y del cuarto fue $17.8 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$ como podemos observar se encuentra por encima de la temperatura del cuarto esto se debe al deficiente flujo de aire y a que el cuarto tenía máxima ocupación, en cuanto a la posición no existe diferencia entre la temperatura medida en la parte de abajo, centro o arriba

a excepción cuando las láminas están calientes van a ocasionar un ligero incremento en la temperatura del medio.

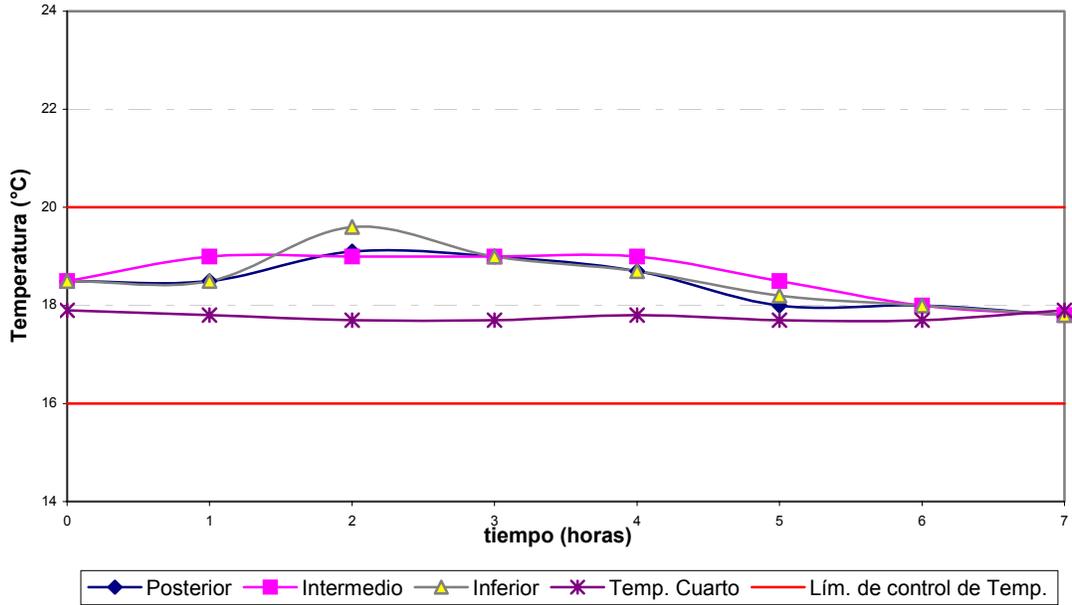


Figura 7.13 Variación de la temperatura del aire durante en función del tiempo a lo largo de la plataforma.

7.1.6.2 Cambios de temperatura de las laminas (centros laminados) con y sin reproceso en función del tiempo y posición.

Se monitoreo la temperatura del cuarto, temperatura de la superficie y del interior de las láminas en el cuarto frío. Se dividió la plataforma en tres partes (posterior, intermedio e inferior) y se colocó un termómetro en cada sección para determinar la distribución de la temperatura de la superficie a lo largo de la plataforma (la

plataforma consta de 80 charolas apiladas, cada charola tiene 6 láminas) como se muestra en la Figura 6.4, la temperatura del interior de las láminas se hizo introduciendo un termopar (cobre-constantano) como se muestra en la Figura 6.5, a la par se midió la temperatura del aire del cuarto frío.

Los cambios de temperatura que sufren las láminas de goma (centros laminados) son importantes porque ellos son responsables de gran medida de los cambios de textura (dureza) de las mismas láminas por ello es importante evaluar los cambios de las variables que afectan a la temperatura de la goma siendo el más evidente la temperatura del cuarto frío.

En la Figura 7.14 se puede observar que en general la temperatura del aire del cuarto se mantuvo con un valor de $18.1 \pm 0.35 \text{ }^\circ\text{C}$ lo que se ubica dentro de los límites establecidos ($18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$), por otra parte se observa que la temperatura superficial de las láminas con reproceso se reduce hasta igualar la del aire en un período comprendido entre 5 y 10 horas. Por otra parte cuando se evaluó la evolución de la temperatura en el interior de las láminas (se colocó un termopar en el centro de las láminas como se muestra en la Figura 6.5) se obtuvieron los resultados que se presentan en la Figura 7.15, así se puede apreciar que el tiempo que requiere la goma para alcanzar la temperatura del medio es del orden de 10 a 12 horas, lo que refleja una diferencia pequeña, pero importante del cambio de temperatura con respecto al punto de medición dentro de las láminas, al igual que para las láminas CR se obtuvieron los registros de

los cambios de temperatura de sin reproceso (SR) en la superficie (Figura 7.16) y el interior (Figura 7.17) de los mismos.

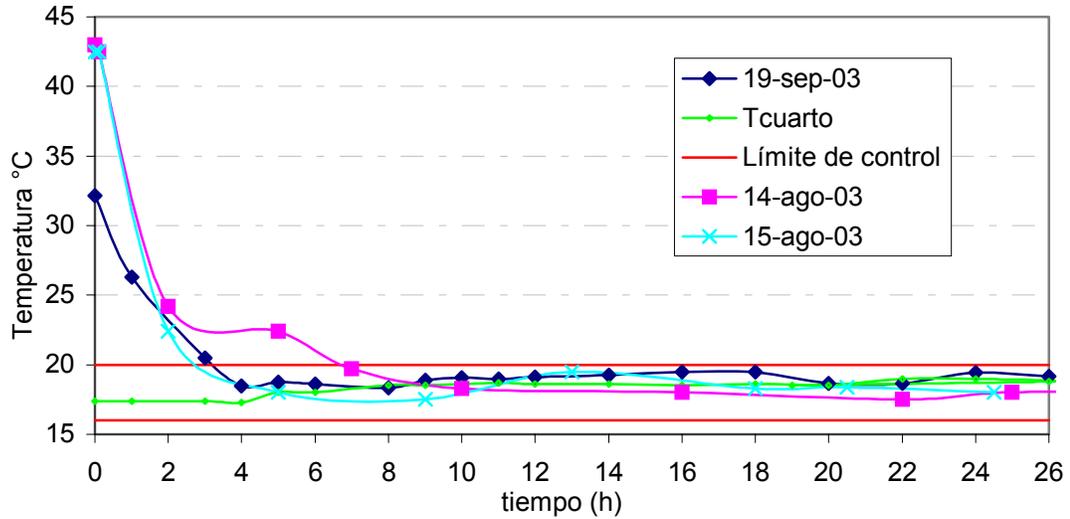


Figura 7.14. Efecto de la temperatura del aire en el cuarto frío sobre la temperatura de la superficie de las láminas o centros laminados con reproceso CR.

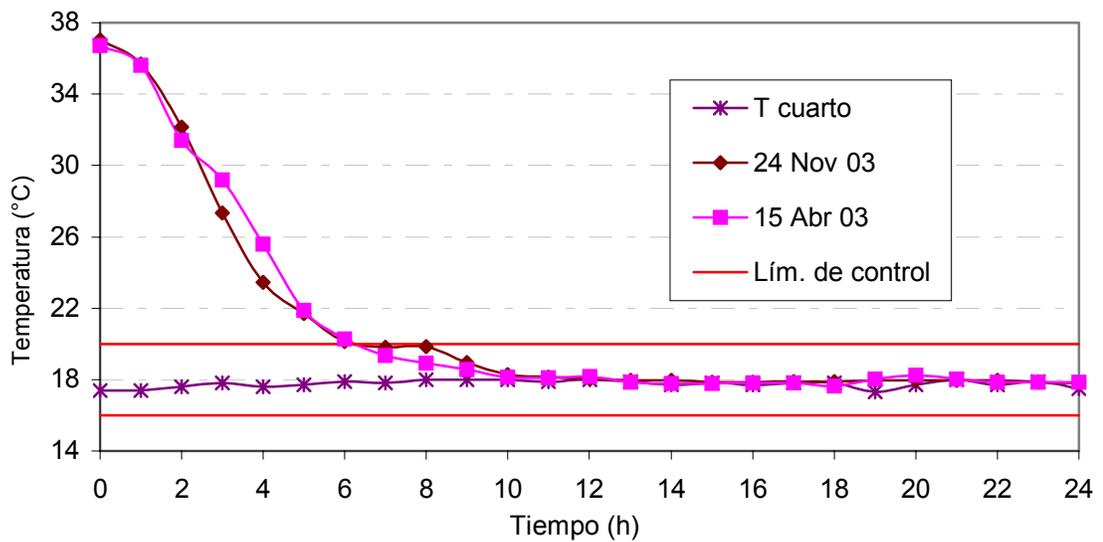


Figura 7.15. Efecto de la temperatura del cuarto frío sobre la temperatura del interior de las láminas con reproceso CR.

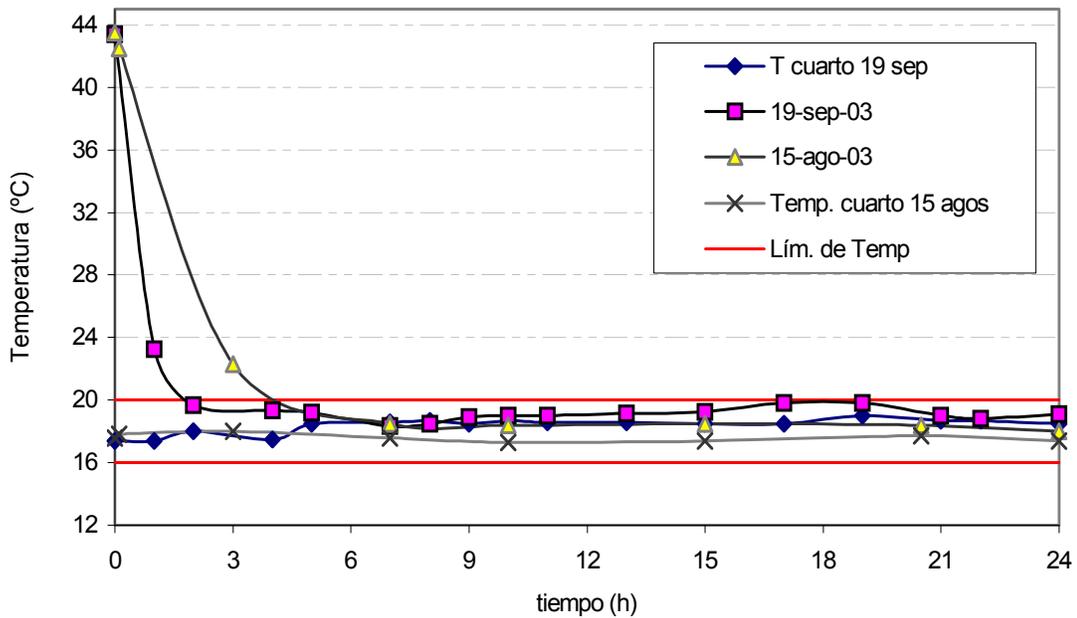


Figura 7.16. Efecto de la temperatura del cuarto frío sobre la temperatura de la superficie de las láminas sin reproceso (SR).

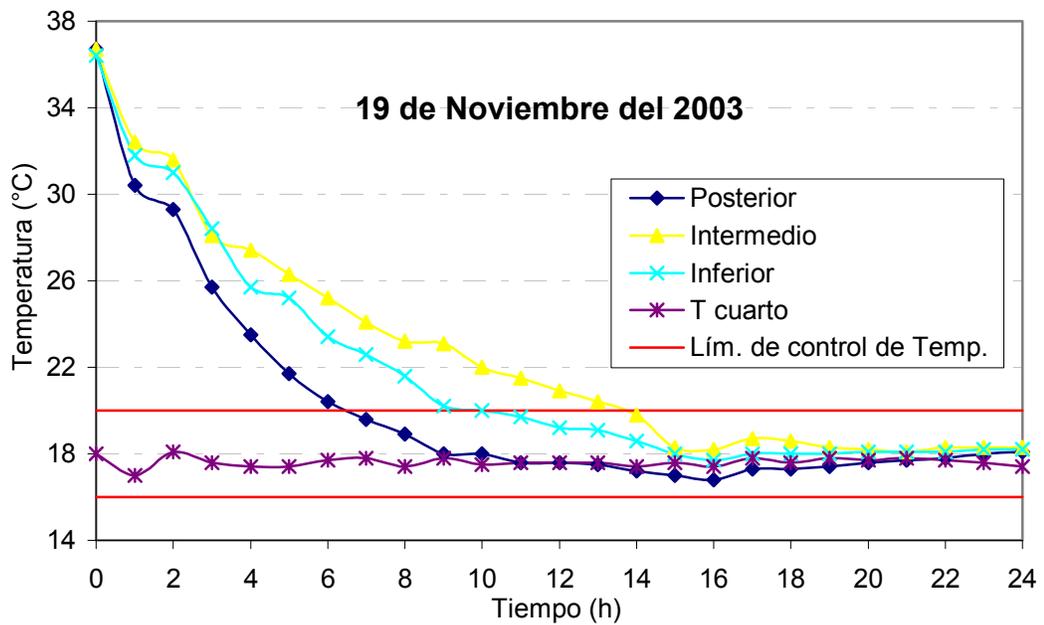


Figura 7.17. Efecto de la temperatura del cuarto frío sobre la temperatura del interior de las láminas sin reproceso (SR).

