

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA**




**“CARACTERIZACIÓN DE NÚCLEOS O  
CENTROS ABSORBENTES DE PAÑALES DESECHABLES”**

Trabajo Especial de Grado,  
presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. Sarai Arlene Tory  
Quintero, para optar al título de  
Licenciada en Química, mención  
Tecnología.

Caracas, Octubre de 2014

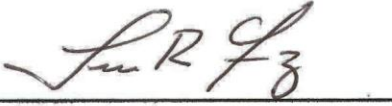
Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado: "CARACTERIZACIÓN DE NÚCLEOS O CENTROS ABSORBENTES DE PAÑALES DESECHABLES". Presentado por la Br. Sarai Arlene Tory Quintero, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.



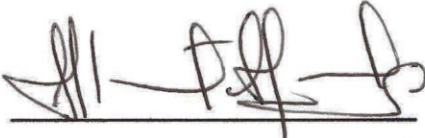
**Dra. Mary Lorena Araujo**  
(Jurado)



**Dra. Lola de Lima**  
(Jurado)



**Dr. Luis R. Gómez**  
(Tutor)



**MSc. Manuel Algarbe**  
(Tutor)

Yo, Dr. Luis R. Gómez, Profesor e Investigador del Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela y MSc. Manuel Algarbe Roye Investigador Senior de Procter & Gamble.

Certificamos que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE NÚCLEOS O CENTROS ABSORBENTES DE PAÑALES DESECHABLES”.**

Que presenta la Br. Sarai Arlene Tory Quintero, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el laboratorio del departamento de cuidado del bebé de la empresa Procter & Gamble conjuntamente con el Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, durante el periodo 2011-2014, y con esta fecha autorizamos su presentación.

Caracas, Octubre de 2014.



Dr. Luis R. Gómez



MSc. Manuel Algarbe Roye

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada debo agradecerle a Dios, quien me ha permitido llegar hasta aquí, quien ha estado conmigo siempre, acompañándome en cada paso de mi vida, cuidándome de todo peligro, protegiéndome de la adversidad, llenándome del valor necesario en los momentos de duda, y llenándome de amor cada vez que lo necesite, colocándome en el camino a las personas correctas, enseñándome a vivir cada día de la mejor manera posible.

Seguidamente debo agradecer a mi madre, Gladys Alicia Quintero, quien me dio algo más que la vida, me dio las herramientas para aprender a vivirla. Me has apoyado en todo, me has dado la fuerza que necesito en los momentos de debilidad, has estado conmigo viviendo cada momento, disfrutando los buenos, padeciendo los no tan buenos, y todo esto lo has hecho más que como una madre como una amiga, sin quejarte, sin dudar y sin renunciar. Eres lo mejor que dios me dio, una buena madre hace un buen hijo, todas mis buenas obras son tuyas y mis logros te los debo a ti. Hoy eres tú quien merece la celebración por la culminación de este ciclo, por no dejarme caer ni un solo día de mi vida ni de mi carrera. Gracias Mami, no tengo palabras para agradecer por todo lo que me has dado, TE AMO.

A mi hermana Carla, quien me dio las alegrías más grandes que una persona pueda tener: una cómplice, una amiga, un apoyo, todo en una sola persona; y la bendición de ser tía, de amar tanto a alguien sin haberlo visto nunca, de disfrutar la vida con solo ver su sonrisa y oír su voz. Gracias por estar a mi lado siempre, en las buenas y en las malas, sin dejar un solo día de quererme así te falle, te amo. Gracias a Derek, quien sin saberlo inunda mi rostro de felicidad y sonrisas con solo existir, con solo mirarlo, con solo escucharlo. Eres una bendición gatito mío.

A ti, Carlos Alejandro, mi esposo, por ser el amor de mi vida, por ser mi sueño desde hace tantos años, por darme la felicidad cada día de ser tu esposa, por regalarme tantas sonrisas y llenarme de tanto amor, gracias por darme paz cada vez que estoy entre tus brazos, gracias por darme el amor de quien siempre lo soñé, gracias por tanto. Te amo nito.

A mi padre por sus enseñanzas, por su cariño, por su paciencia a lo largo de toda mi vida, por hacerme una persona de bien y con ganas de superarme siempre. A mi tiita Nancy, quien ha estado siempre con buenos consejos, por considerarme más que su sobrina, su hija. A mis primas Sol, Sthefany y Daniela, por alegrarme con sus locuras, y por siempre estar pendientes de mí. A mi Angelito querido, por llegar a nuestras vidas a llenarlas de alegría. A mi abuela Alicia, quien desde el cielo no sólo me cuida sino que me dejó en la tierra a la familia más amorosa y maravillosa que alguien puede tener, por enseñarnos sobre el amor y el respeto, por enseñarnos que en la unión esta la fuerza de nuestra familia para siempre seguir adelante, gracias por regalarme lo mejor que alguien puede pedir. A mi madrina Elisa, que más que su ahijada me considera su hija, gracias por ser esa persona que jamás dice que no, que siempre me apoya y siempre busca una solución. Por siempre estar para mí en todo momento al pie del cañón lista para lo que sea.

En especial quiero agradecer a la Lic. Zuleima Vela, que fue más que una amiga, mi mano derecha para culminar este ciclo, me ayudó en cada paso de este proyecto y tuvo la paciencia necesaria para estar allí siempre, enseñándome nuevas técnicas.

A mis amigas Arian y Delimar, quienes vivieron toda esta aventura conmigo y saben mejor que nadie lo que padecemos en cada momento de esta carrera, gracias por su apoyo en todo momento.

A mi tutor Manuel Algarbe por tener la paciencia necesaria para enseñarme cosas de la vida y del proyecto, gracias por ser mi guía durante el tiempo que trabajamos juntos.

A mi tutor Luis Gómez, por guiarme en la entrega de este proyecto, y en la solución de los problemas que se presentaron en el camino.

A mi jurado, la profesora Lola de Lima, por ser más que sólo un jurado, fue mi apoyo en cada aspecto de la tesis, indicándome el camino correcto a seguir en todo momento.

A la profesora Mary Lorena Araujo, quien actuó como una madre siempre, cuidándome y dándome el ánimo que necesitaba para terminar este ciclo.

Al laboratorio de Síntesis Organometálica, por ayudarme con los espectros de FTIR que necesitaba para el análisis de mis muestras.

Y finalmente a la Universidad Central de Venezuela, por ser como mi segunda casa desde que era muy pequeña, por permitirme cumplir el sueño de ser una Licenciada de la casa que vence las sombras.

## RESUMEN

En los últimos años ha sido de gran interés para la industria, el consumo masivo de artículos de higiene y cuidado infantil, razón por la cual, cada día se desarrollan nuevos productos para satisfacer las necesidades de la población. Un hecho particular son los productos elaborados con material absorbente, como es el caso de los pañales desechables, tema en el cual se centró la atención del presente Trabajo Especial de Grado.

En este trabajo se realizó el enfoque de la caracterización a través de 3 diferentes áreas de estudio: el diseño de construcción del pañal, el desempeño del mismo, y las características químicas de su componente principal, que es el polímero superabsorbente.

Este, fue un proyecto de investigación llevado a cabo conjuntamente con la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela y el Departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa Procter & Gamble Industrial, el cual estuvo impulsado por la diversidad que existe actualmente en los diseños y composición de los núcleos absorbentes de los pañales desechables de las diferentes marcas líderes que se encuentran disponibles en el mercado latinoamericano. Es por esto que los objetivos que conformaron este estudio son dados por la necesidad de un conocimiento a profundidad de las diferencias establecidas en dichos diseños y las diversas composiciones de los centros absorbentes de los pañales elaborados por P&G y sus principales competidores, principalmente en base a: su aspecto, los materiales y la disposición de los mismos, y el diseño de los núcleos así como su desempeño, de

manera tal de poder evaluar y establecer las diferencias entre los productos que puedan justificar la preferencia o inclinación del mercado hacia una u otra marca.

Mediante los resultados obtenidos se pudo visualizar un comportamiento general para todos los productos donde la cantidad y las propiedades de los materiales de los centros absorbentes de pañales desechables, impactan directamente el desempeño del pañal. Se pudo observar del mismo modo que los productos de la marca A presentan mayor cantidad de polímero superabsorbente (PSA) lo cual se relaciona directamente con un mejor desempeño del pañal en términos de absorción y devolución del líquido. En lo que respecta a los centros absorbentes se tiene que los de los productos de la marca A son centros perfilados con distribución diferente de PSA entre sus zonas, mientras que los de los productos de las marcas B y C son centros no perfilados debido a la distribución prácticamente equitativa entre las 8 zonas del núcleo, los cuales a su vez mostraron una estructura más compacta y menos propensa a deformaciones debido a una capa de celulosa que envuelve al mismo.



## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Pañales, definición .....	1
1.2 Origen y desarrollo industrial de los pañales desechables.....	2
1.3 Pañales desechables, descripción física.....	11
1.4 Pañales desechables, composición físico-química .....	14
1.5 Centros o núcleos absorbentes de pañales desechables .....	24
1.6 Composición de los núcleos o centros absorbentes de los pañales desechables .....	27
1.7 Poliacrilato de sodio, beneficios .....	34
1.8 Caracterización de materiales.....	38
1.9 Generalidades de las técnicas de análisis y otros aspectos importantes de la caracterización.....	39
1.10 Justificación del proyecto .....	41
II. REVISION BIBLIOGRÁFICA .....	43
III. OBJETIVOS.....	50
3.1 Objetivo general .....	50
3.2 Objetivos específicos .....	50
IV. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	51

4.1	Equipos empleados.....	52
4.1.1.	Balanza analítica .....	52
4.1.2.	Estufa .....	52
4.1.3.	Titulador Automático.....	52
4.1.4.	Espectrofotómetro FTIR.....	52
4.2	Diseño del pañal.....	53
4.2.2.	Peso de un pañal / Peso promedio de un conjunto de pañales.....	54
4.2.3.	Peso de las zonas del pañal .....	55
4.2.4.	Peso de los compuestos del pañal por zonas.....	56
4.2.5.	Determinación cuantitativa de polímero superabsorbente por zonas .....	57
4.2.6.	Distribución del polímero superabsorbente empleando una solución de un indicador ácido-base (bromocresol).....	61
4.2.7.	Cantidad de pulpa en el centro absorbente .....	64
4.3	Desempeño del centro absorbente .....	65
4.3.1.	Velocidad de absorción .....	65
4.3.2.	Devolución de líquido .....	67
4.4	Características químicas del polímero superabsorbente.....	68
4.4.1.	Espectroscopia infrarroja .....	68
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	70
5.1	Diseño del pañal.....	71
5.1.1.	Dimensiones.....	71
5.1.2.	Componentes del pañal.....	82

5.1.3. Análisis de distribución por bromocresol .....	138
5.2 Desempeño del pañal .....	154
5.3 Análisis estructural del principal componente del centro absorbente .....	168
5.4 Generalidades del análisis .....	180
VI. CONCLUSIONES .....	187
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	189

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Cubierta interior y barreras del pañal. ....	10
Fig. 2. Tela no-tejida.....	10
Fig. 3. Componentes del centro absorbente de un pañal desechable.....	13
Fig. 4. Componentes de un pañal desechable. ....	13
Fig. 5. Materiales que conforman un pañal desechable. ....	16
Fig. 6. Molécula linear del poliacrilato de sodio. ....	20
Fig. 7. Bloqueo de flujo por dilatación del PSA.....	20
Fig. 8. Absorción, distribución y retención de los líquidos en el pañal.....	24
Fig. 9. Distribución de PSA en centros planos. ....	25
Fig. 10. Distribución de PSA en centros perfilados. ....	25
Fig. 11. Distribución porcentual en centros planos.....	26
Fig. 12. Distribución porcentual en centros perfilados.....	26
Fig. 13. Estructuras química de la celulosa y sus derivados. (8).....	28
Fig. 14. Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa. (9) .....	28
Fig. 15. Diferentes usos de los polímeros. (8).....	30
Fig. 16. Estructuras de polímeros.....	32
Fig. 17. Ácido poliacrílico. (13) .....	34
Fig. 18. Estructura del monómero y polímero del PSA. (11) .....	35
Fig. 19. Molécula del PSA (poliacrilato de sodio). ....	35
Fig. 20. Fases de formación del polvo del PSA. (5) .....	37
Fig. 21. Diferencia estructural entre el polímero colapsado y el polímero hinchado. (14) .....	38
Fig. 22. Espectros FTIR de la solución de monómero y del gel de poliacrilato de sodio. (19).....	48