En la Figura 7.16, considerando que la temperatura del aire se mantuvo a $18.3 \pm 0.56 \text{ }^\circ\text{C}$, se observa que la temperatura superficial de las láminas se iguala a la del aire en un intervalo de tiempo muy similar para el caso del producto con reproceso (5 a 10 horas), mientras para el centro de las láminas sin reproceso (Figura 7.17) con una temperatura del aire de $17.87 \pm 0.30 \text{ }^\circ\text{C}$ el equilibrio en temperaturas se alcanza en un intervalo de 10 a 17 horas, tiempo brevemente diferente al requerido para la goma CR. Los datos obtenidos indican un comportamiento muy similar para la goma con y sin reproceso.

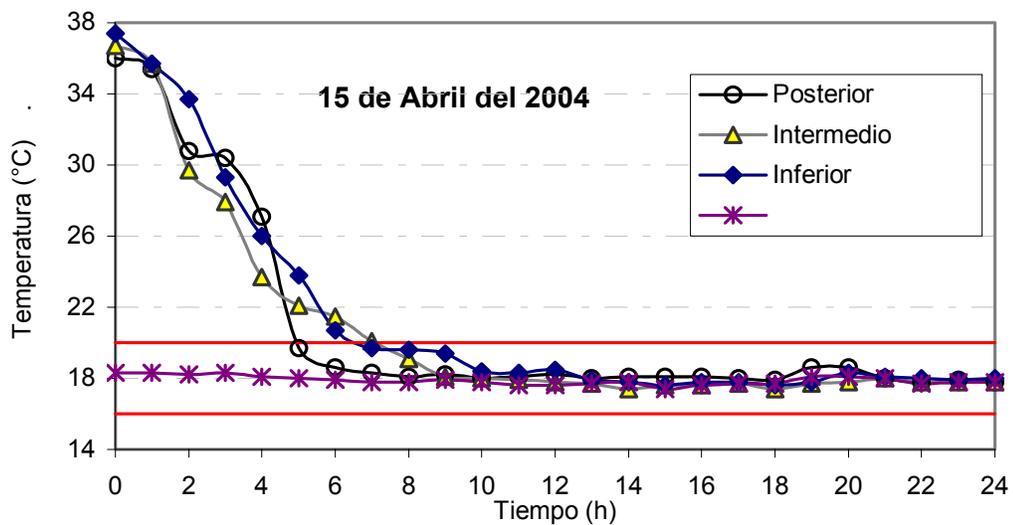


Figura 7.18. Efecto de la posición de las láminas a lo largo de la plataforma sobre la temperatura.

En las Figuras 7.18 se muestra la evolución de la temperatura de las láminas en tres posiciones localizadas a lo largo de la plataforma (como se describe en el diagrama

de la Figura 6.5). Se puede ver que la velocidad de cambio de temperatura durante las primeras 5 horas es mas lenta en la parte inferior que la superior, comportamiento que puede ser debido más a la velocidad del aire y su distribución, que a la temperatura.

7.1.6.3 Cambios de la actividad de agua de las láminas

En el apartado anterior se pudo observar que no existe variación de la humedad relativa del aire en las tres posiciones medidas a lo largo de la plataforma dentro del cuarto frío. El efecto de la humedad relativa del aire es importante para determinar si la goma gana o pierde humedad, y esto a su vez puede tener efecto sobre la dureza de los centros laminados. La a_w está relacionada con el contenido de humedad de un producto (como la goma de mascar), en el equilibrio la a_w también se relaciona con la humedad relativa del medio ambiente que rodea al producto (Welti y Vergara, 1997). Por lo anterior se evaluaron los cambios de a_w de los centros laminados a fin de determinar el efecto de la humedad relativa del aire del cuarto sobre dicha actividad.

En las Figuras 7.19 y 7.20 se grafica la a_w y la humedad relativa del aire contra el tiempo para centros laminados con y sin reproceso respectivamente. La a_w de la goma se mantiene del orden de 0.38 a 0.45 para láminas CR (Figura 7.19) y para aquellas SR es de 0.41 a 0.49 (Figura 7.20), las variaciones pueden reflejar más el reacomodo del agua dentro de los productos que una pérdida o ganancia de humedad debido a las condiciones del aire del cuarto frío. Como se puede observar en las Figuras 7.19 y 7.20

la actividad de agua (a_w) de las láminas no se iguala con la humedad relativa del cuarto esto quiere decir que nunca se equilibra con el medio que las rodea porque el nivel de a_w es menor que la humedad relativa y por lo tanto la ganancia de humedad no es evidente. Esto se debe a la baja higroscopicidad de la goma detectada por medio de las isotermas de sorción de humedad donde la goma se mantiene estable a niveles de humedad relativa menores del 50 % como se verá en apartados posteriores.

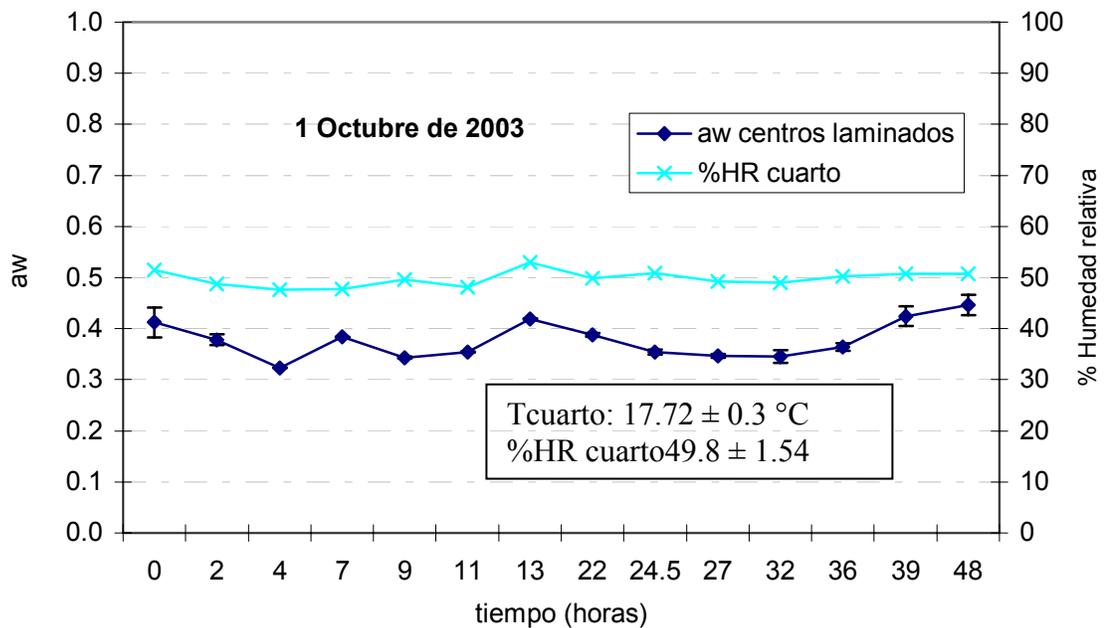


Figura 7.19 Relación de la a_w de láminas con reproceso (CR) con la humedad relativa del aire del cuarto frío.

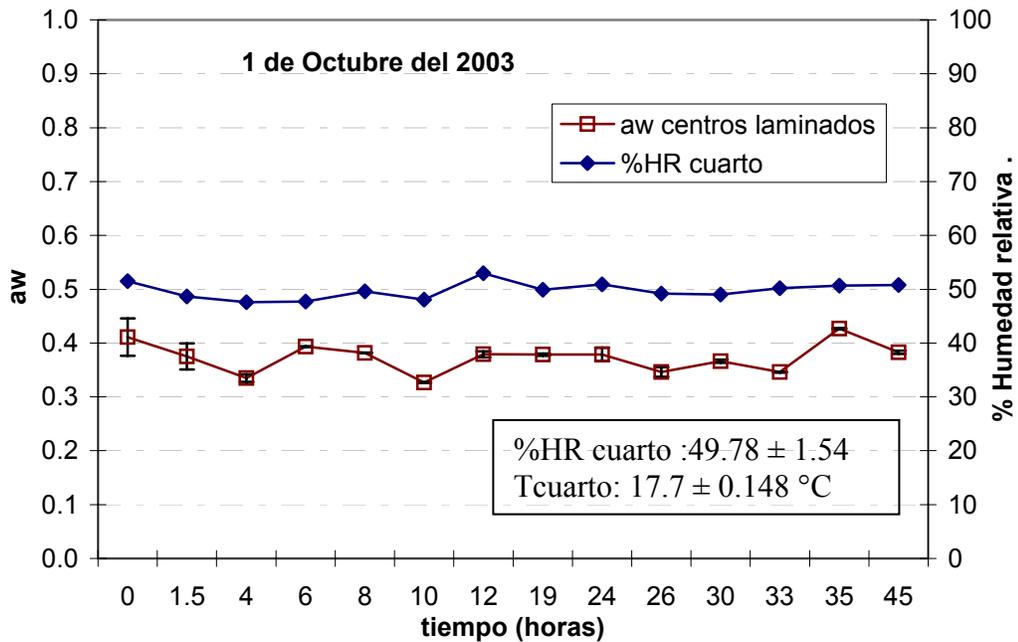


Figura 7.20 Relación de la a_w de láminas sin reproceso (SR) con la humedad relativa del aire del cuarto frío

Como datos extraordinarios se debe reportar que dentro de los monitoreos realizados se detectó que en 2 días diferentes la a_w , se igualó con la humedad relativa del aire como se observa en las Figuras 7.21 y 7.22. En esos días la humedad relativa del aire se mantuvo del orden de $45.57 \pm 1.39 \%$ y $41.304 \pm 0.663 \%$ respectivamente, nivel que es considerablemente inferior al que normalmente se tiene (45- 55 %).

Para las láminas CR (Figura 7.21) se registro un valor a_w de entrada al cuarto frío de 0.337 ± 0.02 , y a las 24 horas de 0.448 ± 0.01 . La a_w de las láminas se equilibró con

la humedad relativa del aire alrededor de las 16 horas con un valor de a_w y de humedad relativa de 0.44 y 44.4 % respectivamente. Para el caso presentado en la Figura 7.22 el producto se equilibra con el medio a las 18 horas, con un valor de un valor de a_w y humedad relativa de 0.393 ± 0.03 y 41.7 % respectivamente, en este caso las láminas entraron con un valor de a_w de 0.333 ± 0.01 y a las 24 horas tenían un valor de 0.41 ± 0.02 .

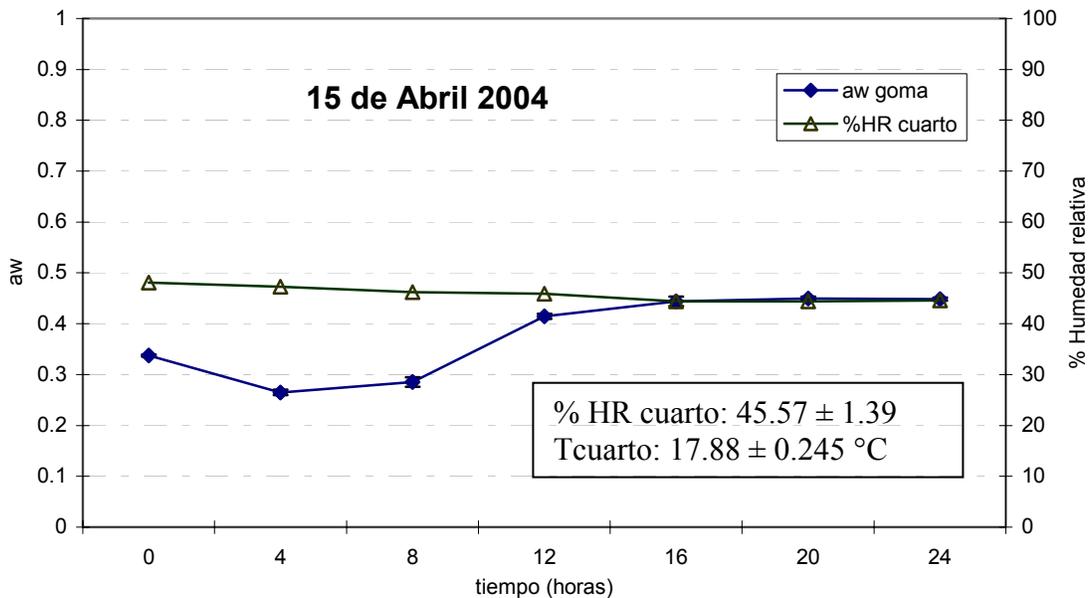


Figura 7.21 Relación de la actividad de agua (a_w) de láminas con reproceso (CR) con la humedad relativa del aire del cuarto frío.

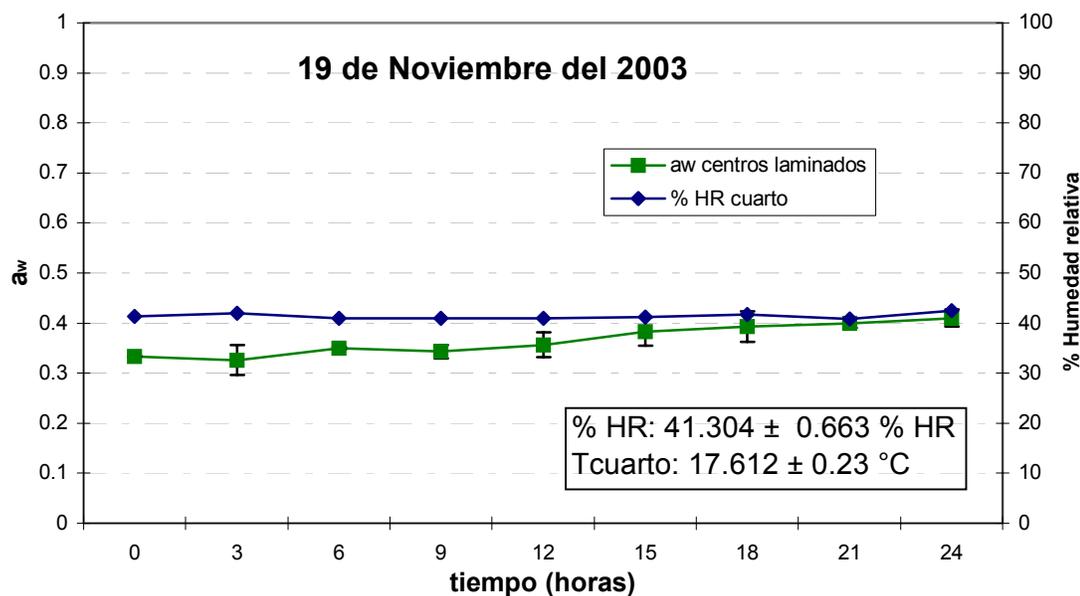


Figura 7.22 Relación de la actividad de agua (a_w) de láminas con reproceso (CR) con la humedad relativa del aire del cuarto frío.

Al no cambiar de forma importante la a_w de los productos bajo condiciones normales de operación de la cámara, es de esperarse que no tendrá un gran efecto sobre la dureza de las pastillas, esto podría deberse a que la ganancia o pérdida de humedad es muy pequeña para alterar la estructura del producto.

En el apéndice A se encuentran otros registros de la a_w en diferentes días de muestreo, ahí se observa que en la mayoría de los casos cuando la humedad relativa del aire se encontraba alrededor de 48 al 55%. La a_w de los productos se mantenía en niveles cercanos a 0.4 y nunca se equilibraba con la humedad relativa del aire de la cámara.

7.1.6.4 Cambios del peso de las láminas

La humedad relativa del aire podría ser un parámetro importante para determinar si existe ganancia de humedad, sin embargo el leve cambio de la a_w de los productos podría anticipar que no hay cambios relevantes de la humedad del producto. Por tal motivo se evaluaron los cambios de peso que sufren las láminas dentro del cuarto frío. En las Figura 7.23 se grafican los cambios de peso de láminas con reproceso, se aprecia que registro una ganancia muy leve en peso a las 24 horas de alrededor del 0.61 % y en la Figura 7.24 para láminas sin reproceso se registra una leve pérdida en peso del orden de 0.28%. Lo que confirma que las diferencias de a_w y H.R. no favorecen al intercambio de humedad bajo las condiciones de temperatura y movimiento del aire de la cámara y los tiempos de acondicionamiento.

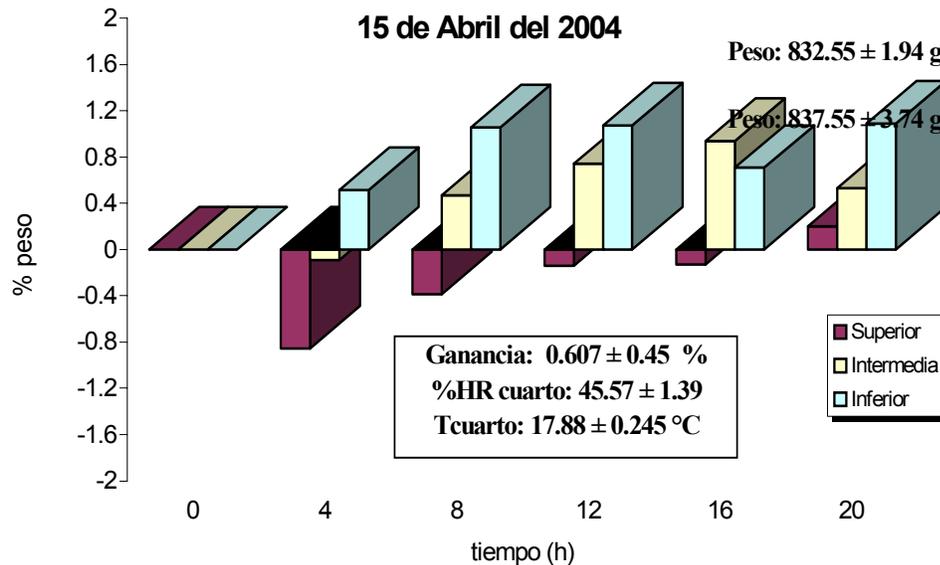


Figura 7.23. Cambios de peso en láminas con reproceso (CR) colocadas en diferentes posiciones de la plataforma.

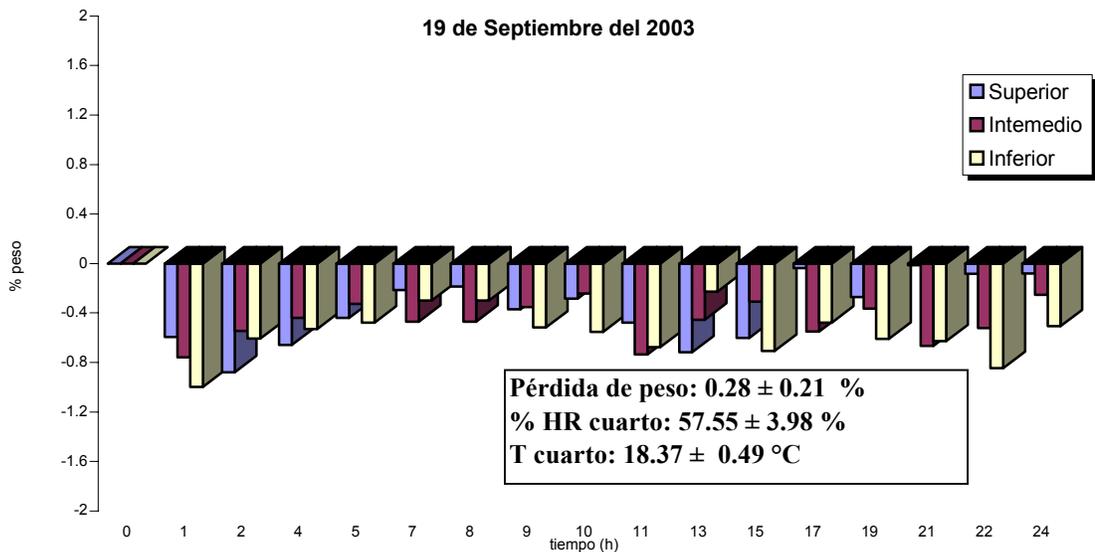


Figura 7.24. Cambios de peso en láminas sin reproceso (SR) colocadas en diferentes posiciones de la plataforma

7.1.6.5 Efecto de los cambios de temperatura sobre la dureza de los centros laminados

La dureza es una variable muy importante debido a que si los centros laminados no alcanzan la dureza deseada ($16 \text{ } ^\circ\text{shore}$) o sobrepasan ésta, sufrirán daños en el recubrimiento (como quebraduras, rasgaduras, deformaciones entre otros), y por lo tanto generará rechazo de pastillas (centros laminados recubiertos). La dureza está en función de la temperatura y del tiempo, y del tipo de método empleado para la medición (Cheremisinoff, 1990). Para este estudio se utilizó la escala *Shore* tipo A (descrita en la

sección 3.2.4.1), empleada para compuestos elastoméricos y polímeros suaves, como es la goma de mascar.

En los siguientes apartados se evaluará la dureza en función de la temperatura, primero se determinará el efecto de la temperatura del aire del cuarto y la temperatura de la superficie de las láminas sobre la dureza de las mismas, en un segundo apartado se evaluará el efecto de la temperatura del aire y la temperatura del interior de las láminas (medido con un termopar de cobre-constantan colocado en el centro e interior de las láminas), sobre la dureza de las mismas, así como también para ambos casos de determinará el efecto de la posición de las láminas en la plataforma como se muestra en la Figura 6.4 (sección 6.2.1.3.2) sobre la dureza.

En esta sección sólo se presentan algunos resultados representativos, el resto de los monitoreos se encuentran en el apéndice A.

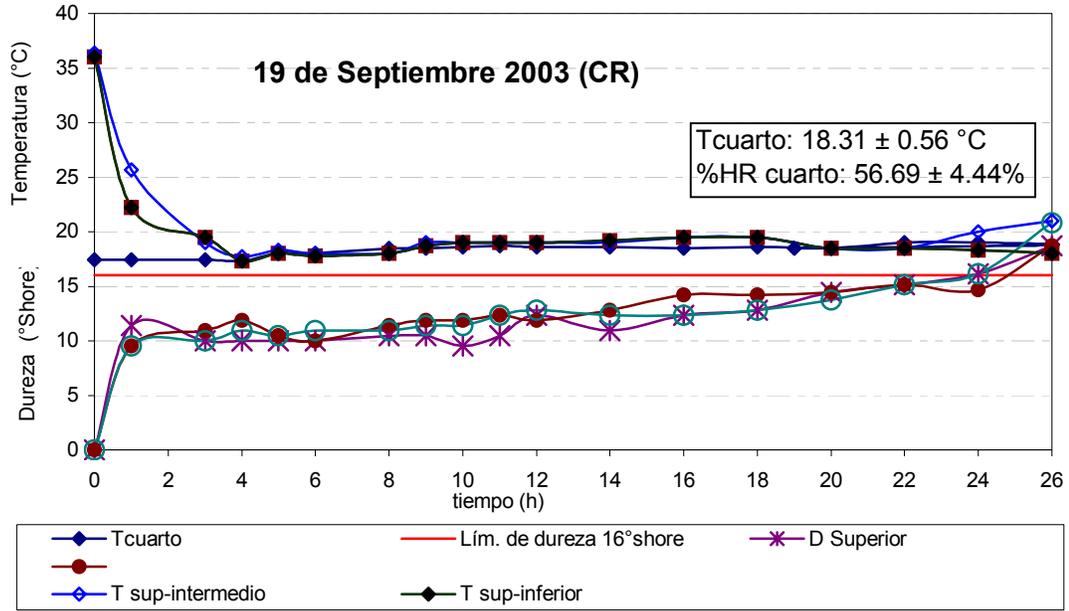


Figura 7.25. Relación entre la temperatura de la superficie de las láminas de goma con reproceso (CR) y su dureza, colocada entre posiciones de la plataforma.