Fig. 23. División del pañal para el análisis cuantitativo de sus componentes. (5) .....	55
Fig. 24. Capas del centro absorbente de un pañal desechable.....	57
Fig. 25. Reacción del poliacrilato de sodio con ácido clorhídrico. (5) .....	57
Fig. 26. Distribución de las muestras para titular.....	59
Fig. 27. Centro absorbente rociado con púrpura de bromocresol. ....	62
Fig. 28. Ecuación para la determinación de la cantidad de pulpa de celulosa. ....	65
Fig. 29. Bromocresol en producto A1.....	140
Fig. 30. Cuadrícula producto A1.....	140
Fig. 31. Corte transversal del centro absorbente producto A1 .....	141
Fig. 32. Bromocresol en producto A2.....	142
Fig. 33. Cuadrícula producto A2.....	142
Fig. 34. Corte transversal del centro absorbente producto A2. ....	143
Fig. 35. Bromocresol en producto A3.....	144
Fig. 36. Cuadrícula producto A3.....	144
Fig. 37. Corte transversal del centro absorbente producto A3. ....	145
Fig. 38. Bromocresol en producto B1.....	146
Fig. 39. Cuadrícula producto B1.....	147
Fig. 40. Corte transversal del centro absorbente producto B1. ....	147
Fig. 41. Bromocresol en producto B2.....	148
Fig. 42. Cuadrícula producto B2.....	149
Fig. 43. Corte transversal del centro absorbente producto B2. ....	149
Fig. 44. Bromocresol en producto C1.....	150
Fig. 45. Cuadrícula producto C1.....	151
Fig. 46. Corte transversal del centro absorbente producto C1. ....	151
Fig. 47. Bromocresol en producto C3.....	152
Fig. 48. Cuadrícula producto C3.....	153
Fig. 49. Corte transversal del centro absorbente producto C3. ....	153

Fig. 50. Estructura del poliacrilato de sodio. (18) .....	168
Fig. 51. Espectro IR del poliacrilato de sodio. ....	169
Fig. 52. Espectro IR Muestra A1. ....	170
Fig. 53. Espectro IR Muestra A2. ....	171
Fig. 54. Espectro IR Muestra A3. ....	172
Fig. 55. Espectro IR Muestra B1. ....	173
Fig. 56. Espectro IR Muestra B2. ....	174
Fig. 57. Espectro IR Muestra C1. ....	175
Fig. 58. Espectro IR Muestra C3. ....	176
Fig. 59. Comparación de espectros IR de las 7 muestras. ....	177

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del pañal. ....	71
Tabla 2. Dimensiones de la capa de adquisición-distribución. ....	71
Tabla 3. Dimensiones del centro absorbente. ....	72
Tabla 4. Peso total y seccionado de los productos analizados. ....	83
Tabla 5. Peso total y seccionado del chasis.....	91
Tabla 6. Peso total y seccionado de la capa de adquisición-distribución .....	99
Tabla 7. Peso total y seccionado del PSA.....	104
Tabla 8. Peso total y seccionado de la pulpa de celulosa. ....	113
Tabla 9. Porcentaje total y seccionado de los componentes del centro absorbente. ...	119
Tabla 10. Relación PSA/Pulpa de celulosa por zonas. ....	128
Tabla 11. Relación PSA/Pulpa de celulosa total. ....	128
Tabla 12. Porcentaje total de los componentes en el pañal. ....	130
Tabla 13. Porcentaje seccional de los componentes del pañal. ....	135
Tabla 14. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A1. .....	139
Tabla 15. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A2. .....	141
Tabla 16. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A3. .....	143
Tabla 17. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en B1. .....	146

Tabla 18. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en B2. .....	148
Tabla 19. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en C1. .....	150
Tabla 20. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en C3. .....	152
Tabla 21. Velocidades y tiempos de adquisición de A1.....	155
Tabla 22. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A1.....	155
Tabla 23. Velocidades y tiempos de adquisición de A2.....	157
Tabla 24. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A2.....	157
Tabla 25. Velocidades y tiempos de adquisición de A3.....	158
Tabla 26. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A3.....	158
Tabla 27. Velocidades y tiempos de adquisición de B1.....	160
Tabla 28. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de B1.....	160
Tabla 29. Velocidades y tiempos de adquisición de B2.....	162
Tabla 30. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de B2.....	162
Tabla 31. Velocidades y tiempos de adquisición de C1. ....	164
Tabla 32. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de C1.....	164
Tabla 33. Velocidades y tiempos de adquisición de C3. ....	166
Tabla 34. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de C3.....	166
Tabla 35. Picos característicos IR Poliacrilato de sodio .....	179



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cantidad total de PSA por producto.....	105
Gráfico 2. Cantidad total de pulpa de celulosa por producto. ....	114
Gráfico 3. Distribución de PSA en A1.....	124
Gráfico 4. Distribución de PSA en A2.....	124
Gráfico 5. Distribución de PSA en A3.....	125
Gráfico 6. Distribución del PSA en B1.....	125
Gráfico 7. Distribución de PSA en B2.....	126
Gráfico 8. Distribución de PSA en C1.....	126
Gráfico 9. Distribución de PSA en C3.....	127
Gráfico 10. Porcentaje total de ocupación del chasis.....	131
Gráfico 11. Porcentaje total de ocupación de la capa de adquisición-distribución. ....	132
Gráfico 12. Porcentaje total de ocupación del PSA.....	133
Gráfico 13. Porcentaje total de ocupación de la pulpa de celulosa. ....	134

## **I. INTRODUCCIÓN**

Este capítulo tiene como objetivo la revisión de conceptos y descripciones relacionadas al tema del estudio, así como el establecimiento de los fundamentos esenciales para lograr la adecuada comprensión del proyecto llevado a cabo.

### **1.1 Pañales, definición**

El pañal es una prenda absorbente que sirve para contener ciertos desperdicios humanos como lo son las heces y la orina. Este es comúnmente usado por individuos que no poseen la capacidad de controlar los esfínteres, o que no pueden o no saben usar los baños. Es importante mencionar que los usuarios de pañales no son únicamente bebés, sino también adultos que sufren de incontinencia, y en algunos casos también son empleados por personas que se encuentran en ciertas circunstancias particulares donde el acceso al baño no es posible. Como ejemplos de los usuarios se pueden incluir a los ancianos, personas con discapacidad mental o física, o aquellas que trabajan en condiciones extremas, tales como los astronautas (1). Sin embargo, en el desarrollo de este proyecto se trabajó únicamente con los pañales destinados para uso de bebés.

Una de las causas del desarrollo y avance de los pañales desechables, es el hecho de que durante su uso el pañal se ensucia debido a su función principal de absorber y/o retener los desechos líquidos y sólidos del cuerpo humano, lo que hace necesario que

el mismo sea cambiado periódicamente, y motiva entonces por cuestiones prácticas, a desarrollar un mejor producto que cumpla adecuadamente su función.

## **1.2 Origen y desarrollo industrial de los pañales desechables**

Los pañales han sido usados a lo largo de la historia humana. Los mismos pueden ser fabricados en tela o materiales desechables. Los primeros, están compuestos de capas de tela proveniente de productos tales como algodón, cáñamo, bambú u otras microfibras, las cuales pueden ser lavadas y reusadas múltiples veces. Por otro lado, los segundos, contienen químicos absorbentes y usualmente son desechados después de su primer uso. La decisión de usar pañales de tela o desechables es un tema controversial, debido a los problemas que van desde conveniencia, salud y costo, hasta su efecto al medio ambiente. En el caso de los pañales de tela, estos han sido usados debajo de pantalones cortos de plástico de manera tal de evitar derrames, pero con el desarrollo y mejora de los pañales de tela modernos, esto ya no es necesario. Sin embargo, son los pañales desechables los más comúnmente usados a nivel mundial, siendo las industrias más conocidas fabricantes de estos Procter & Gamble y Kimberly Clark (1).

Para entender la historia de la creación y uso del pañal es necesario conocer la procedencia de su nombre. La palabra pañal tanto en inglés como en español, originalmente se refiere al tipo de prenda más que a su uso. El término pañal en inglés “diaper”, fue el usado para describir el patrón de pequeñas figuras geométricas repetidas, luego de esto, pasó a describir una tela de algodón blanca o lino con este mismo patrón. El primer pañal de tela consistió en un tipo especial de papel tisú suave (tissue), cortado en diferentes formas geométricas (cuadrados, rectángulos, triángulos).

Este tipo de patrón fue llamado "diapering" (de aquí el término diaper en inglés) y eventualmente dio su nombre a la tela usada para realizar pañales y luego al pañal en sí. Esto se remonta a la Inglaterra de los años 1590 (1). Por su parte el origen en español de la palabra "pañal" es una derivación del "pañó" o pequeño pedazo de tela utilizada para envolver al bebé y captar sus desechos. En algunas partes de Latinoamérica también se le llamó "mantilla" por la misma razón (2).

La necesidad de un pañal para bebés es tan antigua como la historia misma de la humanidad. Existen algunos documentos que narran sobre la ropa utilizada por los bebés de los tiempos antiguos, los cuales incluyen el uso de hojas y pieles de animales. Los egipcios, los aztecas, los romanos y muchos otros, quienes dejaron documentación de su día a día, mencionan su uso. La necesidad del uso de pañales ha cubierto desde siempre a todos los segmentos de la población, incluyendo los estratos sociales tanto de mayor como de menor poder adquisitivo. En los años 1500, a los bebés se les colocaba un pañal limpio que les duraba varios días; en la época de los pioneros del oeste americano los pañales usados eran rara vez lavados, ya que la mayoría de las veces sólo se colgaban cerca de las chimeneas para secarlos y volver a ser utilizados nuevamente. Los Inuits, esquimales de Alaska, usaban pieles de foca rellenas de musgo para envolver con ellos a sus bebés; y los nativos americanos usaron pieles de conejo rellenas de pasto con el mismo objetivo (2).

Los primeros pañales de tela de algodón fueron fabricados en grandes volúmenes por Maria Allen en 1887 en los Estados Unidos. Sin embargo el uso de estos trajo consigo problemas de rozaduras en la piel de los bebés. Al inicio del siglo 20 muchas madres preocupadas empezaron a usar agua hervida para lavar los pañales, con el objetivo de reducir de manera más eficaz el problema de las rozaduras, sin embargo el poner a hervir un gran recipiente con pañales, requería de gran esfuerzo, tiempo y energía. En

los años 40 el típico pañal usado era una tela rectangular gruesa hecha de algodón. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) en los países desarrollados, el requerimiento de las mujeres para trabajos relacionados con la proveeduría de municiones y artículos de guerra, ocasionó la necesidad de los servicios de "lavado de pañales", de manera tal que las madres que no tuvieran tiempo de lavarlos pudieran recibir pañales limpios después de un intenso día de trabajo en la fabricación de estos artículos de guerra. En los años siguientes empezó la era de la invención del pañal desechable, la cual al igual que muchos de los grandes inventos, no es posible atribuir a un sólo individuo, ya que fue el resultado de muchas pequeñas mejoras (2).

A mediados de los años 40, el primer pañal desechable para bebé fue lanzado al mercado en Suecia, impulsado principalmente por la escasez de algodón que ocasionó la guerra. En 1942, una compañía Sueca de papel conocida como Paulistrôm, creó el primer pañal usando pañuelos de hojas de papel ubicados dentro de pantalones de goma. Para 1946, en Estados Unidos, un ama de casa de Westport llamada Marion Donovan, inventó unas cubiertas exteriores impermeables que servían para proteger el pañal de la salida de los líquidos. Utilizando el material de las cortinas de baño, Donovan diseñó y perfeccionó, en su máquina de coser, una cubierta reutilizable y hermética para el pañal en forma de recipiente, en cuyo interior se podía colocar un pañal convencional de tela, el cual no provocó, como los pantalones de goma (parecidos a los interiores) de bebé de ese tiempo, erupción e irritación en la piel del bebé. Donovan llamó su pañal el "Boater" porque ayudó a bebés "a permanecer a flote". El producto final fue fabricado con tela de nylon (como la de paracaídas), y ofreció una innovación adicional: Donovan había sustituido los pines de seguridad por broches de presión de metal y de plástico. El debut de los Boaters vino en la tienda Saks Fifth Avenue de Nueva York en 1949, donde fueron, un éxito inmediato. La patente de Donovan fue concedida en 1951. Para entonces, la inventora ya había empezado a trabajar en una innovación más esencial: el pañal desechable de papel.

Éste no fue tan fácil de crear como parecía, ya que para prevenir erupciones, el material del pañal debía "recoger" la humedad de la piel del bebé, más que absorberla y retenerla inertemente. Después de mucha experimentación, Donovan diseñó una composición de papel fuerte y absorbente que hacía bien el trabajo. Sorpresivamente no tuvo un éxito instantáneo con esta idea. Visitó a las principales compañías de papel y recibió rotundas burlas por proponer un artículo tan innecesario e impráctico. Seguido de esto, Marion Donovan vendió tanto su compañía como sus patentes de pañales a la compañía fabricante de ropa para niños Keko Corporation (2).