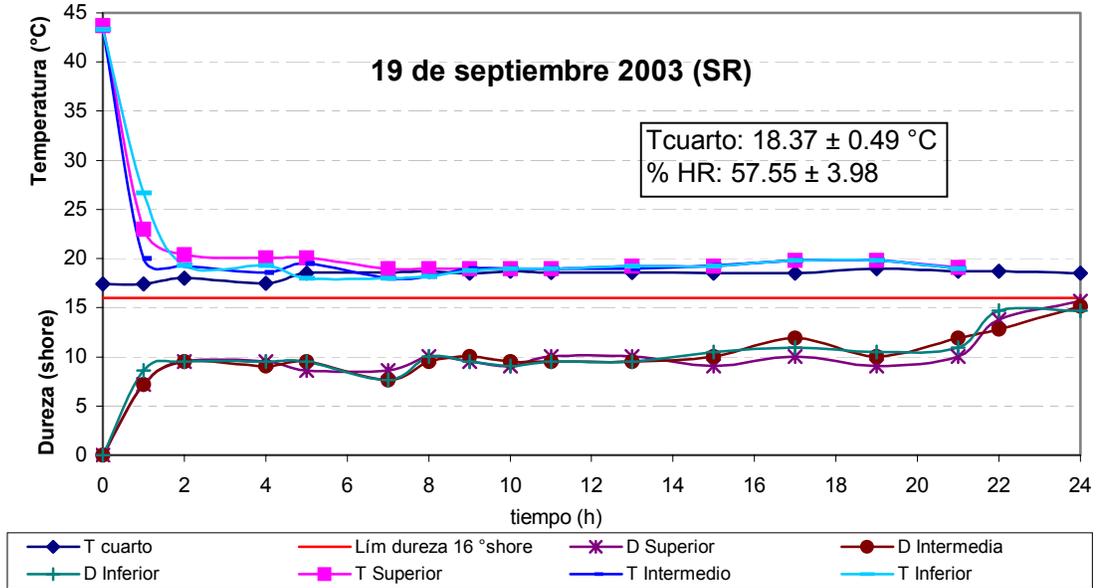


Figura 7.26. Relación entre la temperatura de la superficie de las láminas de goma sin reproceso (SR) y su dureza, colocada entre posiciones de la plataforma.

En las Figura 7.25 se observan los cambios de temperatura de la superficie de las láminas de goma con reproceso, colocadas en las tres posiciones (superior, intermedio, inferior) de una plataforma, así como los cambios de dureza correspondientes. Se observa que sólo en las primeras tres horas la temperatura de las láminas colocadas en la zona superior es menor a las del producto colocado en las otras zonas, a partir de las cuatro horas de almacenamiento en el cuarto frío, la temperatura superficial de las láminas es la misma independientemente de su colocación en la plataforma, e igual a la del aire frío. Por lo que respecta al cambio de dureza, no se aprecian diferencias debidas a la ubicación de las láminas, las tres muestras sufren un cambio brusco en su dureza en la primera hora, llegando a valores comprendidos entre 9 y 11 °Shore, para que posteriormente se presente un cambio lento de dureza hasta llegar a los 16 °Shore entre las 22 y 24 horas.

En la Figura 7.26 se observa un comportamiento similar al descrito en la Figura 7.25, sólo que para goma SR, para este producto la principal diferencia se observa en los cambios de dureza que se presentan en función del tiempo, así en la primera hora la textura sólo se ha incrementado a 6 – 7 °Shore, y la velocidad del cambio de dureza es más lenta que para la goma CR, aún y cuando la SR alcanza los 16 °Shore a las 24 horas. En un principio las diferencias podrían asignarse a los valores iniciales de los productos, 37 °C para la goma CR y 44 °C para la SR.

Dado que la temperatura superficial de las láminas de goma podría reflejar efectos de la temperatura medio de enfriamiento que circula en dicha superficie, se

decidió realizar un estudio similar al reflejado en las Figuras 7.25 y 7.26 solo que midiendo la temperatura del interior de las láminas; los resultados obtenidos se observan en las Figuras 7.27 y 7.28.

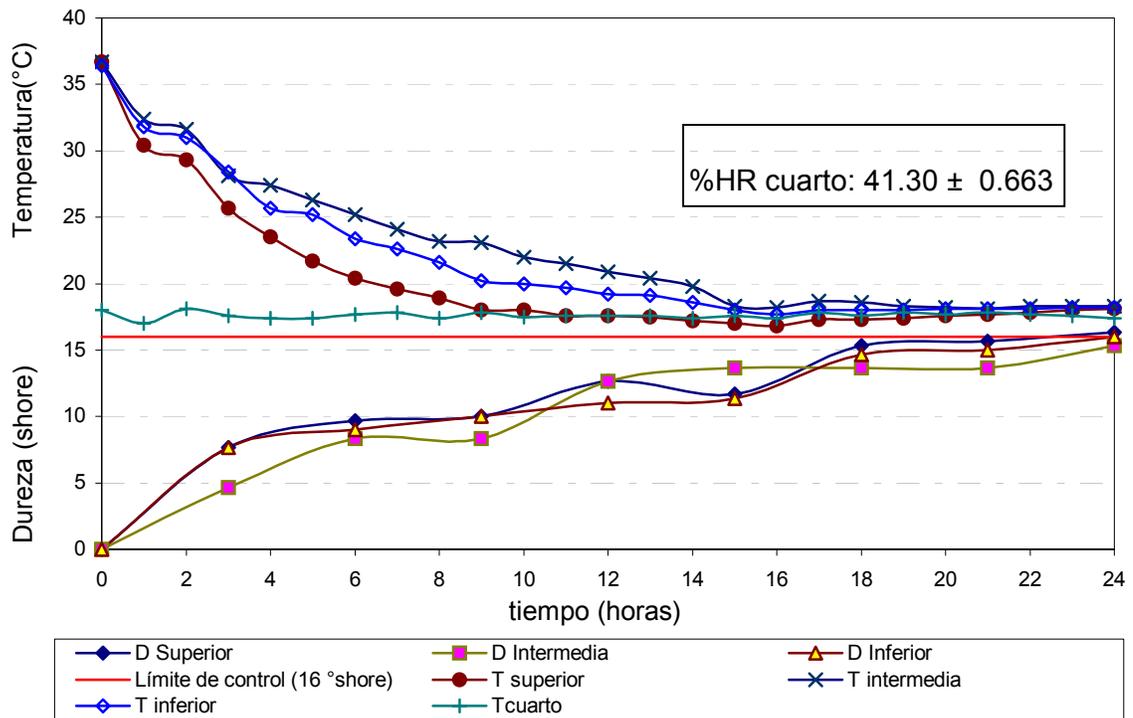


Figura 7.27. Relación entre la temperatura del interior de las láminas de goma con reproceso, y su dureza, colocada en tres posiciones de la plataforma.

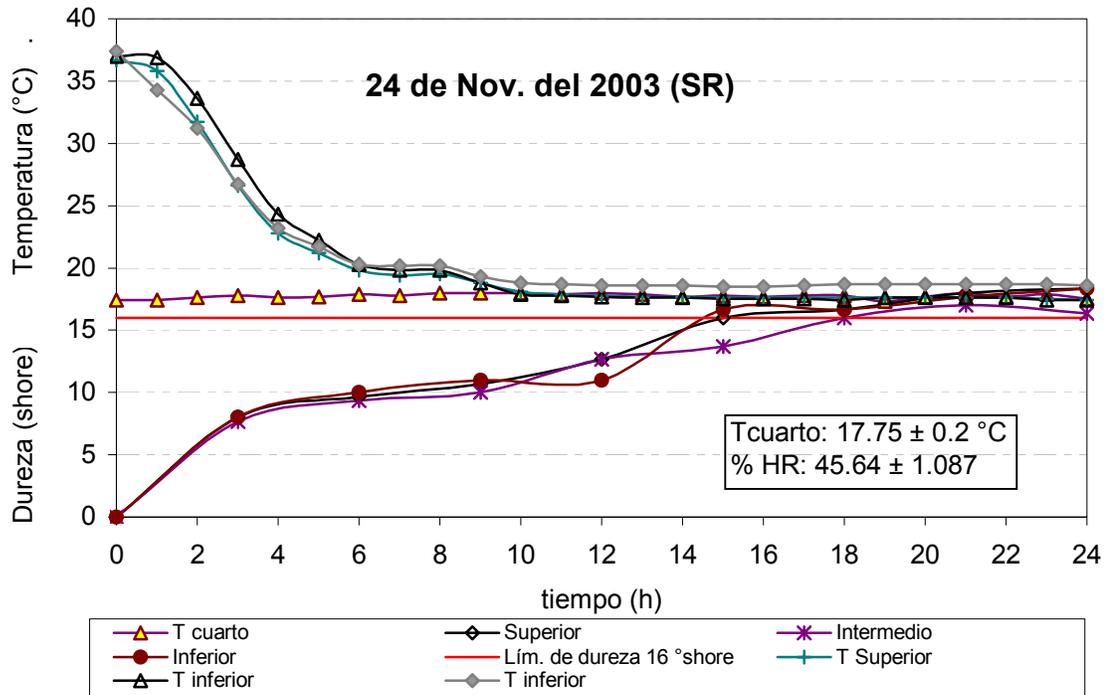


Figura 7.28. Relación entre la temperatura del interior de las láminas de goma sin reproceso y su dureza, colocada en tres posiciones de la plataforma.

Para el producto CR (Figura 7.27), se observa que la temperatura de las láminas colocadas en la parte superior de la plataforma, cambia más rápidamente que la temperatura de las láminas colocadas en las otras posiciones, sin embargo estas diferencias de cambios en la temperatura en el interior de las láminas no parecen correlacionarse con los cambios de textura (dureza) del producto en función de su posición en la plataforma. Se observa que los cambios de dureza de las láminas colocadas en las tres posiciones son similares, y que los 16 °Shore se logran en este caso entre las 18 y 24 horas. Por otra parte si se comparan los cambios de dureza de esta goma CR, con los reportados en la Figura 7.25 se aprecia una velocidad de cambio

mayor en la primera, lo que puede deberse a las diferencias de temperatura y humedad relativa del aire, 17.6 °C y 41 % para las láminas de la Figura 7.27 y 18.3 °C y 56.7% para las de la Figura 7.25

En la Figura 7.28 se aprecia que los cambios de temperatura en el interior de las láminas SR y CR son similares independientemente de su colocación en la plataforma, la temperatura de la goma se iguala a la del aire entre 9 y 10 horas. Se observa también, al igual que la muestra con CR, que no existen diferencias en los cambios de dureza en función de la posición, y que los 16 °*Shore* se alcanzan alrededor de las 15 a 18 horas de haber iniciado el reposo de las láminas en el cuarto frío.

De acuerdo a los resultados anteriores se puede concluir lo siguiente:

1. Que los cambios superficiales en la temperatura de las láminas de goma pueden relacionarse más adecuadamente que las del interior, con los cambios de dureza de la goma.
2. No se detecta una diferencia definitiva en los cambios de temperatura y dureza entre las láminas sin reproceso y con reproceso.
3. Los cambios de dureza son más lentos cuando el aire dentro del cuarto tiene temperaturas y humedad relativas más altas.
4. Una vez que se iguala la temperatura superficial de las láminas se requieren de 10 a 20 horas para alcanzar los 16 ° *Shore*, tiempo que depende de los factores mencionados en el punto 3.

7.2 Evaluación de las propiedades higróscopicas de la goma de mascar

En las Figuras 7.29., 7.30., 7.31. y 7.32., se representan las isotermas de sorción de humedad a 25, 35 y 45 ° C de goma con reproceso y sin reproceso de las etapas de pre-extrusión, y laminado (goma laminada bañada con almidón y azúcar). Las condiciones y características de la goma de cada etapa se han descrito en la sección 7.1.1 y 7.13 respectivamente. La forma que presentan las isotermas a las tres temperaturas analizadas corresponden a las isotermas del tipo III (de acuerdo a la clasificación de BET) (Rizvi, 1986), la forma de estas isotermas son típicas en productos que poseen como sólidos mayoritarios azúcares de bajo peso molecular (como la sacarosa y la glucosa), el contenido de humedad de equilibrio incrementa lentamente a bajos niveles de actividad de agua; y a medida la humedad relativa se eleva, la adsorción de humedad se incrementa rápidamente. A bajos niveles de a_w (humedad relativa), la capacidad de interacción del agua en el sistema esta regida por sitios de baja de energía de sorción y con la elevación de la a_w la adsorción de humedad se da en la multicapa (capa cuyo valor de a_w esta entre 0.55 y 0.75) (Magee et al., 1999).

Los datos experimentales obtenidos fueron ajustados con varios modelos de sorción para determinar que modelo predice mejor la isoterma de sorción de la goma de mascar, el mejor ajuste fue obtenido con el modelo matemático propuesto por Khun (1967) utilizado para productos con a_w mayor a 0.5 (Barreiro et al., 2002). Los contenidos de humedad de equilibrio experimentales de cada producto, para las

humedades relativas estudiadas (11 al 97 %) se encuentran junto con las isoterma predichas por el modelo de Kuhn (1967), para cada producto.