En paralelo, en el año 1947, George M. Schroder, cuando trabajaba para la Textile Research Institute of the University of Chattanooga, fue contratado por la compañía Henry Frede & Co. para crear el primer pañal desechable con telas no-tejidas (nonwoven). Aparentemente el primer pañal desechable fue desarrollado para la Eastern Airlines en 1949 por Chicopee (J&J) para reducir las quejas provocadas por las familias que viajaban en vuelos transatlánticos acompañados de un bebé. El pañal desechable en los años 50 era un artículo lujoso y solamente usado en ocasiones especiales, como en viajes de vacaciones o visitas al doctor. No era común ver a un bebé usando un pañal desechable. Este primer pañal desechable para bebé fue fabricado utilizando un diseño rectangular muy sencillo. El núcleo absorbente era hecho de algunas capas de papel tisú o tissue (de 15 a 25 capas), y en el exterior se utilizaba una película plástica, pero las cintas adhesivas no eran suministradas con el producto. La capacidad total de absorción de estos pañales era estimada alrededor de 100 ml, así que éste proporcionaba un servicio muy limitado al sólo poder usarse para soportar unas pocas descargas, tomando en cuenta que el volumen promedio de descarga diaria es mayor a 300 ml para un bebé de 0 a 1 año (3). Su disponibilidad, sin embargo, agregó un gran valor a las mamás e inmediatamente fue considerado como uno de los grandes inventos de la humanidad (2).

Durante la década de los años 50 el pañal prácticamente permaneció sin cambios. Su costo lo hacía poco conveniente para la mayoría de la población, ya que no tenía los medios para adquirirlo, y además su distribución estaba limitada a muy pocos países. Se sabe que el pañal tenía fugas frecuentes del líquido, por lo que no llegaban a satisfacer adecuadamente las necesidades del consumidor, sin embargo no existen datos confiables respecto al desempeño que tenían estos productos (2).

Pasó casi una década para que alguien se interesara en el invento creado por Donovan, y este fue Victor Mills, quien trabajara para Procter & Gamble. Basándose en la visión de Donovan, Mills dio la pauta para lo que se llamaría Pampers, al mejorar el diseño de los pañales que usaba su nieto y formular un nuevo diseño, al menos conceptualmente, en 1956 (2).

En los años 60, el pañal desechable se desarrolló rápidamente en la medida en que la industria aprendió de las necesidades de las madres. El pañal Pampers, de Procter & Gamble, fue introducido al mercado americano en la primavera de 1961 y fue un éxito moderado; su principal punto débil fue que no tenía cintas adhesivas propias, lo que provocaba una incomodidad, ya que requerían tener cintas adhesivas a la mano cuando se cambiaba el pañal. En lugar de papel tisú, fue introducida una capa de fibras de celulosa, una década después de que las primeras toallas sanitarias la utilizaran. Con el uso de fibras de celulosa en lugar de papel, se mejoró el desempeño del pañal, y con el desarrollo de mejores telas no-tejidas (nonwoven) usadas en cubiertas internas más suaves hechas de rayón, empezaron a transformar los pañales (ver fig. 1). El pañal era grueso, con el propósito de reducir los frecuentes escurrimientos, algunos de tamaño mediano tenían un peso de 65 g y se estima que el mejor de los pañales tenía un escurrimiento global del 8% al 10%. En este punto una producción típica en una fábrica tenía una velocidad de 150 pañales por minuto (2).

Los años 70 probaron ser la máxima explosión para la industria del pañal desechable en los países desarrollados y en otras partes del mundo menos desarrolladas. Con la entrada al mercado de Kimberly Clark y Johnson & Johnson, la competencia por el mercado mundial de pañales con Procter & Gamble impulsó al mercado, disminuyéndose así los precios al consumidor. Al inicio de la década, Johnson & Johnson introdujo los primeros pañales con cintas adhesivas laterales de papel ya incorporadas. La demanda mundial excedió la capacidad de producción por muchos años. La penetración del mercado tuvo un incremento exponencial en los Estados Unidos, Europa y Japón. En Latinoamérica muchos países también experimentaron este fenómeno, incluyendo a México, Argentina y Chile. El uso de los adhesivos de fusión en caliente en lugar de los adhesivos en frío, permitió reducir los tiempos de secado, resultando en una línea de pañales más rápida y continua. Se añadieron más opciones con respecto al tamaño y capacidad total de absorción para el mercado, apareciendo por ejemplo los pañales para uso nocturno. Las máquinas de pañales estuvieron corriendo a una velocidad increíble de 250 pañales por minuto. A finales de esta década se dio el primer uso de los elastómeros laterales, en un intento por mejorar el ajuste, sin embargo, la forma del pañal permanecía sin cambios, por lo que la mejora era poco importante. Algunos comentarios de los pediatras empezaron a aparecer, cuestionando el grosor del pañal absorbente en la entrepierna y su efecto en el desarrollo de los huesos del bebé. Para final de la década, los mejores pañales del mercado podían presumir de un mejor desempeño con respecto a las fugas, con un valor alrededor del 5% de escurrimiento (2).

En los años 80, el pañal tuvo cambios de diseño muy significativos. Se empezaron a utilizar materiales elastoméricos, mejorando con estos el ajuste del pañal. Los elásticos fueron usados en las piernas y también en la cintura. La forma del pañal también cambió para un mejor ajuste, pasando de una vieja forma rectangular a una forma de reloj de arena, mucho más moderna y anatómica, donde en la zona intermedio del



pañal el ancho disminuye en comparación con las zonas delantera y posterior, proporcionando una estructura más cómoda al ser más moldeable al cuerpo del bebé. La tela no-tejida (nonwoven) fue cambiada de rayón a polipropileno “thermal-bond”, el cual proporcionó una tela más suave y de textura más cómoda para el bebé. Entre 1981 y 1982, salieron al mercado pañales supuestamente biodegradables, los cuales introducían almidón en el proceso de extrusión de la película, con lo cual ofrecían una pretendida biodegradación, sin embargo la Comisión Federal de Comercio de EEUU (FTC, Federal Trade Commission, por sus siglas en inglés) intervino y obligó a los fabricantes a retirar el producto de los anaqueles debido a la falta de evidencias científicas respecto a la biodegradación. Resulta que los pañales se fragmentaban (con la luz UV), mas no se biodegradaban (no cambiaban de peso molecular significativamente, ni se convertían en elementos bio-activos). Con el reconocimiento del ciclo de vida de un pañal, que típicamente termina enterrado en un basurero municipal sin luz, los fabricantes no pudieron demostrar la validez de la leyenda impresa en sus bolsas ante la FTC, por lo que aceptaron, por juicio legal, pagar una cuantiosa infracción y retirar su producto del mercado (2).

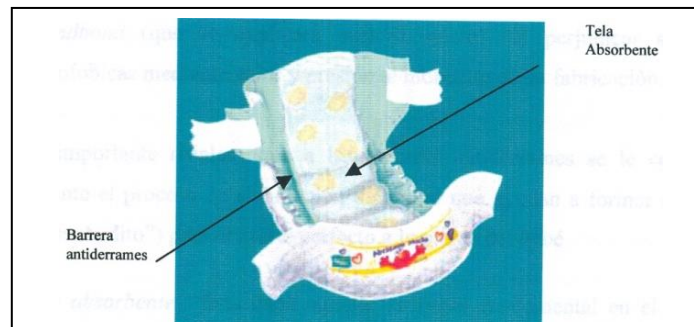
El polímero superabsorbente (SAP “Super Absorbent Polymer” por sus siglas en inglés y PSA por sus siglas en español) fue introducido inicialmente en el pañal en 1982 por Unicharm en Japón, siguiéndole en su uso a la toalla sanitaria, que lo había empezado a usar un año antes. Con el polímero superabsorbente una nueva generación de pañales de alto desempeño fue posible, ya que no solamente los pañales eran más delgados sino que también se mejoró su retención, lo cual ayudó a reducir los escurrimientos y los problemas de rozaduras. Pañales del segmento alto, con menos del 2% de escurrimiento llegaron a ser una realidad finalmente. El peso promedio de un típico pañal mediano era reducido cerca del 50% con respecto a los pesos usados en la década anterior, al tiempo que se mejoraba el desempeño. Esto fue justo lo que se necesitaba para demostrar las buenas intenciones de la industria en cuanto a su interés

en la ecología, además curiosamente, también lo fue en sentido económico, debido a la reducción del costo de empaque. Cada gramo del polímero superabsorbente en el pañal era capaz de reducir en 4 gramos el contenido de celulosa. Durante esta década se realizaron muchos estudios para comparar los pañales desechables con los pañales de tela, generando un debate que aún continúa (2).

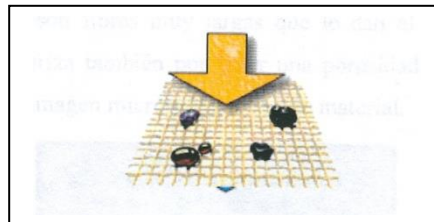
En los años 90, muchas nuevas características se agregaron al pañal desechable: telas no-tejidas (del tipo SMS, Spunbond-meltblown-spunbond, por su nombre en inglés) fueron utilizadas en lugar del “thermal-bond”, con lo que se aumentó la resistencia de la tela. El material semejante a tela o “clothlike” (plástico con acabado tipo tela) reemplazó la película de polietileno en el sector alto del mercado. En muchos casos, este acabado dio la falsa creencia de que los pañales eran ventilados, cuando en realidad dentro de la cubierta exterior de tela existía aún la misma película plástica tradicional. El polímero superabsorbente usado en los pañales fue mejorado significativamente usando un agente reticulante superficial, lo que permitió reducir los problemas asociados al bloqueo por gel, fenómeno con el cual se describe la imposibilidad de mover líquidos una vez que se saturaba el superabsorbente, haciéndose una barrera de gel en el tope del núcleo, dejando partes del pañal totalmente secas. Las barreras de las piernas fueron fabricadas de tela no-tejida SMS, ayudando a reducir aún más los escurrimientos entre las piernas de los bebés gracias a una mayor resistencia al paso de líquidos (ver fig. 1). Las cintas adhesivas fueron lanzadas al mercado en forma de Velcro u otros tipos de enganches, al igual que las cintas elásticas adhesivas las cuales se desarrollaron para mejorar el ajuste del pañal al bebé (2).

Muchos nuevos detalles como el Aloe Vera, protectores contra gérmenes, acondicionadores de la piel, indicadores de humedad, cintas frontales que brillan en la oscuridad, etc., se comenzaron a utilizar ante una necesidad cada vez mayor de

distinguirse en un mercado que se desarrollaba cada vez más. Las tendencias actuales más marcadas de un pañal de bebé son: el uso de un cuerpo absorbente con alta variación en el peso entre las partes frontal y trasera del pañal, es decir, casi no lleva material absorbente en la parte de atrás, que es la que menos tiene contacto con la orina; el uso de un chasis menos ancho, lo que implica un pañal más anatómico y cómodo; y la incorporación de orejas laterales elásticas, con el fin de ahorrar en los materiales al mismo tiempo que se logra un mejor ajuste. Para la producción de los pañales actualmente se emplean unas máquinas de pañales que corren a velocidades entre 300 a 800 pañales por minuto (2).



**Fig. 1. Cubierta interior y barreras del pañal.**



**Fig. 2. Tela no-tejida.**

Una vez explicado el proceso de invención, desarrollo y mejora de los pañales desechables, es fundamental conocer las zonas básicas de funcionamiento y los

materiales de los componentes básicos que actualmente conforman un pañal desechable.

### **1.3 Pañales desechables, descripción física**

Según el contacto con la piel del bebé, el pañal desechable súper absorbente moderno consiste de dos zonas básicas (ver fig. 3 y 4)

- Zonas con materiales que están en contacto directo con la piel
  - La cubierta superior. Consiste en una hoja sintética suave de tela no-tejida, compuesta de polipropileno y/o polietileno, la cual permite al líquido pasar a través de ella, mientras permanece relativamente seca y suave. La función principal de esta capa es transferir el líquido rápidamente a las capas de abajo. Además, la cubierta superior puede llevar una loción para proteger la piel de humedad e irritación. (4)
  - Elementos funcionales. Poseen básicamente características diseñadas para asegurar un buen ajuste del pañal. Tales elementos diseñados pueden incluir paneles laterales y de la cintura que se estiran (elásticos en la cintura), sistemas de fijación con cintas adhesivas para mejorar el ajuste, y barreras elásticas en las piernas para prevenir derrames. Productos estéticos pueden ser añadidos, tales como colorantes o esencias. Los elementos funcionales

pueden variar dependiendo del estilo del pañal, el fabricante, y la preferencia del consumidor. (4)

▪ Zonas de materiales que no están en contacto directo con la piel

- La capa de adquisición-distribución, usualmente compuesta por un parche de celulosa modificada y una capa a base de poliéster intercalada entre la cubierta superior y el núcleo. La función principal de esta capa es facilitar el movimiento del líquido lejos del bebé así como distribuirlo más y mejor, a lo ancho y largo del núcleo del pañal para una absorción y eficiencia máxima. (4)
- El núcleo absorbente es la capa más interna del pañal. Esta consiste típicamente en una mezcla de gránulos de poliacrilato de sodio mezclado con pulpa de celulosa desfibrada y blanqueada mediante un proceso con un elemento libre de cloro. Esta mezcla se encuentra encapsulada por celulosa o por una capa de tela no-tejida de polipropileno. La porción de celulosa del núcleo funciona para absorber rápidamente la orina y transferirla al polímero superabsorbente, el cual es capaz de absorberla y bloquearla dentro de su estructura polimérica para mantenerla lejos de la piel del bebé, incluso bajo la presión a la cual puede estar sometido el polímero cuando el bebé se sienta sobre el pañal lleno. (4)
- La cubierta posterior o exterior es la capa más externa del pañal, la cual es resistente al líquido que entra al pañal. Está típicamente hecha de una

película de polietileno laminado con una de polipropileno con apariencia de tela suave. Su función es prevenir que el líquido se derrame fuera del pañal, hacia la ropa. (4)

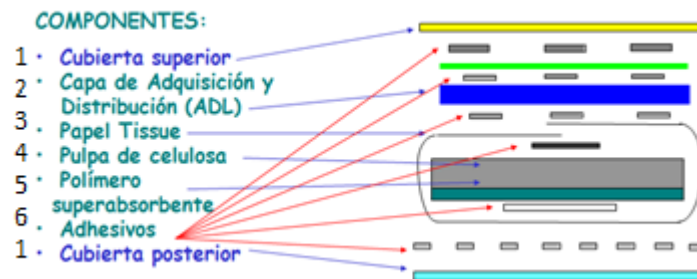


Fig. 3. Componentes del centro absorbente de un pañal desechable.

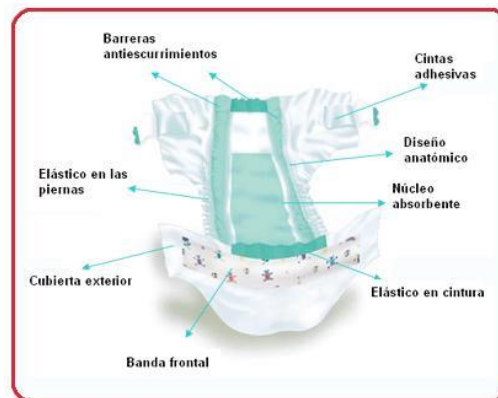


Fig. 4. Componentes de un pañal desechable.

#### **1.4 Pañales desechables, composición físico-química**

El crecimiento en el uso de pañales desechables ha sido acompañado por muchas mejoras en el diseño. La más importante fue la introducción de polímeros superabsorbentes (poliacrilato de sodio) como un componente del núcleo del pañal en la década de los años 80. Dependiendo de la fuerza iónica del fluido, estos materiales pueden absorber muchas veces su propio peso de disoluciones acuosas (en el caso de agua de grifo, alrededor de 200 veces). A diferencia de los materiales tradicionales de celulosa, los poliacrilatos tienen la habilidad de retener el líquido en el núcleo del pañal, manteniéndolo lejos de la piel del bebé, incluso bajo presión (4). Para poder conocer éstos materiales es muy importante conocer primero el significado de tela no-tejida (nonwoven), ya que ésta es uno de los materiales fundamentales dentro de la fabricación de los mismos.

Las telas no-tejidas son telas de ingeniería única, hechas de fibras, y de alta tecnología, usadas a través de un amplio rango de aplicaciones y productos. Las telas no-tejidas son innovadoras, versátiles e indispensables, por lo que la vida moderna sería literalmente imposible sin ellas. En combinación con otros materiales o usadas solas, las telas no-tejidas pueden ser empleadas en un amplio rango de productos industriales y de consumo, con diversas propiedades. Estos incluyen productos de higiene con capacidad absorbente, muebles para el hogar, cuidado de la salud, telas de cirugía, construcción, filtración, ingeniería, por nombrar algunos. Ellas pueden ser telas de vida limitada, de un solo uso o muy durables (5).

Las telas no-tejidas tienen características específicas que les permiten entregar un alto desempeño a través de un amplio rango de aplicaciones. Las funciones específicas

incluyen: absorción, repelencia a los líquidos, resistencia, estiramiento, suavidad, fuerza, resistencia al fuego, filtrado, barrera bacteriana y esterilidad, además que son acolchadas y pueden ser lavadas. Estas propiedades son a menudo combinadas para crear telas adecuadas para trabajos específicos, mientras que se alcanza un buen balance entre la vida de uso del producto y el costo. Ellas pueden imitar la apariencia, textura y fuerza de una tela tejida y pueden ser tan abultadas como los rellenos más gruesos. En combinación con otros materiales proporcionan un amplio espectro de productos con diversas propiedades (5).

Las telas no-tejidas son definidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO, International Organization for Standardization por sus siglas en inglés) en el documento 9092 y por el Comité Europeo de Estandarización (CEN, European Committee for Standardization por sus siglas en inglés) en el documento 29029. Estos dos documentos, idénticos en su contenido, son las únicas definiciones internacionales reconocidas de telas no-tejidas. Como la industria, el comercio y la tecnología han evolucionado desde su publicación en 1988, estos estándares han sido actualizados por los expertos ISO para reflejar mejor lo que en el presente se entiende por telas no-tejidas (6).

El siguiente texto ha sido recientemente propuesto a la ISO, por la Asociación Europea de Desechables y Telas No-tejidas (EDANA, European Disposable and Nonwovens Association, por sus siglas en inglés) y la Asociación de Industrias de Telas no Tejidas (INDA Association of the Nonwoven Fabrics Industry, por sus siglas en inglés): (6)

*“Un no-tejido es una hoja de fibras, filamentos continuos, o hilos cortados de cualquier naturaleza u origen que han sido formados en una red por cualquier medio, y*



enlazados juntos por cualquier otro, con la excepción del tejido de puntos. Los fieltros obtenidos por la molienda húmeda son no-tejidos. Las redes de wetlaid (no-tejidos hecho por un proceso modificado de hacer papel, donde se sumergen las fibras a ser usadas en agua) son no-tejidos, siempre y cuando, ellas contengan un mínimo de 50% de fibras sintéticas y artificiales u otras fibras de origen no vegetal, con una relación de longitud a diámetro igual o superior a 300, o un mínimo de 30% de fibras sintéticas y artificiales, con una relación de longitud a radio igual o superior a 600, y una densidad máxima aparente de 0,40 g/cm<sup>3</sup>. Estructuras de materiales compuestos se consideran no-tejidos siempre que su masa este constituida de al menos 50% de no-tejidos como por las definiciones anteriores, o si el componente del no-tejido juega un papel preponderante” (6).

Conociendo lo que básicamente se define como telas no-tejidas, se exponen a continuación los materiales que conforman un pañal desechable (ver fig. 5):

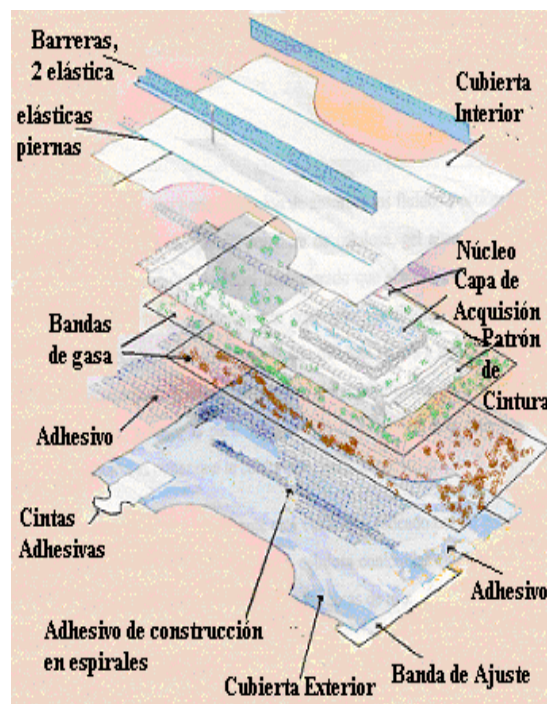


Fig. 5. Materiales que conforman un pañal desechable.

- 1) Cubierta posterior o exterior / Película de polietileno o de material similar a tela (fig. 5): su función es prevenir el derrame de los líquidos hacia fuera del pañal. La cubierta posterior o exterior y puede tener una apariencia similar a una tela. Consiste en añadir una delgada hoja de tela no-tejida de polipropileno a la misma, mediante la aplicación del proceso de fusión en caliente o el método de calentamiento y presión con extrusión (prensado o moldeado del plástico) directa a la tela no-tejida. Contrario a la creencia popular, el material es similar a la tela, pero no lo es, sino que está hecho a partir de plásticos. Este material es ventilado, y también puede ser usado como cubierta posterior, en vez de emplear la película de polipropileno (2).
  
- 2) Cintas frontales / Bandas de ajuste (fig. 5): son usadas para facilitar el múltiple reposicionamiento de las cintas adhesivas laterales sin que se rompa la cubierta posterior o exterior del pañal. Están hechas de una película de polipropileno y se encuentran unidas al frente del pañal con adhesivo, situadas a cada lado de la zona frontal usualmente decorada con dibujos impresos. El uso de estas cintas frontales ha ayudado a reducir el grosor de la película de polipropileno de la cubierta posterior o exterior, sin el riesgo de desgarros de la misma, asociados a la apertura de las cintas adhesivas laterales una vez que han sido adheridas. Las cintas frontales pueden tener diseños impresos que pueden ser aleatorios o sincronizados; en el caso de los sincronizados algunas patentes pueden proteger el uso de impresiones en algunos mercados (2).
  
- 3) Adhesivos por fusión en caliente / Adhesivos (fig. 5): son usados para adherir los diferentes componentes del pañal, tal como el núcleo y los elásticos. Se hacen con una mezcla de resinas, aceites y adherentes. El adhesivo de fusión en caliente se aplica en estado fundido y cuando se enfría ofrece la fuerza de unión

requerida para pegar los materiales. La mayoría de las veces dos tipos de adhesivos son usados: un adhesivo de construcción, para la cubierta posterior y las telas no-tejidas, y un adhesivo elastomérico, para los elásticos de la pierna y de la cintura. El adhesivo elastomérico tiene una mayor elasticidad y fuerza de unión y es generalmente más costoso que los adhesivos de construcción. Cuando el centro absorbente del pañal es muy delgado, otro adhesivo especial conocido como adhesivo de integración del centro absorbente es también usado para añadir fuerza al núcleo del pañal cuando esta mojado. Este adhesivo es especialmente usado cuando la carga del polímero superabsorbente excede el 25% del peso total del centro absorbente. Estos adhesivos pueden ser colocados en spray o en forma de espirales (2).

- 4) Cintas adhesivas (fig. 5): en pañales Premium, los materiales tipo Velcro® han sido usados para proporcionar agarre mecánico, y son también conocidos como cintas de engache. En pañales de menor precio, las cintas adhesivas usadas están hechas con polipropileno. También existen nuevas versiones de las telas no-tejidas elásticas de cintas de Velcro (2).
  
- 5) Pañuelo de papel tisú (tissue) / bandas de gasa (fig. 5): este pañuelo u hoja de papel tisú, que también puede ser un envoltorio de bandas de gasa, tiene una gran elasticidad y resistencia a la humedad, y es otro de los componentes importantes de un pañal. El pañuelo de papel esencialmente sirve como un soporte para el núcleo o centro absorbente del pañal, y ayuda a reducir los agujeros creados durante el proceso de compresión, llevado a cabo por los tambores continuos de los sistemas de formación. Este pañuelo de papel, medido en  $\text{g/m}^2$  (GSM por sus siglas en inglés: grams per square meter) tiene típicamente  $16 \text{ g/m}^2$  o más, y protege el interior del plástico donde se encuentran

las partículas del polímero superabsorbente. Para que el portador SMS tenga un costo competitivo contra el pañuelo de papel tisú, debe tener menos de 12 GSM (2).