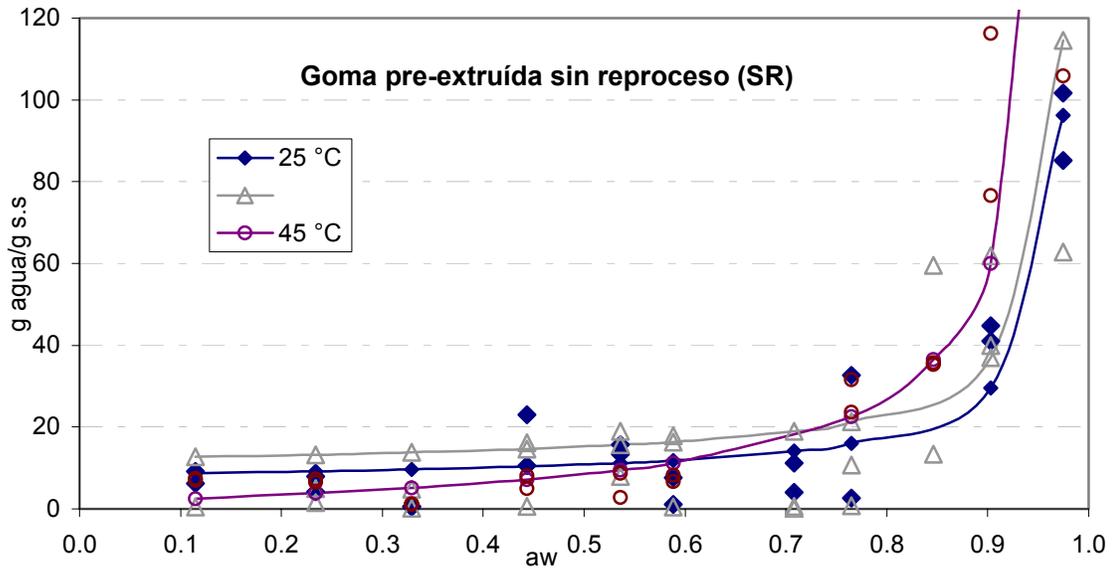


Figura 7.29. Isotherma de sorción de humedad a 25, 35 y 45 °C de goma pre-extruída con reproceso (CR).

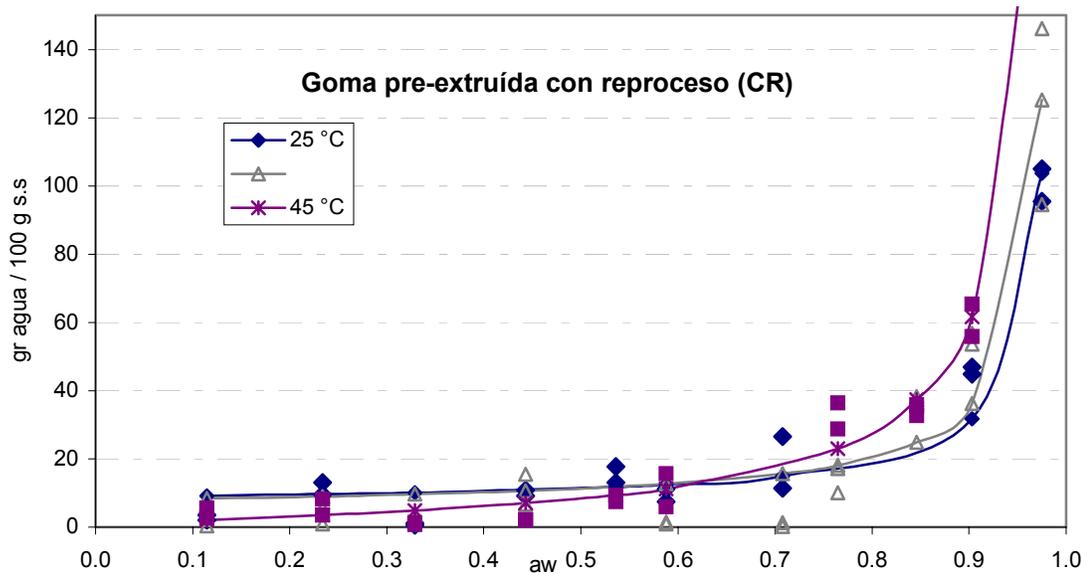


Figura 7.30. Isotherma de sorción de humedad a 25, 35 y 45 °C de goma pre-extruída sin reproceso (SR).

En las Figuras 7.29. y 7.30. se muestran isotermas de sorción de goma obtenida del pre-extrusor, en ambas figuras se ve claramente la dependencia de la temperatura con un incremento progresivo en la humedad de equilibrio cuando se eleva la temperatura de 25 a 45 °C, entonces temperaturas elevadas son condiciones desfavorables para la goma, este efecto es más evidente en la goma sin reproceso (Figura 7.30) debido a que la cantidad de azúcares presentes (sacarosa, glucosa) es menor comparada con el contenido de azúcares de la goma con reproceso (Figura 7.26), esto se debe a que la glucosa y la sacarosa no son higroscópicas hasta que la a_w es de 0.6 (Chiralt, et al., 1998). Como se puede ver en Figura 7.29 la goma CR muestra un aumento en su higroscopia a una a_w de 0.58 a 25 °C, a 35 °C de 0.45 y a 45 °C de 0.33, lo mismo sucede para la goma SR (Figura 7.30). Por lo anterior, la higroscopicidad de ambos materiales incrementa conforme se eleva la temperatura, la menor higroscopicidad se presentó a 25° C, y a la par la estructura que se encuentra en un estado sólido (rígido) retiene humedad del medio y se vuelve un líquido viscoelástico.

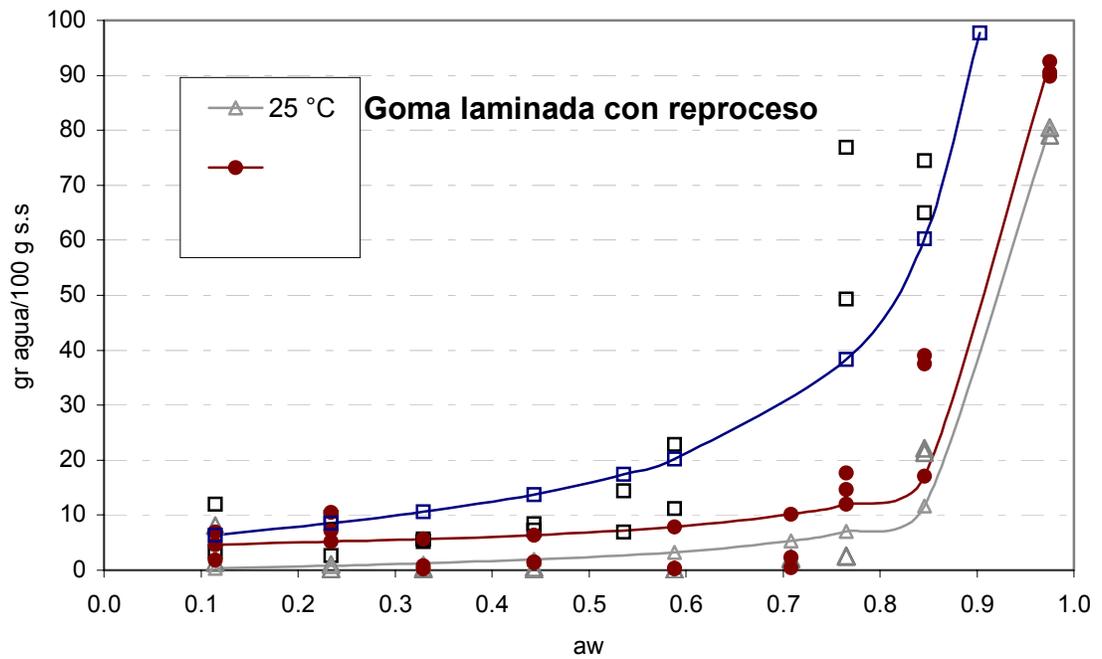


Figura 7.31. Isotherma de sorción de humedad a 25, 35 y 45 °C de goma laminada con reproceso bañada con almidón y azúcar.

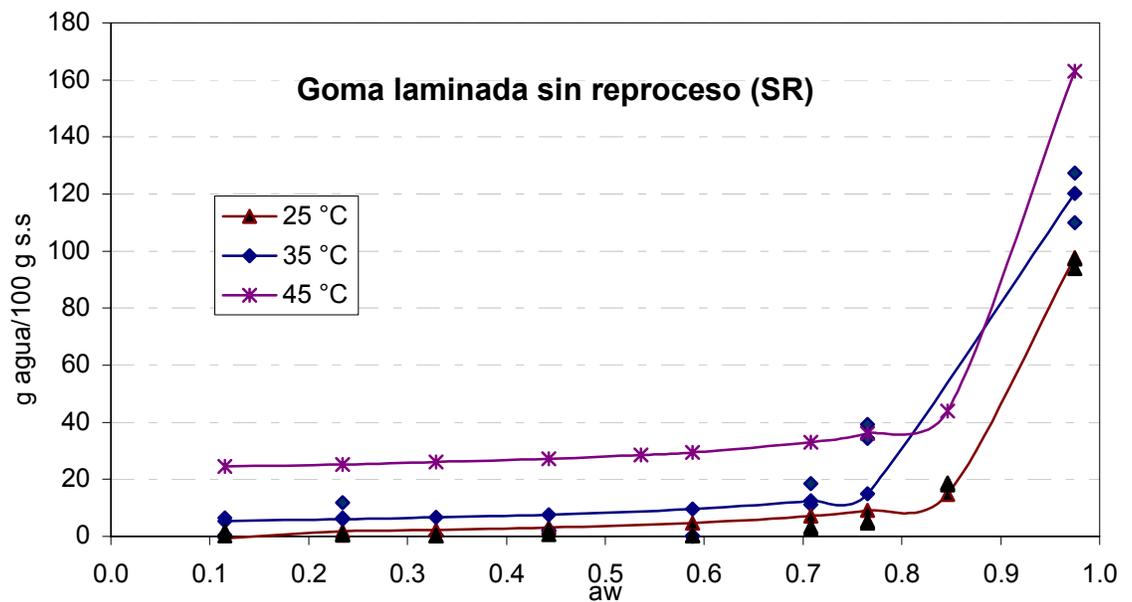


Figura 7.32. Isotherma de sorción de humedad a 25, 35 y 45 °C de goma sin reproceso bañada con almidón y azúcar.

Para el caso de goma que ya ha sido pre-extruída, atravesó el túnel de enfriamiento, volvió a ser extruída y finalmente bañada con almidón y azúcar, se obtuvieron las isotermas de sorción mostradas en Figura 7.31 y 7.32 para goma con reproceso (RP) y sin reproceso (SR) respectivamente, en ambas figuras se ve claramente la dependencia de la temperatura semejante a lo discutido para la goma pre-extruída (Figuras 7.29 y 7.30). La goma CR Figura 7.28 muestra un aumento en su higroscópica a una a_w de 0.6 a 25 y 35 °C y a 45 °C alrededor de 0.2 a 0.3, para la goma SR (Figura 7.32) el incremento en su higroscópicidad se presenta a una a_w de 0.7 para las tres temperaturas. Por lo anterior, es más higroscópica la goma CR bañada con almidón y azúcar e incrementa notablemente la absorción de agua a 45 °C, condición asociada a una estructura gomosa inestable que retiene agua del medio.

Por lo anterior se puede ver claramente que el comportamiento de las isotermas para goma sin reproceso (Figuras 7.30, 7.31) es más inestable que la goma con reproceso esta inestabilidad se puede ver claramente en las Figuras 7.33 y 7.34 donde se gráfica la ganancia de humedad con respecto al tiempo en el que la muestra (goma) alcanza la humedad de equilibrio, donde la goma sin reproceso (SR) tarda más tiempo en alcanzar el equilibrio para a_w menores de 0.5 que la goma con reproceso (CR), y la adición de la mezcla almidón y azúcar da mayor estabilidad al sistema en ambos casos, por lo tanto una menor absorción de humedad, esto se relaciona de acuerdo a lo reportado por Osman (1975) a que la sacarosa por su capacidad de hidratación interactúa con el almidón evitando que desarrolle toda su capacidad de hidratación (Badui, 1996). El tiempo en que tarda el producto en alcanzar la humedad de equilibrio es mayor de 15

días para los diferentes tipos de productos analizados, en especial a valores de humedad relativa por encima del 50 %, principalmente esto está asociado a las características de sorción de los azúcares y en segundo lugar a la base o polímero sintético PVAC (polivinilacetato) como la isoterma reportada para el PVAA (polivinilalcohol) derivado del PVAC, polímero de bajo porcentaje de cristalización necesita de tiempos largos para alcanzar el equilibrio y se da la mayor absorción cuando se encuentra en estado amorfo (gomoso). La interacción entre el polímero y el agua es de tipo hidrófobico, dicha interacción es considerada como un efecto endotérmico, cuando incrementa la temperatura favorece esta interacción (Molyneux, 1983).