- 6) *Poliacrilato de sodio (núcleo) (fig. 5)*: también conocido como superabsorbente, polímero superabsorbente o material superabsorbente, es típicamente usado en su forma fina granular (como sal de mesa). Ayuda a mejorar la capacidad de retención de un pañal desechable, permitiendo al producto ser más delgado, con un desempeño mejorado y con un menor uso de pulpa de celulosa de pino. La estructura molecular del poliacrilato tiene grupos de carboxilato, en este caso de sodio (-COONa) colgando de la cadena principal. Cuando entra en contacto con el agua, los iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) se tienden a desprender, dejando solos a los iones carboxilos ( $-\text{COO}^-$ ), los cuales siendo negativamente cargados, se repelen uno a otro de manera que el polímero se desenrolla absorbiendo agua. El polímero también tiene enlaces reticulados, que efectivamente conducen a una estructura tridimensional. El poliacrilato de sodio tiene una masa molecular alta de más de un millón en unidades de masa molecular, por lo que en vez de disolverse, se solidifica en un gel. El hidrógeno en el agua (H-O-H) es atrapado por el poliacrilato debido a los enlaces atómicos asociados con las fuerzas de polaridad entre los átomos. Los electrolitos en el líquido, tales como los minerales (la orina contiene 0.9% de minerales), reducen la polaridad, por lo que afecta las propiedades del superabsorbente, especialmente con respecto a la capacidad de retención de líquidos del mismo. Esta es la razón principal por la que los pañales que contienen polímeros superabsorbente no deben ser probados nunca con agua corriente. Las configuraciones lineares moleculares tienen menos capacidad total que las moléculas no lineares, pero, por otro lado, la retención de líquido en una molécula linear (ver fig. 6) es mayor que en una molécula no linear, debido a la mejora de la polaridad (2).

Los polímeros súper-absorbentes pueden ser diseñados para absorber grandes cantidades de líquidos (con menor retención) o muy altas retenciones (pero baja capacidad). Adicionalmente, un agente reticulante superficial puede ser añadido a la partícula superabsorbente para ayudar a mover líquidos mientras está saturada. Esto ayuda a evitar la formación del bloqueo por gel (ver fig. 7), fenómeno previamente descrito (sección 1.2), el cual describe la imposibilidad de mover líquidos una vez que la partícula del polímero superabsorbente se satura, ya que se forma una barrera de gel en el tope del núcleo, dejando partes del pañal totalmente secas (2).

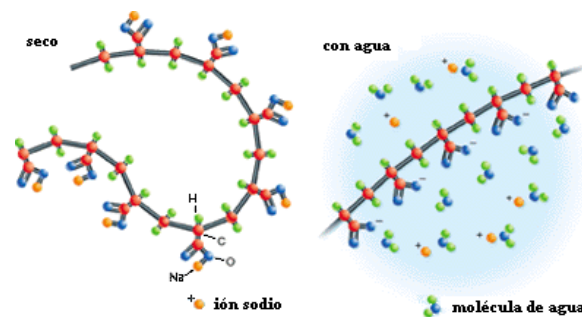


Fig. 6. Molécula lineal del poliacrilato de sodio.

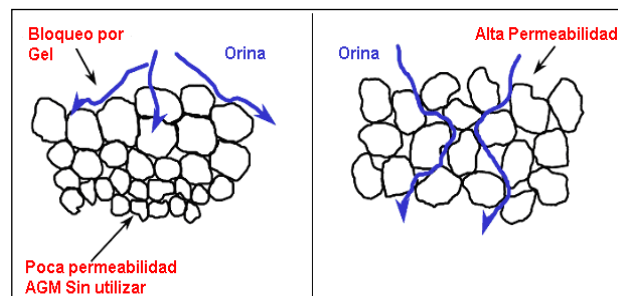


Fig. 7. Bloqueo de flujo por dilatación del PSA.

- 7) Celulosa (núcleo) (fig. 5): es usada en la construcción del centro absorbente, y da la integridad y capacidad de absorción al pañal. La capacidad de la pulpa normal de celulosa es alrededor de 10cc de agua por gramo de pulpa cuando el pañal está en condiciones libres de dilatación, pero menor a 2cc de agua por gramo de pulpa cuando está sometido a 5KPa de presión; es por eso que un material superabsorbente es también requerido para mantener los líquidos bajo condiciones de presión. La celulosa proviene de árboles de pino, generalmente obtenidos de bosques bien tratados. Los líquidos son absorbidos por los capilares en los espacios vacíos que se encuentran entre las fibras y el ángulo de tensión superficial entre estas y el agua. La longitud típica de las fibras usadas en pañales es alrededor de  $2.6\text{mm}^2$  (2). En algunas ocasiones se utiliza una capa protectora de celulosa entre la cubierta posterior y el centro absorbente, para evitar que los granos del polímero superabsorbente entren en contacto con la cubierta posterior o exterior, y no se generen roturas que liberen el contenido del núcleo al exterior (5).
- 8) Capa de adquisición-distribución (fig. 5): también conocida por su abreviación ADL (Acquisition and Distribution Layer por sus siglas en inglés), es una sub capa usada entre la cubierta superior y el centro absorbente. Algunas veces es usada en toda su longitud, pero es mayormente preferida como un parche cerca de la zona de destino donde es más probable que sea depositada la orina. Esta sub capa es especialmente requerida cuando el centro absorbente es muy delgado, ya que la misma transfiere rápidamente los líquidos hacia el centro absorbente y reduce el derrame potencial (ver fig. 8). La ADL es muy importante para proporcionar una sensación de sequedad a la piel, ya que proporciona una separación adicional entre el centro absorbente mojado y la piel. La ADL debe ser usada siempre que la mezcla del polímero superabsorbente en el centro absorbente se exceda alrededor de 15% por peso o cuando el tiempo de

penetración del líquido requiera un impulso de manera de evitar el derrame del pañal debido a la acumulación del líquido dentro del mismo. La ADL se fabrica ya sea a través de telas no-tejidas enlazadas por aire, de fibras rizadas como los Pampers de Procter & Gamble, o alguna clase de materiales no-tejidos de “high loft” (un estructura de fibra que contiene más aire que fibra). Los pañales de más bajos precios algunas veces usan materiales no-tejidos de enlaces de resina, pero estos no funcionan tan bien (2).

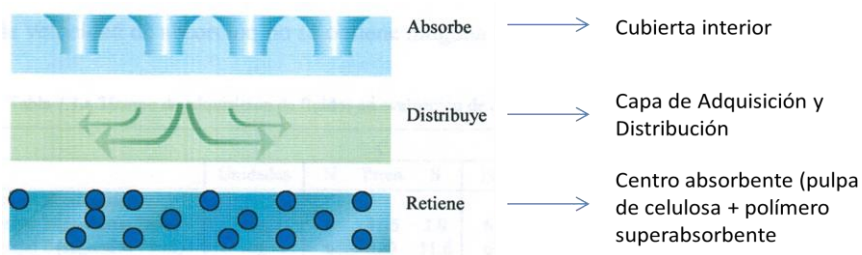
- 9) Elásticos piernas y cintura (fig. 5): estos son usados para mejorar el ajuste del pañal. Se encuentran usualmente hechos de espuma de poliuretano, goma sintética o Lycra® (también conocida con el nombre genérico Spandex). Ellos son usados en la zona de la cadera y de las piernas del pañal, aunque también pueden ser usados en los paneles o barreras laterales y en la construcción de las cintas adhesivas. La mayoría de las zonas con elásticos del pañal usan spandex para proporcionar un sellado con el cuerpo del bebé. El spandex puede estirar tanto como un 400% de su longitud original antes de romperse, sin embargo es típicamente usado a menos de 300% de su capacidad de estiramiento (2).
- 10) Telas no-tejidas hidrofóbicas / Barreras elásticas (fig. 5): son telas empleadas en la construcción de la cubierta superior de las barreras elásticas de las piernas. Este material previene que el líquido pase a través de él, con lo que previene derrames fuera del pañal. Se encuentra hecho de resina de polipropileno sin ningún añadido superficial de surfactantes; sin embargo aplicando un surfactante a un área restringida, es posible hacer un rollo de tela no-tejida hidrofóbica, parcialmente hidrofílica. Esto es conocido como el proceso Zebra y es una

importante característica diseñada para evitar derrames durante la construcción de los elásticos que van situado en la zona de las piernas (2).

- 11) Telas no-tejidas hidrofílicas / Cubierta superior o interior (fig. 5): se encuentran principalmente en la cubierta superior o interior, es decir, la superficie tope que está en contacto con la piel del bebé. Este material permite que el líquido fluya hacia el centro del pañal. La diferencia entre las dos telas no-tejidas (hidrofílica e hidrofóbica) es el tratamiento del surfactante usado en el proceso. Este tratamiento reduce la tensión superficial del no-tejido, reduce el ángulo de contacto con el líquido y permite que éste pase. La dinámica del flujo dentro del centro del pañal previene que el líquido retorne a la superficie. La mayoría de las telas no-tejidas usadas en pañales están hechas con el proceso de unión de hilado (mediante agujas), aunque también es posible usar telas no-tejidas unidas térmicamente (con selladores calientes, hornos y rollos calientes), las cuales son más suaves pero tienen menor resistencia y fuerza. Las telas no-tejidas unidas a través de aire (usando corrientes de aire caliente a través del material), también pueden ser usadas (2).
  
- 12) Lociones añadidas en la superficie de la cubierta superior: con el fin de crear novedades para la diferenciación de productos, varias lociones tópicas son añadidas a la cubierta superior de materiales no-tejidos, entre las cuales se encuentran: aloe vera, vitamina E, petrolato, aceite de almendras, vitamina D, extracto de avena, jojoba, etc. Hay otra tendencia de usar lociones antibacteriales (tales como amonio terciario o componentes de sales de plata); sin embargo, muchos pediatras están en contra de su uso (2).



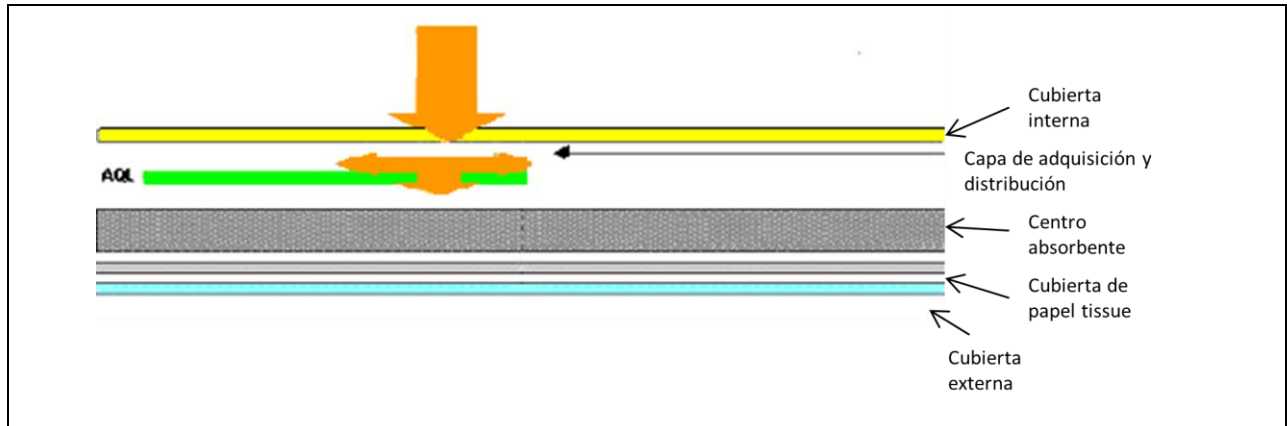
- <sup>13)</sup> Películas decorativas e indicadores de humedad: para una mejor diferenciación de productos, algunos pañales usan películas decoradas debajo de la cubierta posterior de material semejante a la tela. Otro truco que usan es un indicador de humedad, el cual es típicamente usado para productos de adultos, sin embargo algunos pañales de bebé también lo usan (2).