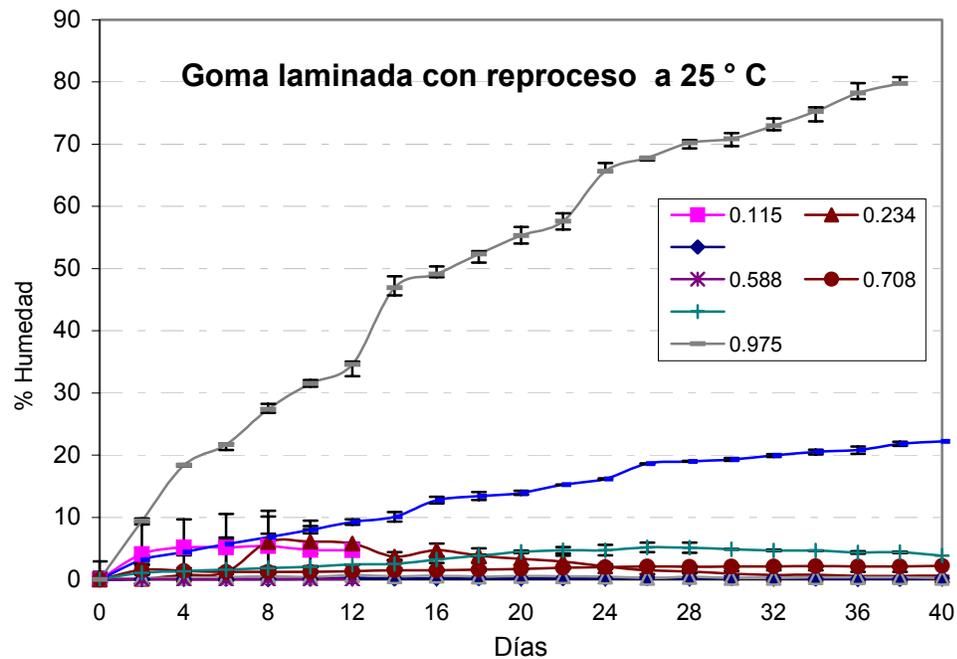


Figura 7.33 Ganancia de humedad de goma laminada con reproceso con almidón y azúcar (CR-CAA) a 25 °C.

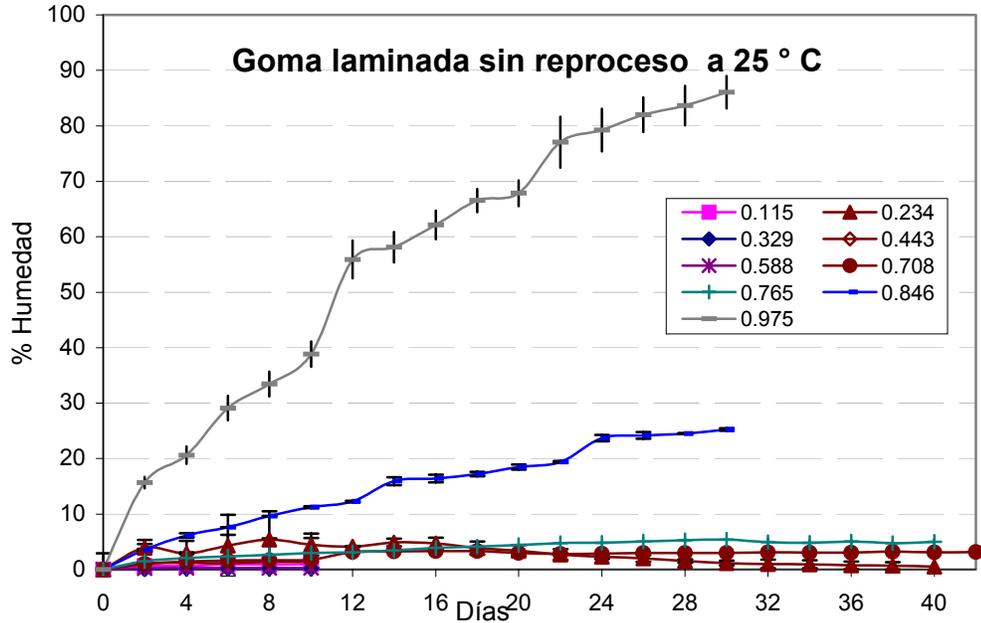


Figura 7.34 Ganancia de humedad de goma laminada con reproceso con almidón y azúcar (CR-CAA) a 25 °C.

7.16.3.1 Caracterización el modelo de Kuhn (1976)

La ecuación de Kuhn (1976), es un modelo matemático en el cual se relaciona la actividad de agua de un producto con su contenido de humedad en base seca (m). Esta ecuación empírica se puede expresar como:

$$m = A \frac{1}{\ln a_w} + B$$

Para la determinación de las constantes A y B a las diferentes temperaturas de los productos estudiados, se grafica $(1/\ln a_w)$ frente a m de tal manera obtener una línea recta. A partir de la pendiente de la recta y la ordenada en el origen se obtienen los

valores de las constantes. En la Tabla VII, se resumen los datos predichos por el modelo de Kuhn (1976) de los datos experimentales de sorción, se evalúan considerando que esta describe la isoterma de sorción de los producto en estudio para valores de a_e menor de 0.5 (Barreiro, 2002).

Tabla VII. Ajuste de datos experimentales por el modelo de Kuhn obtenidos para las isotermas de sorción (25, 35, 45 °C) de goma de mascar (CR-SAA, SR-SAA, CR-CAA, SR-CAA).

ISOTERMA	TEMPERATURA					
	25 °C		35 °C		45 °C	
	Constantes R		Constantes R		Constantes R	
Producto						
Goma pre-extruída						
a) CR-SAA	A: -2.42	0.94	A: -2.99	0.83	A: -6.37	0.93
	B: 7.97		B: 6.98		B: -0.80	
b) SR-SAA	A: -2.29	0.89	A: -3.17	0.87	A: -6.24	0.85
	B: 7.03		B: 6.35		B: -0.44	
Goma tomada a la salida del túnel						
a) CR-SAA	A: -1.08	0.84	A: -2.50	0.81	A: -2.29	0.74
	B: 2.87		B: 6.62		B: 5.68	
b) SR-SAA	A: -10.68	0.76	A: -2.40	0.95	A: -1.94	0.84
	B: -5.10		B: -2.48		B: -21.30	
Goma laminada						
a) CR-CAA	A: -2.05	0.97	A: -2.25	0.90	A: -9.78	0.85
	B: -0.61		B: 3.63		B: 1.78	
b) SR-CAA	A: -2.47	0.99	A: -2.94	0.93	A: -3.55	0.81
	B: -1.76		B: 3.97		B: 22.82	

CR-SAA Goma con reproceso sin almidón y azúcar

SR-SAA Goma sin reproceso sin almidón y azúcar

CR-CAA Goma con reproceso con almidón y azúcar

SR-SAA Goma sin reproceso sin almidón y azúcar

7.3 Análisis Calorimétrico Diferencial (DSC)

Los estudios de transiciones de fase en alimentos son relativamente recientes y se basan en teorías utilizadas en la ciencia de polímeros, pero han puesto de manifiesto la gran importancia de su control para la mejora de productos y procesos. Durante las transiciones de fase se presentan cambios en las propiedades mecánicas que afectan a otros parámetros de calidad en determinados productos. Por encima de la transición vítrea, la matriz amorfa está en estado gomoso, entonces la cinética de cambio de las propiedades del sistema (cambios físicos y cambios químicos) están en función de la temperatura. Los cambios en las propiedades mecánicas que ocurren alrededor de T_g son de gran interés en la textura de los alimentos, entre estas propiedades, la viscosidad y el módulo de elasticidad que disminuyen drásticamente por encima de T_g (Roos, 1995).

Como se pudo ver en el apartado anterior (sección 7.2) la goma presenta menor higroscopía a un a_w menor de 0.6 y de acuerdo a las condiciones de manejo de la goma durante el proceso, discutidas en la sección 7.1.3, la a_w de los materiales oscila alrededor de 0.38 a 0.57. Por lo anterior se estudiaron los cambios de fase de la goma de mascar a valores de a_w de 0.35 a 0.68. El material utilizado en este análisis fueron muestras previamente equilibradas a determinada humedad relativa (de 35 a 68%), dichas muestras son: goma con reproceso y sin reproceso ambas sin almidón y azúcar (CRSAA y SRSAA respectivamente), así como también con almidón y azúcar (CRCAA y CRASA respectivamente). También se evaluaron las transiciones de estado que se

presentan en la base o polímero sintético que es el componente principal de la goma de mascar, responsable de la masticabilidad o “chewing” de los chicles.

7.3.1 Análisis de los termogramas de la base o polímero sintético obtenidos con DSC.

La base de goma de mascar (descrita en la sección 3.3.1) es una mezcla de polímeros, el más abundante y responsable de la mayoría de las características de la goma es el polivinilacetato (PVAc). En la Figura 7.35 se presenta el termograma obtenido de la base calentada con un flujo de calor de 10 °C/min y a su vez enfriada con la misma velocidad.

En el termograma (Figura 7.35) se indica la región en donde se presentan las posibles transiciones de fase (vítreo a gomoso), y el pico de fusión (como un pico endotérmico), así como también el cambio de capacidad calorífica (C_p). De acuerdo a termogramas para materiales similares (Liu y Mathr, 2003) no se detecta pico de cristalización, esto se debe a que el PVAc y los elastómeros en la mezcla son polímeros amorfos donde existe mayor movilidad molecular por lo cual no es apreciable la cristalización. La primera T_g observada fue de 5.65 ± 0.21 °C, el inicio de esta transición se da a una temperatura de 1.15 ± 0.21 °C y el final se da a 10.15 ± 0.636 °C, el cambio de C_p generado en esta transición fue de 2.16 ± 0.74 J/g°K. La segunda T_{g2} observada fue de 17.5 ± 1.56 °C, el inicio de esta transición se da a una temperatura de

14.10 ± 1.98 °C y el final se da a 20.90 ± 1.31 °C, el cambio de C_p generado en esta transición fue de 0.33 ± 0.14 J/g °K.

La fusión de la base se presenta en el termograma como un pico de máxima absorción de calor (pico endotérmico) a una temperatura (T_m) de 50.5 ± 0.2 °C, el inicio de la transición se da a una temperatura de 37.95 ± 0.1 °C y el final a 59.55 ± 0.55 °C y la entalpía de fusión es de 22.81 ± 0.61 J/g.

Comparando con datos de bibliografía, Liu et al., (2003) evaluó la miscibilidad y morfología de un polímero similar en una mezcla con otro polímero semicristalino, y reporta que el PVAc por sí solo es amorfo, y que la posición de los picos endotérmicos se desplazan ligeramente cuando se agrega el otro polímero, la temperatura de fusión del polímero se presenta entre 40 y 60 °C, lo que coincide con lo aquí reportado y puede indicar que este pico es representativo del PVAc, en cuanto a la T_g Liu y Mathr (2003) reporta los valores de 35 °C y Rodríguez (1984) de 29 °C y por lo que se puede ver que la T_g obtenida es de algún otro componente en mezcla. En la Figura 7.35 también se puede observar el punto donde la base pierde viscosidad se mantiene constante, dicho punto fue encontrado alrededor de 60 a 80 °C, que coincide con lo reportado por Cadbury-Adams Inglaterra (2003), reporta como punto de ablandamiento del orden de 65 a 75 °C cuando el cambio en la viscosidad es despreciable.