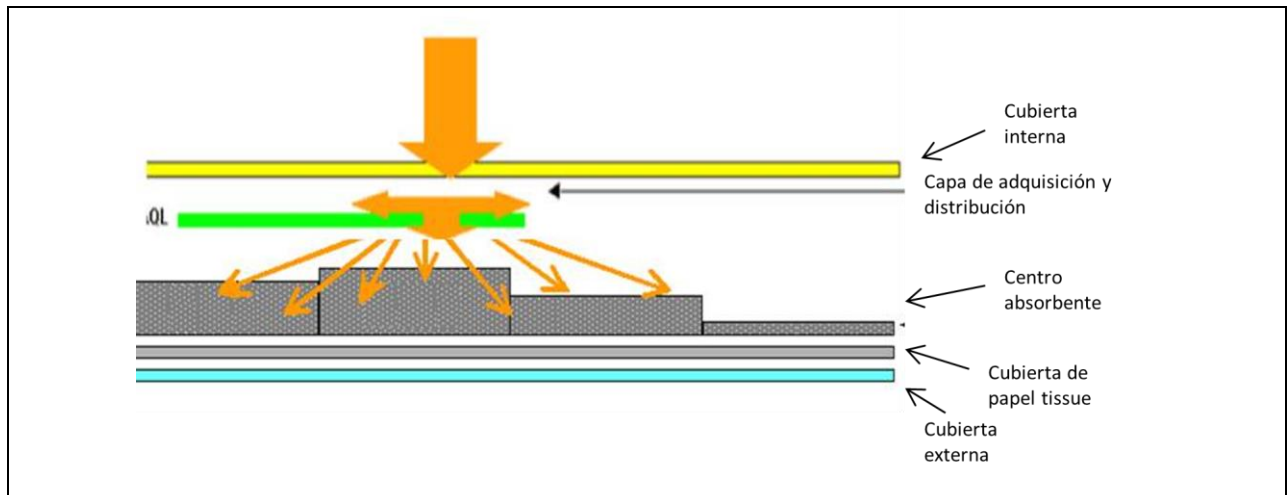
**Fig. 8. Absorción, distribución y retención de los líquidos en el pañal.**

### 1.5 Centros o núcleos absorbentes de pañales desechables

Los pañales desechables pueden venir con diferentes disposiciones del centro absorbente, es decir, el núcleo o centro absorbente puede estar dividido en dos perfiles, uno donde la repartición del polímero superabsorbente es uniforme a lo largo del mismo, conocido como centro plano (ver fig. 9), y otro donde la repartición del polímero superabsorbente es diferente a lo largo de los cuadrantes que dividen las zonas del pañal, conocido como centro perfilado (ver fig. 10).



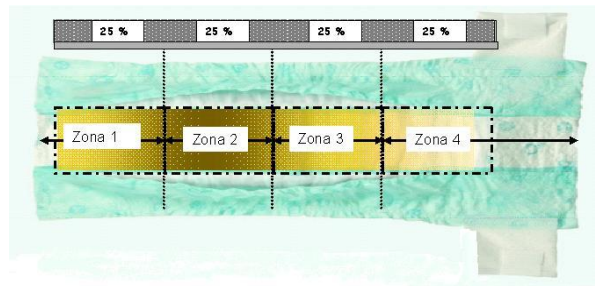
**Fig. 9. Distribución de PSA en centros planos.**



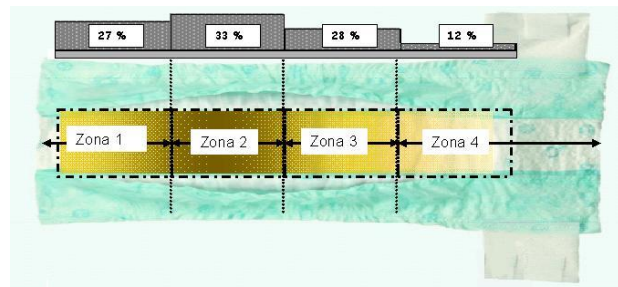
**Fig. 10. Distribución de PSA en centros perfilados.**

En las figuras mostradas más adelante (ver fig. 11 y 12) se puede observar la diferencia porcentual entre las distribuciones de las zonas de pañales con centros planos y centros perfilados. A diferencia de los pañales con centro plano, la tecnología del centro perfilado presenta una distribución no uniforme del polímero

superabsorbente a lo largo de todo el núcleo. Esta forma de distribución tiende a localizar la mayoría del polímero superabsorbente en las tres primeras zonas del pañal donde, por lo general, es más usado, ya que es aquí donde se encuentran los puntos de descarga de la orina.



**Fig. 11. Distribución porcentual en centros planos.**



**Fig. 12. Distribución porcentual en centros perfilados.**

Conociendo básicamente los componentes, los materiales y el proceso de manufactura de los pañales desechables, se puede decir entonces que el funcionamiento de un pañal desechable se debe primordialmente al centro absorbente, el cual está compuesto mayormente de celulosa y polímero superabsorbente. Estos son los dos componentes fundamentales del pañal que permiten un desempeño óptimo.

## **1.6 Composición de los núcleos o centros absorbentes de los pañales desechables**

Para conocer a fondo lo que son los componentes fundamentales de los núcleos o centros absorbentes es necesario definir primero lo que son los polímeros, los cuales son moléculas que están compuestas de secuencias repetitivas de unidades de monómero conectadas por enlaces covalentes. Cuando todas las unidades de monómero son idénticas, se forma un homopolímero. Los copolímeros constan de más de una clase de monómero, siendo posible una variedad de ordenaciones (7).

La palabra polímero se deriva del griego poli y meros, que significan mucho y partes respectivamente. Algunos científicos prefieren usar el término macromolécula, o molécula grande, en lugar de polímero (7).

Los polímeros se clasifican en dos grandes grupos: biopolímeros naturales y polímeros sintéticos orgánicos. En el primero se encuentran la celulosa, la seda, el cuero y las proteínas. La celulosa es el polímero natural más abundante, y esto ha provocado que ella y sus derivados hayan sido ampliamente investigados como material biodegradable. A pesar que la celulosa natural no puede ser procesada fácilmente, ésta puede convertirse en un material biodegradable mediante ciertas modificaciones químicas que alteran su estructura altamente ordenada. Las estructuras químicas de la celulosa, y otros derivados se pueden ver en la fig. 13. Las moléculas largas de celulosa forman puentes de hidrógeno entre los numerosos grupos  $-OH$  de los anillos, haciendo que este material posea una estructura química compleja (ver fig. 14) (8).

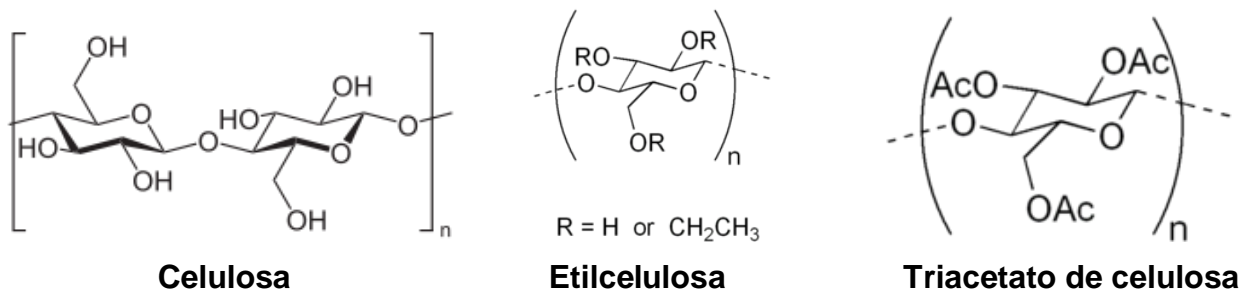


Fig. 13. Estructuras química de la celulosa y sus derivados. (8)

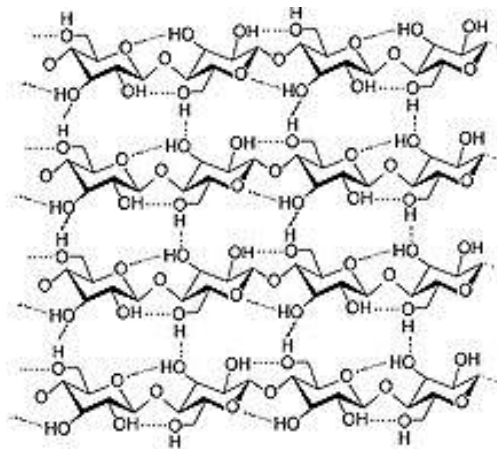


Fig. 14. Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa. (9)

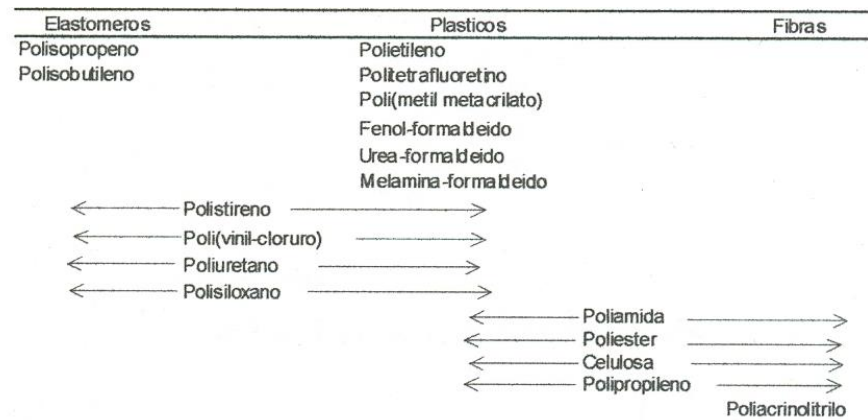
Los derivados de la celulosa que han sido sintetizados mediante el uso de métodos químicos clásicos se basan en las reacciones de los grupos hidroxilos de la molécula de celulosa, es por ello que desde este punto de vista la celulosa puede ser considerada como un compuesto monofuncional. Los tres tipos de grupos hidroxilo de la molécula de celulosa están sujetos a reacciones químicas tales como: esterificación, eterificación y procesos similares que dan origen a sus derivados, entre los cuales se pueden mencionar: éteres de celulosa y ésteres de celulosa: (8)

- a. Éter de celulosa: son compuestos de alto peso molecular donde los hidrógenos de los grupos hidroxilo de la celulosa han sido parcialmente reemplazados por un alquilo o un grupo alquilo sustituido para modificar la naturaleza de la celulosa. Dentro de este grupo los compuestos más importantes desde el punto de vista industrial son: metil-, etil-, hidroxietil-, carboximetil-, y benzilcelulosa (8).
  
- b. Éster de celulosa: este tipo de celulosa constituye el plástico más antiguo utilizado por el hombre. Los de tipo orgánico provienen de la reacción con ácidos orgánicos, anhídridos y ácido aclorhídrico. También se pueden producir de tipo inorgánico como el nitrato de celulosa. Los compuestos con mayor uso comercial en este renglón son: acetato de celulosa, triacetato de celulosa, acetato-butirato de celulosa y acetato propionato de celulosa (8).

Dentro del segundo grupo de polímeros, es decir, los sintéticos, se encuentran: el polietileno, el polipropileno, el nylon, etc. Por ejemplo, el polietileno es empleado en una gran variedad de aplicaciones gracias a su morfología semi-cristalina que puede ser controlada por las condiciones de procesamiento. Sus características físicas como su dureza y su claridad pueden ser reguladas alterando su peso molecular y los tipos y proporciones de co-monómeros. Por su lado, la producción de polipropileno ha aumentado significativamente en los últimos 45 años, producto de sus excelentes propiedades físicas, mecánicas, térmicas y su precio competitivo (8).

Ambos tipos de polímeros (naturales y sintéticos) pueden estar presentes en forma de plásticos, elastómeros y fibras. En la siguiente figura (ver fig. 15) se muestran los usos comunes de algunos polímeros. Como se puede observar algunos de ellos son

empleados en más de una categoría ya que algunas de sus propiedades mecánicas pueden ser alteradas mediante métodos físicos (8).



**Fig. 15. Diferentes usos de los polímeros. (8)**

Las principales características de los polímeros son consecuencia de la naturaleza y ordenación covalente de las unidades del monómero. Sin embargo, estos enlaces no justifican, en la mayoría de polímeros, todas las propiedades que puedan ser observadas. También deben tomarse en consideración fuerzas intermoleculares un poco más débiles entre las cadenas poliméricas. Se cree que las más importantes de estas interacciones “débiles” son el enlace de hidrógeno, las interacciones electrostáticas y las fuerzas de Van der Waals (7).

De estos polímeros, se usa uno de cada grupo en la producción o fabricación de pañales desechables. Del primer grupo, de polímeros naturales, se emplea la celulosa, y del segundo grupo, de polímeros sintéticos orgánicos, se usa un polímero superabsorbente.

La celulosa empleada es pulpa de celulosa, es decir pulpa de papel desfibrado, la cual le brinda integridad al pañal y forma parte de su sistema de absorción, debido a que los líquidos son retenidos por el fenómeno de capilaridad generado por el espacio intersticial entre las fibras. Este material tiene la propiedad de absorber alrededor de cuatro veces su peso en fluido (5).

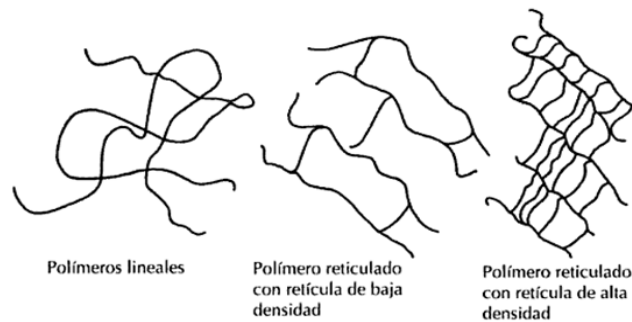
Existen varios tipos de celulosa con diferentes características, por ejemplo, tanto la celulosa como el nitrato de celulosa son polímeros lineales, o bidimensionales, pero el primero no puede reblandecerse a causa de los numerosos puentes de hidrógeno que hay entre las cadenas moleculares (ver fig. 14) (7).

Por otro lado, los polímeros superabsorbentes que se usan, son definidos como polielectrolitos reticulados de alta masa molecular, que pueden absorber más de 10 veces su masa de agua o solución acuosa. Para absorber esta gran cantidad de fluido acuoso, los polímeros deben ser ligeramente reticulados para que así la cadena polimérica pueda adoptar configuraciones ampliamente espaciadas, permanecer en gran parte insolubles, y al mismo tiempo ser ampliamente expandidos. Las cadenas poliméricas deben tener una gran masa molecular para que el pequeño número de enlaces cruzados conecten juntos todas las cadenas. Los polielectrolitos reticulados definen absorben más líquido acuoso que los polímeros neutros como resultado del osmótico añadido (10).

Como cualquier molécula de alto peso molecular, los polielectrolitos reticulados pueden funcionar como polímeros superabsorbentes. Los polímeros superabsorbentes comercialmente disponibles son sales de metales alcalinos de poli(ácido acrílico) reticulados con agentes reticulantes multifuncionales. Los agentes reticulantes están



formados comúnmente a partir de co-monómeros que son incorporados al polímero durante la polimerización por adición de iniciación de radicales libres, entre otros. Las cadenas poliméricas pueden ser reticuladas después que las cadenas principales poliméricas han sido formadas. En este caso el agente reticulante es multifuncional con grupos que pueden reaccionar con el ácido carboxílico o grupos carboxilatos presentes a lo largo de las cadenas poliméricas. A continuación se muestra la diferencia entre polímeros lineales, y reticulados de alta y baja densidad (ver fig. 16) (10).



**Fig. 16. Estructuras de polímeros.**

Los átomos de las moléculas individuales de polímeros se hallan unidos entre sí mediante enlaces covalentes relativamente fuertes. Las energías de enlace de los enlaces carbono-carbono son del orden de 80 a 90Kcal/mol. Además, las moléculas de polímeros, como todas las otras moléculas, se atraen entre sí (y en polímeros de cadena larga incluso entre segmentos de la misma cadena) mediante fuerzas secundarias intermoleculares (7).

Estas fuerzas intermoleculares son también responsables del incremento del punto de ebullición en series homólogas como los alcanos; de los puntos de ebullición superiores a lo previsto en las moléculas orgánicas polares como los cloruros de

alquilo; y de los puntos de ebullición anormalmente altos de los alcoholes, aminas y amidas. Las fuerzas responsables de estos aumentos del punto de ebullición se denominan fuerzas de Van de Waals, y las mismas se hallan sub-clasificadas según su origen e intensidad. Las fuerzas intermoleculares secundarias comprenden las fuerzas de dispersión de London, fuerzas inducidas permanentes, y fuerzas dipolares entre las que se incluye el enlace de hidrógeno (7).

Las moléculas altamente polares, como el etanol o el alcohol polivinílico y la celulosa se atraen entre sí mediante un tipo especial de interacción dipolo-dipolo denominada enlace de hidrógeno, en el cual los átomos de oxígeno o nitrógeno de una molécula son atraídos hacia los átomos de hidrógeno de otras moléculas. Estas son las fuerzas intermoleculares más potentes y alcanzan energías de hasta 10kcal/mol por unidad de repetición. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares pueden encontrarse habitualmente en fibras como el algodón, la lana, la seda, el nilón, los poli-acrílicos, los poliésteres y los poliuretanos. Los enlaces de hidrógeno intramoleculares son responsables de las configuraciones en hélice, que se observan en el almidón y las proteínas (7).

La capacidad de absorber líquidos de estos polímeros superabsorbentes viene dada por un proceso de osmosis. La propiedad única del polímero del pañal es que la superficie es semipermeable y dentro de la misma los iones están presentes. La alta concentración de iones causa que las moléculas de agua crucen la membrana en el proceso de osmosis. El agua entonces permanece fija dentro del polímero (11).

Los superabsorbentes pueden absorber una gran cantidad de líquido en un corto tiempo. El líquido absorbido puede ser retenido aún bajo presión. Por lo tanto, los

superabsorbentes tienen grandes ventajas sobre materiales tradicionales absorbentes de líquidos, tal como algodón, pulpa, esponjas, etc. Los superabsorbentes son usados ampliamente en productos sanitarios tal como pañales desechables, toallas sanitarias y servilletas higiénicas. Ellos son también encontrados valiosos en nieve artificial, agricultura, horticultura, aditivos de fluidos de perforación, concreto de polímero adecuado para su uso en la reparación de grietas, recubrimiento de prevención de goteo, extinción de incendios, compuesto de sellado de cable de larga distancia, y la administración de fármacos (12).

### 1.7 Poliacrilato de sodio, beneficios

Conociendo las características más importantes de los polímeros superabsorbentes, es necesario enfocar especial atención en el polímero empleado en los pañales desechables, conocido como poliacrilato de sodio, el cual se deriva del ácido poliacrílico (ver fig. 17) mostrado a continuación (ver fig. 18 y fig.19).

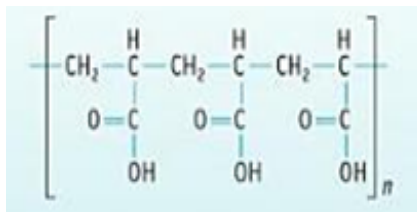


Fig. 17. Ácido poliacrílico. (13)

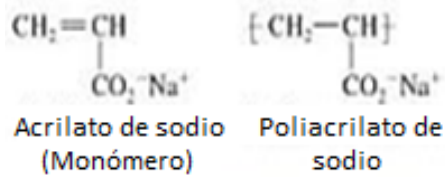


Fig. 18. Estructura del monómero y polímero del PSA. (11)

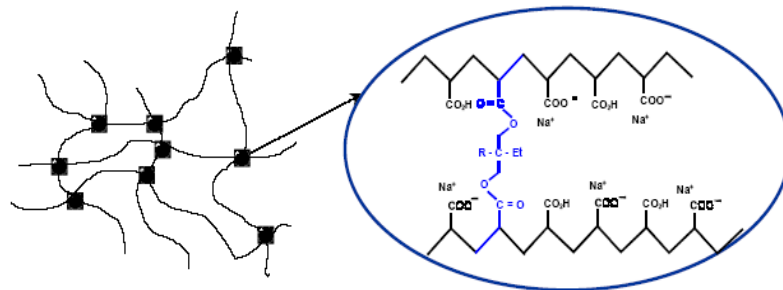


Fig. 19. Molécula del PSA (poliacrilato de sodio).

Los polímeros superabsorbentes comenzaron a jugar un papel muy importante en cuanto a aplicaciones a partir de 1978, cuando se comenzó a utilizar en Japón, como absorbentes de fluidos corporales y en productos para la higiene personal, primero en compresas para mujeres y, más tarde, en pañales para bebés y personas adultas afectadas de problemas de incontinencia urinaria. Su empleo se introdujo posteriormente en Europa (Alemania y Francia fueron los primeros países en utilizar este tipo de material) en la década de los ochenta y desde entonces, el consumo de los polímeros superabsorbentes ha ido creciendo de forma continua (14).

Los beneficios obtenidos del uso de poliacrilato de sodio en pañales son numerosos, entre los principales están los siguientes (5).

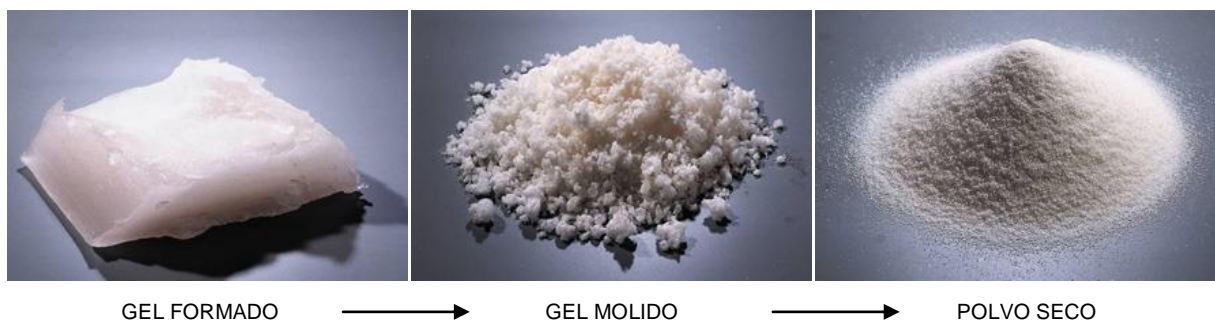
- Ayuda a mantener la piel seca. Esto lo logra llevándose el líquido lejos de la piel, absorbiéndolo y reteniéndolo en el núcleo del producto, con lo que crea mejor comodidad para el usuario.
  
- Ayuda a proteger contra irritación de la piel en usuarios de pañales reduciendo la humedad de la piel. Si la piel se vuelve muy húmeda es más vulnerable a irritación debido al balance natural de la piel, el cual ayuda a proteger contra bacterias dañinas, y puede verse comprometido especialmente en presencia de heces y enzimas asociadas.
  
- Ayuda a prevenir la propagación de infecciones. La contención de fluido en el superabsorbente del núcleo reduce los derrames. Esto también reduce el riesgo de mezcla de orina con material fecal y contaminarla con microorganismos que pueden causar propagación de enfermedades tales como diarrea y gastroenteritis.
  
- Ofrece calidad de vida mejorada y dignidad personal. Mucha gente sufre de una falta de control de vejiga o intestino como resultado de una enfermedad, discapacidad o simplemente la edad. Los productos desechables con superabsorbentes ayudan a muchos de estos individuos a mantener una calidad de vida con mayor movilidad e independencia.

Dentro de sus beneficios el aspecto de seguridad también es un punto de importante atención, por lo que es fundamental conocer que los superabsorbentes son seguros

para usar en productos absorbentes higiénicos. Ellos han sido extensamente probados e investigados, por científicos y doctores por igual, los cuales han confirmado que el material superabsorbente es seguro.

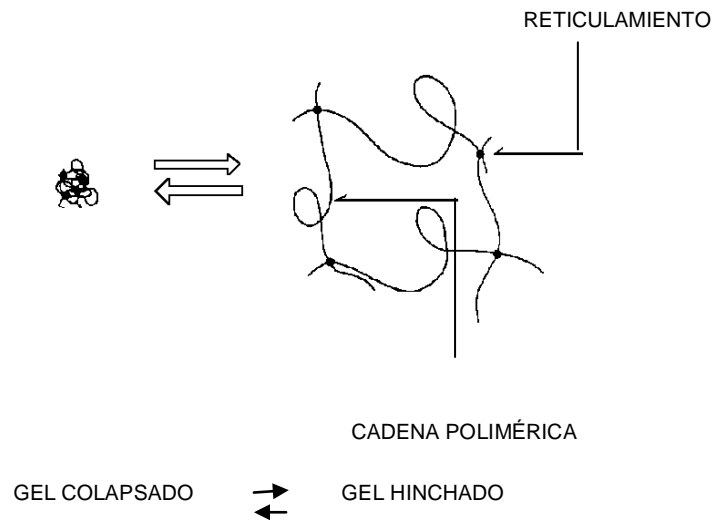
El poliacrilato de sodio es entonces como se puede ver un elemento primordial en el buen desempeño de los pañales desechables, su proceso de fabricación parte de los ingredientes principales siguientes: ácido acrílico, hidróxido de sodio (o un agente neutralizante similar) y agua, además de un agente reticulante que forma el puente que conecta una cadena polimérica con otra. Esta solución es mezclada y luego es sometida a un proceso de polimerización para formar las redes tridimensionales de cadenas poliméricas. Esto hace que tome la forma de un gel acuoso, el cual seguidamente es cortado, triturado y secado. El granulado se muele y se tamiza al tamaño de partícula deseado. En este punto el material superabsorbente puede ser adicionalmente reticulado para dar al mismo las características específicas de absorción. El granulado superabsorbente secado está listo entonces para ser empacado en bolsas.

El aspecto del polímero durante sus fases se puede apreciar en la figura (ver fig. 20) mostrada a continuación: (5)



**Fig. 20. Fases de formación del polvo del PSA. (5)**

Uno de los inconvenientes a la hora del uso del poliacrilato, es el efecto que se genera por su capacidad de absorción y el consiguiente incremento de su tamaño (ver fig. 21), el cual es un taponamiento de los capilares o espacio vacíos, generando un aumento de resistencia al flujo del líquido, fenómeno conocido como “bloqueo por gel” el cual se mencionó anteriormente.