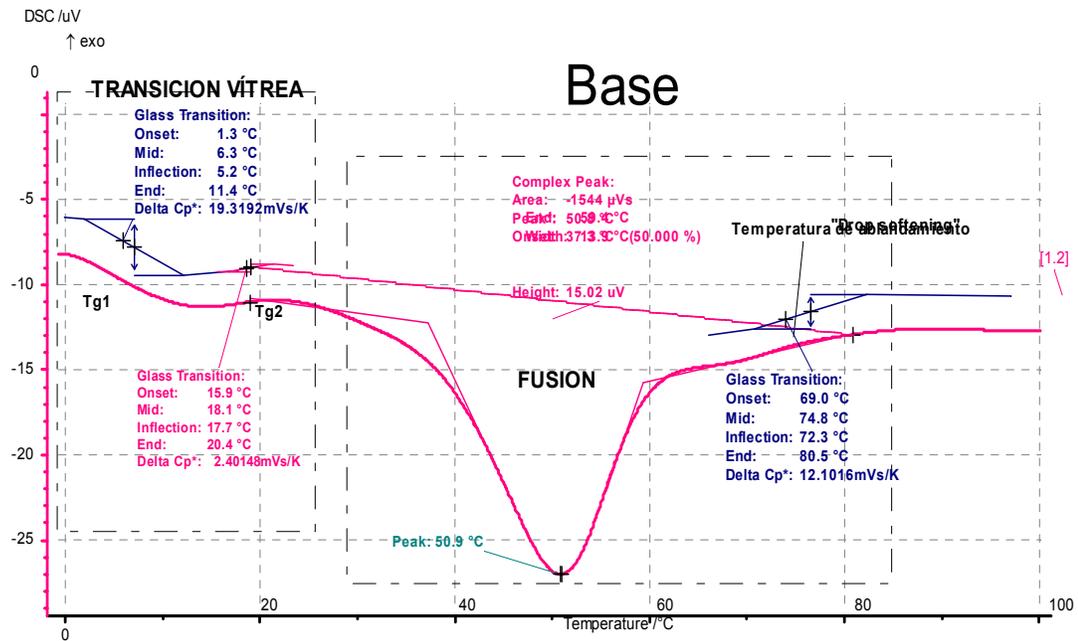


Figura 7.35. Termograma de la base de goma de mascar.

Por lo anterior vemos que es importante determinar las transiciones de la base y así poder establecer un patrón del comportamiento de la goma con el resto de los ingredientes a lo largo del proceso.

7.3.1 Análisis de los termogramas de goma de mascar obtenidas DSC.

En apartados anteriores se discutió la importancia que tiene la temperatura y actividad de agua de la goma. En estudios realizados sobre Tg, se reporta que existe dependencia con la a_w , la Tg disminuye cuando se aumenta la a_w debido al efecto plastificante del agua, y la temperatura de fusión (Tm) disminuye al aumentar la concentración de solutos (Roos, 1995).

En las Figuras 7.36, 7.38, 7.39 y 7.40 se muestran los termogramas analizados con el DSC, de goma con reproceso sin almidón y azúcar (CRSAA), con almidón y azúcar (CRAA), sin reproceso sin almidón y azúcar (SRSAA), y con almidón y azúcar (SRSAA) respectivamente.

Las transiciones de fase presentadas en la goma CRSAA se muestran en la Figura 7.36, se ve un leve efecto de la a_w sobre la T_g , aunque este efecto es considerado despreciable por la similitud entre los valores de T_{g1} a los niveles de a_w analizados, encontrándose un valor promedio de 6.48 ± 1.39 °C. El inicio de la transición vítrea como se muestra en la Figura 7.36 se da a una temperatura de 1.41 ± 0.64 °C y el final a 11.079 ± 1.67 °C, el cambio de C_p es de 3.22 ± 0.66 J/g°K.

En los termogramas de la goma mostrados en la Figuras 7.36, 7.38, 7.39 y 7.40 se detectó la presencia de la T_g de la base o polímero sintético, por tal motivo se evaluó la transición en este punto (T_{g2}) en cada uno de los termogramas.

Como se puede ver en las Figuras 7.36, 7.38, 7.39 y 7.40 es apreciable el efecto de la a_w sobre la T_{g2} de la goma, también se puede observar que todos los materiales analizados tienen un valor de T_g similar a una a_w de 0.45, dicho valor de temperatura se encuentra entre 15.4 a 19.5 °C como el registrado para la base de 15 a 19 °C mostrado en la Figura 7.37.

La fusión de la goma CRASA (Figura 7.36) se presenta en el termograma como un pico endotérmico a una T_m de $49.38 \pm 4.47 \text{ }^\circ\text{C}$, el inicio de la transición se da a una temperatura de $37.063 \pm 1.79 \text{ }^\circ\text{C}$ y el final a $59.71 \pm 5.96 \text{ }^\circ\text{C}$ y la entalpía de fusión es de $12.054 \pm 5.95 \text{ J/g}$. Como se puede ver en la Figura 7.36 la presencia o incorporación de ingredientes genera una reducción del pico endotérmico de la base o polímero sintético, esto se debe a la interacción de los componentes con el polímero, por lo tanto la entalpía de sorción disminuye.

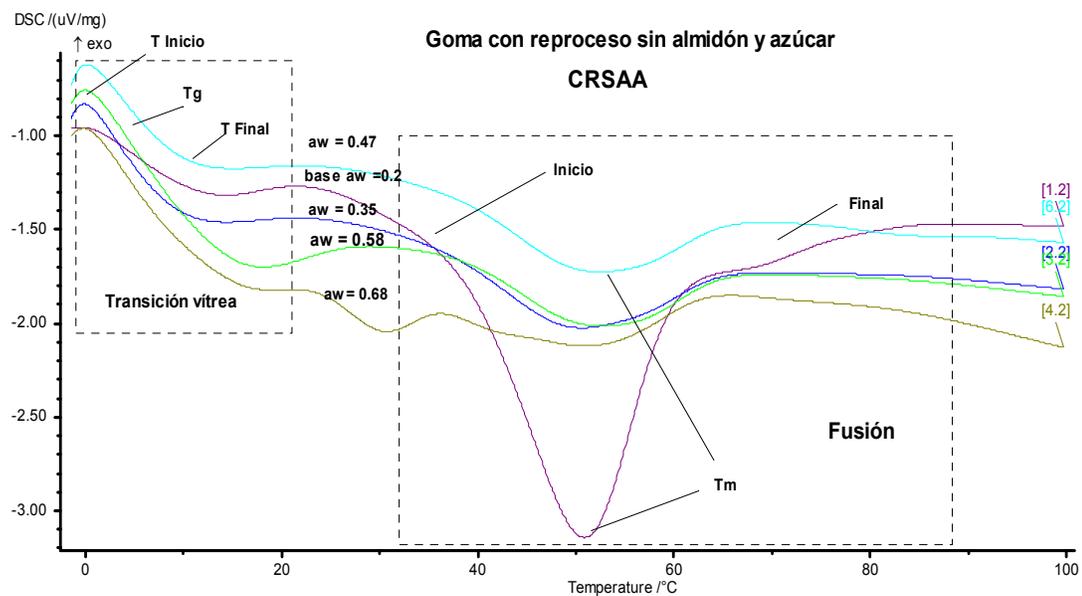


Figura 7.36. Termogramas de goma de mascar CRSAA a diferentes a_w obtenidos mediante el DSC.

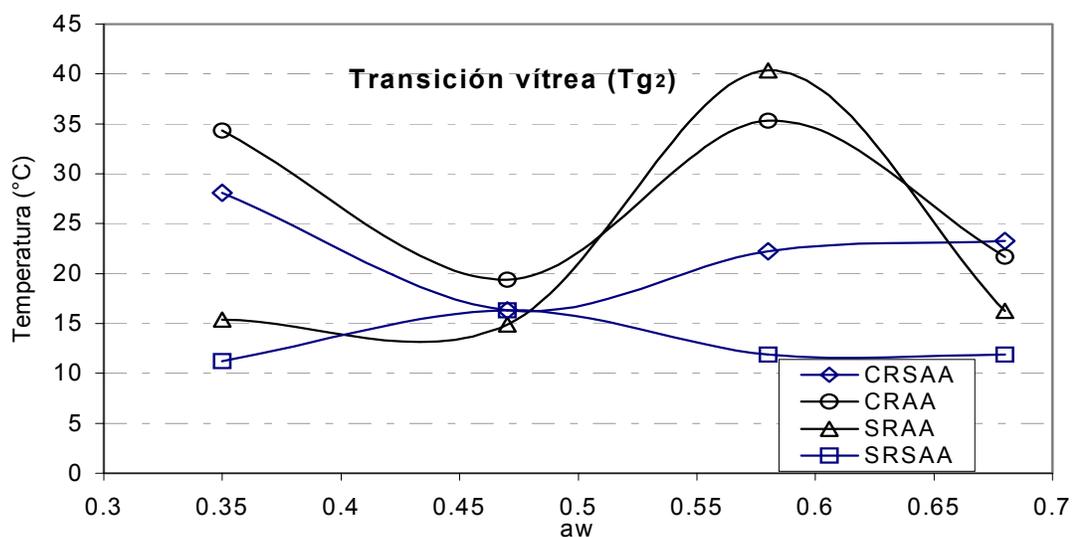


Figura 7.37. Efecto de la a_e sobre la temperatura de transición vítrea (Tg_2).

De manera semejante a la goma CRSAA (Figura 7.36) se presentan las transiciones de fase en la goma CRAA en la Figura 7.38, obteniendo un valor promedio de Tg_1 es de 5.9 ± 0.43 ° C, el inicio de la transición vítrea se presenta a una temperatura de 2.06 ± 0.29 °C y el final a 9.77 ± 0.72 °C, el cambio de C_p es de 2.785 ± 0.907 J/(g K). La goma CRAA presentó menor T_m a la a_w de 0.35 con un valor de 39.7 ± 8.7 °C, y mayor a 0.45, 0.58 y 0.68 con una T_m de 53.35 ± 02.17 °C. El inicio de la transición es semejante para todas la a_w con un temperatura de 31.61 ± 8.126 °C y el final es de a 61.21 ± 10.36 °C y la entalpía de fusión es de 8.126 ± 0.92 J/g.

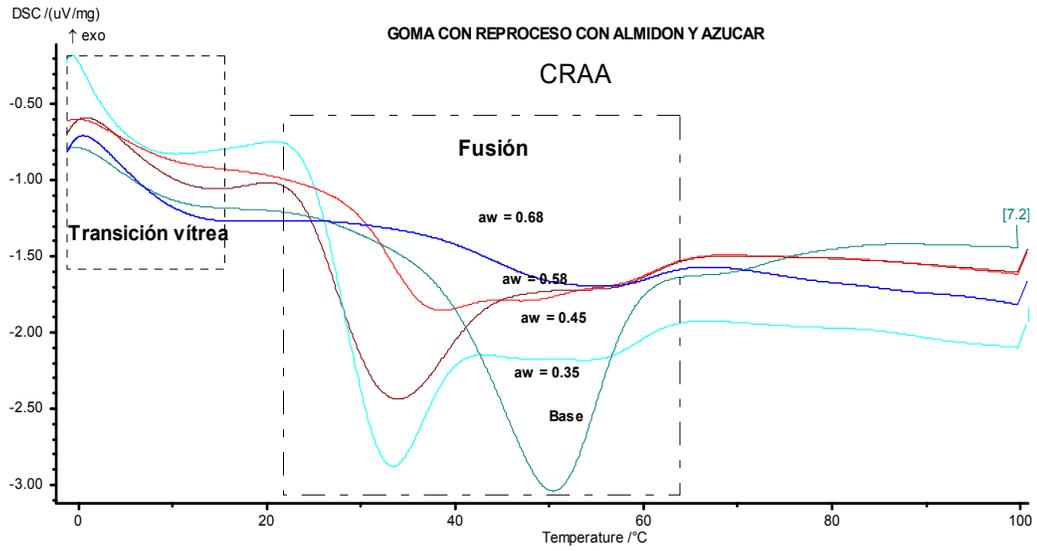


Figura 7.38. Termogramas de goma de mascar CRAA a diferentes a_w obtenidos mediante el DSC.

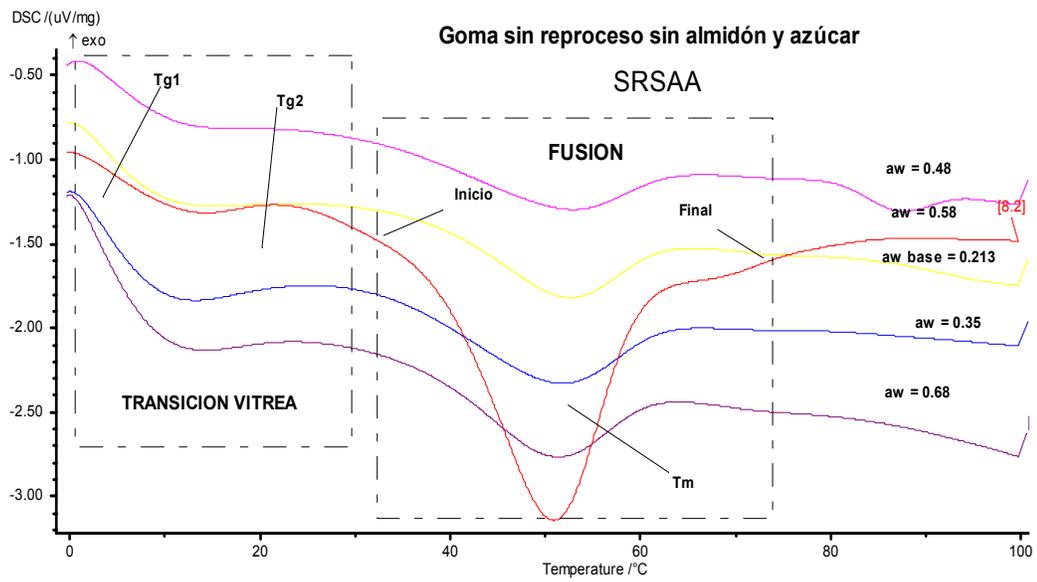


Figura 7.39. Termogramas de goma de mascar SRSAA a diferentes a_w obtenidos mediante el DSC.

Lo mismo sucede con la goma SRSAA mostrada en la Figura 7.39, cuyo valor promedio de T_g es de 4.67 ± 0.84 °C, el inicio de la transición vítrea se presenta a una temperatura de 0.95 ± 0.91 °C y el final a 8.41 ± 1.08 °C, el cambio de C_p es de 3.5 ± 1.66 J/(g K). La T_m promedio fue de 50.08 ± 1.85 °C, el inicio de la transición es de 35.26 ± 4.18 °C y el final es de a 58.8 ± 1.82 °C, y la entalpía de fusión es de 9.016 ± 4.63 J/g. Finalmente en la Figura 7.40 se observa un comportamiento semejante para la goma SRAA con un valor de T_g de 5.71 ± 1.34 °C, el inicio de la transición se presenta a una temperatura de 1.15 ± 0.91 °C y el final a 9.904 ± 2 °C, el cambio de C_p es de 3.2 ± 0.84 J/(g K). La T_m promedio fue de 49.9 ± 3.99 °C, el inicio de la fusión es a 35.34 ± 6.66 °C y el final es de a 60.41 ± 1.88 °C y la entalpía de fusión es de 14.16 ± 9.38 J/g.

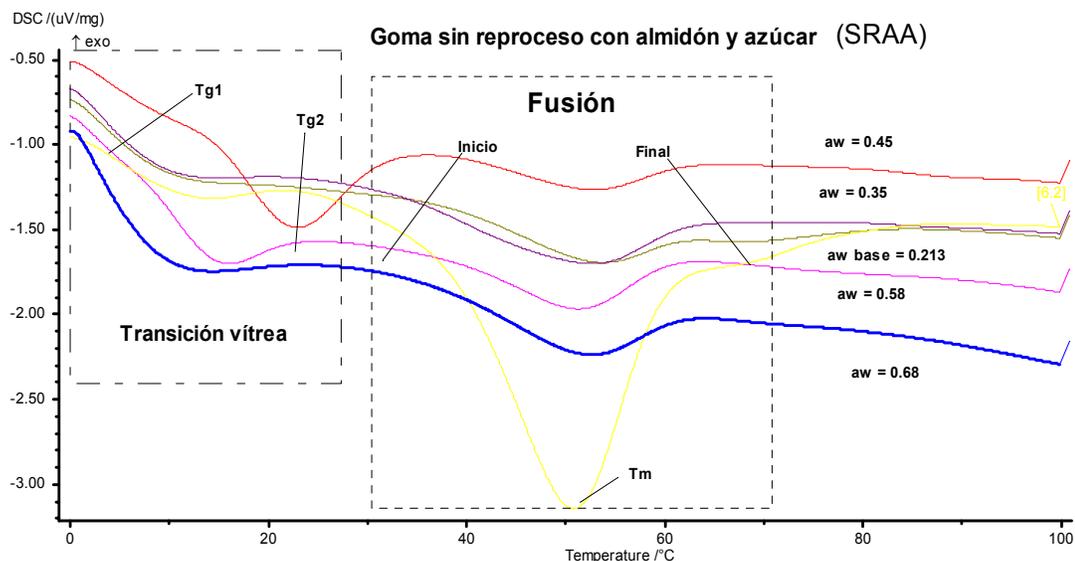


Figura 7.40. Termogramas de goma de mascar SRAA a diferentes a_w obtenidos mediante el DSC.

Por todos los análisis realizados en los termogramas anteriormente se puede observar que la temperatura de transición vítrea no presento variación con respecto a la Tg de la base. En lo que respecta a la temperatura de fusión se detecto un ligero desplazamiento de los picos endotérmicos esto se debe a la miscibilidad del polímero.

Los cambios en las propiedades mecánicas se detectan por encima de la Tg cuyo registro fue entre 5 y 6 °C , dicho cambios como la viscosidad o elasticidad comenzarán al final de la transición vítrea (T_{g1}), esto quiere decir que incrementara la viscosidad y disminuye la elasticidad alrededor de 10 a 12 °C . Por lo que a partir de esta temperatura podríamos relacionar la dureza de los centros laminados.

En la Figura 7.41 se puede observar el efecto de la actividad de agua sobre la temperatura de transición vítrea. Se puede ver que la presencia o incorporación de reproceso genera temperaturas de transición ligeramente más altas, a todas la actividades de agua (excepción 0.58) las temperaturas son similares para las muestras con reproceso (no importa si tienen almidón y azúcar) y de igual manera con la goma sin reproceso.

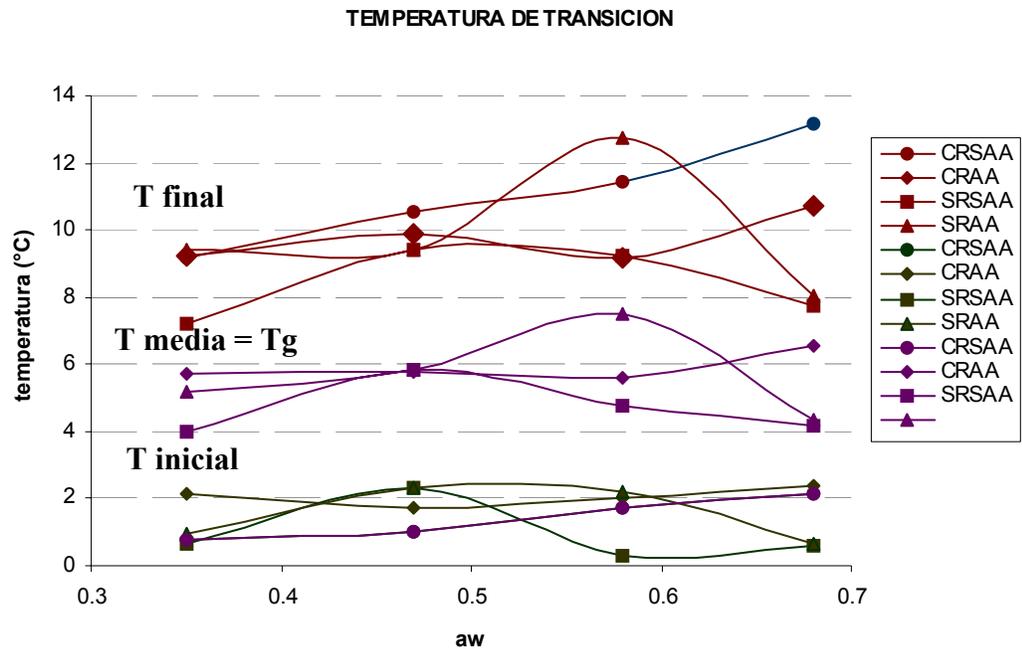


Figura 7.41 Efecto de la actividad de agua sobre la temperatura de transición vítrea (T_g) de la goma de mascar.

Asociando la información encontrada con los ingredientes utilizados para formar la goma, es necesario mantener la temperatura de ablandamiento de la base alrededor de 75 °C para incorporar la sacarosa, esto se debe a que la T_g de la sacarosa es de 67 °C reportada por Cakebread et al., (1966) y 62°C por Roos (1995). El estado físico de la sacarosa anhidra en cada momento es el siguiente: entre 0 y T_g se encuentra en estado vítreo; entre la T_g y la temperatura de cristalización (T_c) en estado gomoso; entre la T_c y la T_m en estado sólido y por encima en estado líquido, esto es de importancia en las propiedades mecánicas y por lo tanto en la textura del producto al consumirlo.

7.4 Evaluación de las propiedades termofísicas de la base y goma de mascar.

Las propiedades termofísicas son de gran importancia para el diseño de productos y procesos, por lo que en el presente estudio se evaluó la conductividad térmica de la base, goma CR y SR, y con y sin la incorporación de almidón y azúcar a niveles de temperatura comprendidos entre 60 y 70 °C. En la Figura 7.42 se muestra la variación de la conductividad de la goma de mascar equilibrada a diferentes niveles de humedad.

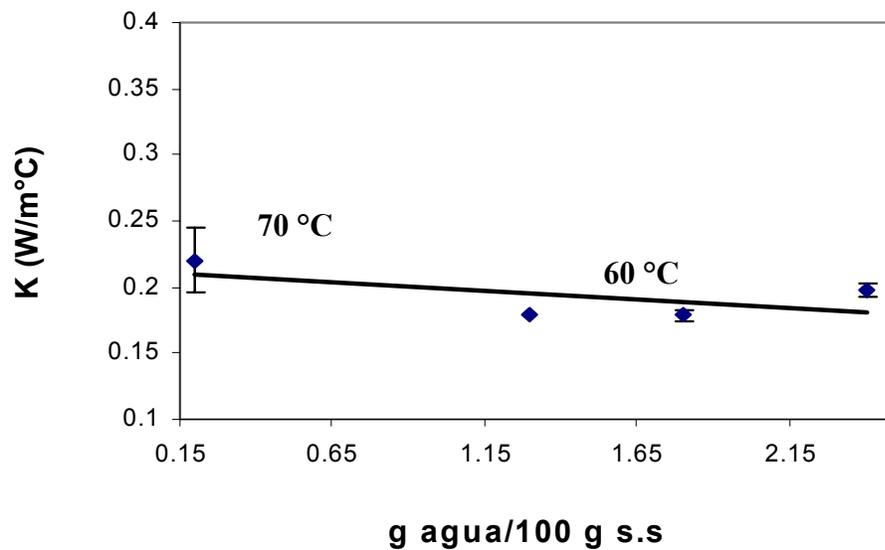


Figura 7.42 Relación entre la conductividad y la humedad de la goma de mascar .

En la Figura 7.42 se ve claramente que la conductividad del material varía muy levemente en función de la humedad de la goma, el valor promedio obtenido de conductividad térmica fue de 0.19 ± 0.019 W/m°C, no obstante el efecto de la

temperatura no genera cambio importante en la conductividad. Los valores de conductividad térmica reportados para polímeros gomosos es de $0.2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ y difusividad de $0.1 \text{ mm}^2/\text{s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Brown, 1996). El valor obtenido de k es muy pequeño, esto quiere decir que rápidamente se desplaza el calor, esto se debe a que la difusividad térmica (α) registrada es de $0.1 \text{ mm}^2/\text{s}$ y no tuvo variaciones con la temperatura y la humedad de la goma. Por lo anterior la velocidad de propagación de calor a través del material es muy pequeña.

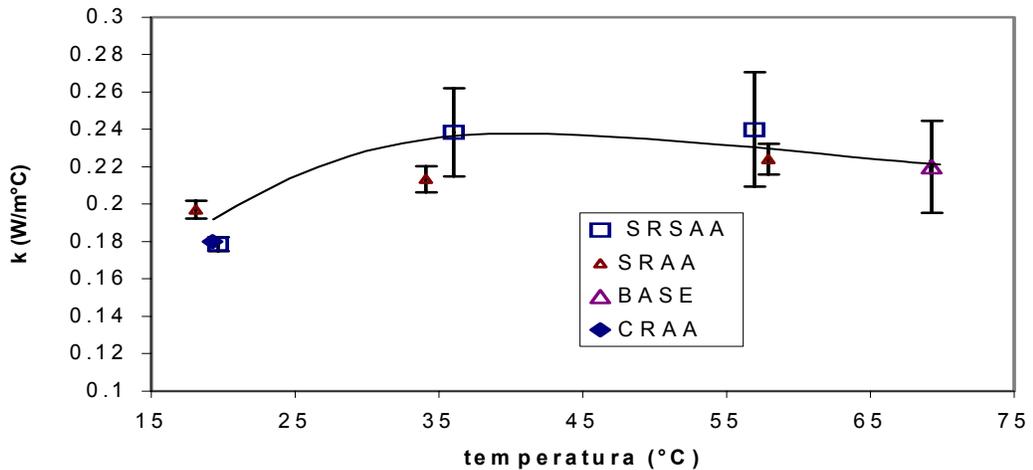


Figura 7.43. Relación de la conductividad térmica con la temperatura de la goma.

En la Figura 7.43 se ve claramente que no existe efecto importante sobre la conductividad del material, también se muestra que la composición del material no genera un cambio importante en la conductividad de la goma.