**Fig. 21. Diferencia estructural entre el polímero colapsado y el polímero hinchado. (14)**

## 1.8 Caracterización de materiales

La caracterización de materiales se refiere a la identificación de un material a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. Existen para ello distintas técnicas de caracterización, de acuerdo al interés que se tenga en dicho material. Las investigaciones que se realizan para poder caracterizar los polímeros son muy importantes, pues además de conocer las propiedades del material, permite mejorar los procesos de obtención con el objetivo poder disponer de mejores o nuevos materiales y productos.

La caracterización de macromoléculas comprende métodos y técnicas de evaluación de parámetros que comprenden: composición química forma y tamaño; pesos moleculares y distribuciones; orden en estado sólido; comportamiento térmico; entre otros. En el caso de este proyecto se trabajó en la caracterización del centro absorbente de pañales desechables a través del enfoque en la composición y el desempeño del mismo, y del mismo modo se trabajó en la caracterización del compuesto más importante del centro absorbente empleando como técnica el análisis de espectroscopia de IR. El desarrollo de las técnicas de caracterización llevadas a cabo en este proyecto se encuentra más adelante en el capítulo de metodología experimental (cap. IV).

### **1.9 Generalidades de las técnicas de análisis y otros aspectos importantes de la caracterización**

Gracias a la elevada importancia comercial que han adquirido los materiales poliméricos en la vida diaria, su caracterización se ha convertido en una actividad de suma importancia a nivel industrial. Cuando se sintetiza un compuesto por primera vez es necesario determinar su composición, peso molecular y sus propiedades físicas (4). La caracterización de un material en general puede comenzar con análisis preliminares los cuales proporcionan información que permite establecer conclusiones importantes sobre la naturaleza de la muestra desconocida. Si se desea conocer información detallada sobre el material se debe recurrir a técnicas específicas, entre las cuales se destacan: la resonancia magnética nuclear, la espectroscopia infrarroja, de masa y de Raman, la pirólisis, la espectroscopia UV y de luminiscencia, los métodos microscópicos, la difracción de rayos X y la calorimetría diferencial de barrido, entre otras (8).



Existen numerosas pruebas técnicas de laboratorios aplicadas a pañales, con el fin de caracterizar los materiales y verificar ciertas propiedades en el desempeño de los mismos dentro del pañal. Es de elevada importancia que estas pruebas tengan un alto grado de exactitud al ser repetidas en cualquier lugar y en cualquier momento, debido a que en función de los resultados obtenidos es posible proveer soporte técnico y validez a los beneficios que un producto dice ofrecer en las campañas de mercadeo. Además de esto también se obtiene a partir de estos análisis una gran parte de los datos requeridos por las entidades regulatorias de protección al consumidor y al ambiente, los cuales permiten el ingreso de un producto a su mercado, garantizando que los mismos no representen un riesgo para la salud de los consumidores o para el ambiente (5).

En este proyecto se logró obtener la caracterización de los centros absorbentes de los pañales desechables, empleando algunas de las técnicas de análisis previamente mencionadas. Durante el desarrollo de estas técnicas de análisis en los centros absorbentes de pañales desechables, específicamente en los aspectos que se refieren al desempeño del producto y del material, fue importante el empleo de un fluido con características muy similares a la orina natural del bebé, ya que era necesario realizar estas pruebas lo más parecido a la realidad del uso de los pañales por bebés. Es por esto que fue obligatorio tomar en cuenta el efecto de la temperatura del fluido en el desempeño del pañal, ya que aunque el efecto es pequeño al mismo tiempo es significativo sobre el desempeño del polímero superabsorbente, debido a que afecta la capacidad y la velocidad de absorber bajo presión. Durante la comparación entre pañales para un mismo estudio, se tuvo que garantizar el desempeño de todas las pruebas a la misma temperatura. La temperatura típicamente usada de solución salina u orina sintética en los análisis del laboratorio fue en promedio de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . También se aseguró que los pañales estuviesen condicionados a esta temperatura por al menos un par de horas antes de realizar cualquier prueba. Las variaciones en la humedad relativa del ambiente en el cual se ejecutan los análisis también tienen un pequeño

efecto en el desempeño del pañal, es por esto que se garantizó un ambiente con humedad relativa controlada alrededor de  $50\% \pm 5\%$ .

Igualmente debido a la variación en la capacidad y velocidad de absorción es que tampoco se puede realizar la preparación del fluido empleando agua regular de grifo, ya que la misma tiene un contenido variable de minerales, especialmente calcio y magnesio, los cuales tienen un efecto en el desempeño del polímero superabsorbente del núcleo del pañal, por lo que es mucho mejor usar agua 100% destilada en la preparación de la solución salina. Las variaciones de pH en agua de grifo también tienen un efecto adverso en el desempeño del pañal. Para la preparación de la orina sintética se recomienda usar cloruro de sodio 99.9% químicamente puro, disponible en la mayoría de las tiendas de químicos, con el fin de reducir variaciones asociadas con el uso de sales de yoduro (2).

### **1.10 Justificación del proyecto**

En la actualidad existen muchos diseños y composiciones de pañales desechables, que buscan de manera general, lograr un mejor desempeño en su papel, de manera de liderar las ventas de su producto de manera masiva, situándose como una marca preferida para el consumidor. Por esto, se buscó con este estudio comprender más de cerca los factores que influyen directamente y que forman parte de las estructuras de los núcleos o centros absorbentes de los diversos pañales disponibles en el mercado.

Con los resultados del estudio se logró satisfacer la necesidad de establecer diferencias significativas entre diferentes muestras de pañales en torno a la capacidad

y velocidad de absorción, así como a la composición y el diseño de su centros absorbentes; necesidad que viene dada por los resultados obtenidos de recientes modelos de consumidor que revelaron la importancia que tiene la distribución del líquido en el pañal a través del centro absorbente y su impacto en el abultamiento del mismo. A través de estos estudios se logró observar que los consumidores percibían un abultamiento durante el uso de los pañales, notando también una caída del mismo a medida que va recibiendo descargas de orina, lo que se traduce en un impacto negativo en la percepción de la duración del pañal, generándose así una hipótesis con la que se busca relacionar este comportamiento con los factores del diseño y desempeño del pañal.

Hasta los momentos no se habían realizado evaluaciones tan exhaustivas acerca de la caracterización de centros absorbentes de pañales desechables, por lo que se emplearon diversas técnicas conocidas de caracterización de materiales para lograr cumplir el objetivo perseguido con este estudio.

## II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

En cuanto a los antecedentes de investigaciones previas sobre polímeros súperabsorbentes se tiene que en lo que respecta a este componente fundamental de los pañales desechables se han establecido numerosas investigaciones, que para este proyecto forman parte de los antecedentes. La mayoría de los estudios realizados sobre el poliacrilato de sodio como polímero superabsorbente y componente principal responsable de la capacidad de absorción de líquidos de los pañales desechables, son acerca de su preparación y los compuestos, condiciones y diferentes agentes reticulantes empleados.

En una investigación publicada en 1996 por Liu Z. S. y Rempel G. L. (15), se tiene que el poliacrilato sintético derivado del ácido acrílico ha emergido como un absorbente importante, debido a que el ácido acrílico, siendo la materia prima, es económico y fácil de polimerizar a productos de alto peso molecular. En esta publicación estudiaron además de la preparación, los efectos del cloruro de sodio en el comportamiento del absorbente, ya que para muchas aplicaciones es más importante conocer este comportamiento en solución fisiológica, usualmente simulada por cloruro de sodio acuoso al 1%. La capacidad de absorción disminuye con el incremento de NaCl en el agua destilada. Una posible explicación de este comportamiento puede estar asociada con la formación de aniones carboxílicos en las redes del copolímero, un hecho que lleva al desarrollo de fuerzas electrostáticas fuertes contribuyendo a la expansión de la red. Debido a la atracción de fuerzas electrostáticas fuertes, la concentración de iones, ejemplo  $\text{Na}^+$ , es mayor dentro del copolímero que fuera del mismo, resultando en una presión osmótica. Las propiedades de absorción de agua se cree que resultan de la presión osmótica y la interacción a través de los enlaces de hidrógeno de los grupos carboxílicos del copolímero con moléculas de agua. Cuando el agua destilada o el

agua desionizada son usadas como agentes de hinchamiento, la capacidad de absorción es mayor. Cuando una cierta cantidad de NaCl en agua destilada es usada como agente de hinchamiento, la presión osmótica fuera del copolímero decrece drásticamente. Entonces, la capacidad de absorción es menor. Este fenómeno puede también ser explicado por el efecto de las fuerzas iónicas en el absorbente. En agua pura, el polímero que contiene grupos cargados a lo largo de su columna vertebral va a tender a expandir sus dimensiones de manera de minimizar la repulsión entre ellos. Si un simple electrolito, tan común como sal (NaCl), es disuelto en agua, los iones de carga opuesta a aquellos cargados por el polímero pueden neutralizar su carga. Por lo tanto, mientras la fuerza iónica es incrementada, el polímero regresa a su forma enroscada. Este efecto es conocido como el efecto polielectrolito (15).

Cristi Bell y Nikolaos Peppas (16) en 1996 encuentran que una de las principales propiedades de interés en la caracterización de poli(acido acrílico) en términos de su uso como material absorbente es su capacidad de absorción tanto en equilibrio como bajo condiciones dinámicas. En este se muestra que ciertos parámetros son usados para describir la capacidad de absorción de un polímero absorbente. Por ejemplo la relación del peso del polímero hinchado con el polímero seco (g de polímero hinchados/ g de polímero seco) es llamada la relación de dilatación,  $Q$ ; mientras que la relación entre el volumen del polímero hinchado y el volumen del polímero seco, es denominada el grado de volumen de dilatación,  $q$ . En este estudio se verificó que a medida que se disminuye la densidad de entrecruzamientos se aumenta el hinchamiento, así como altas velocidades de absorción al principio del proceso. Del mismo modo se analizó el comportamiento de las muestras bajo un peso de aproximadamente 100g. En este caso las muestras con menor densidad de entrecruzamiento exhibían mayor hinchamiento bajo el peso que aquellos con mayor entrecruzamiento (16).

En el año 2002, Sohn Ohgun y Kim Dukjoon (17) prepararon las partículas de poliacrilato de sodio mediante la técnica de polimerización de suspensión inversa. Se usó ácido acrílico el cual fue mezclado con agua destilada, y luego de la mezcla fue neutralizado con una solución acuosa de hidróxido de sodio hasta que el pH de gel polimérico neutralizado fuese 5.7. Después de la neutralización la *N,N*-metileno bisacrilamida y el persulfato de potasio como el agente reticulante y el iniciador, respectivamente fueron añadidos y completamente disueltos para producir una solución acuosa homogénea. Se empleó un surfactante compuesto de SPAN 60 y etilcelulosa, el cual fue disuelto en ciclohexano a 60°C bajo agitación mecánica. La solución acuosa preparada fue vertida en una solución de ciclohexano. Una reacción de polimerización por radicales libres fue conducida a 60°C por 2 horas con agitación mecánica bajo atmósfera de gas nitrógeno. Las partículas de poliacrilato de sodio precipitadas fueron lavadas varias veces con metanol. Los productos fueron filtrados y luego secados en un horno de vacío a 60°C por al menos 2 días (17).

La caracterización se realizó analizando la distribución de tamaño de las partículas preparadas de poliacrilato de sodio mediante pruebas estándar de tamizados y con microscopía óptica. La espectrometría de emisión atómica acoplada con plasma inductivamente (Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; ARL Fisons 35 ICP-AES; Thermo Jarrell Ash) fue usado para analizar el ion sodio contenido en los polímeros sintetizados. La estabilidad térmica fue analizada con un analizador termogravimétrico (PerkinElmer, TGA7, Wellesley, MA) para estimar la cantidad de absorción de la humedad ambiental en los polímeros preparados, dos tipos de muestras de polímeros hidrofílicos fueron preparadas: muestras almacenadas en la atmósfera y aquellas almacenadas en un desecador (17).

Ellos condujeron experimentos de hinchamiento dinámico para investigar la cinética de hinchamiento de los polímeros superabsorbentes preparados en agua salina con diferentes concentraciones de NaCl de 0.09, 0.4, 0.9 y 1.5 wt %. El agua consumida en el poliacrilato de sodio fue medido con bolsas de té. Las partículas del superabsorbente fueron puestas en bolsas. Cada bolsa de té incluyendo las partículas del polímero, fueron puestas en 100mL de solución salina con agitación media. El peso de la bolsa cargada con el polímero fue periódicamente medido hasta que ningún cambio en el peso fuese observado. La proporción de agua consumida (Q) fue determinada como la cantidad de absorción de agua dividida por el peso inicial del polímero, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{W_t - W_o}{W_o} \quad (\text{ec. 3.1}) (17)$$

donde  $W_t$  y  $W_o$  son los pesos de la muestra del polímero a un tiempo  $t$  y al tiempo inicial, respectivamente (17).

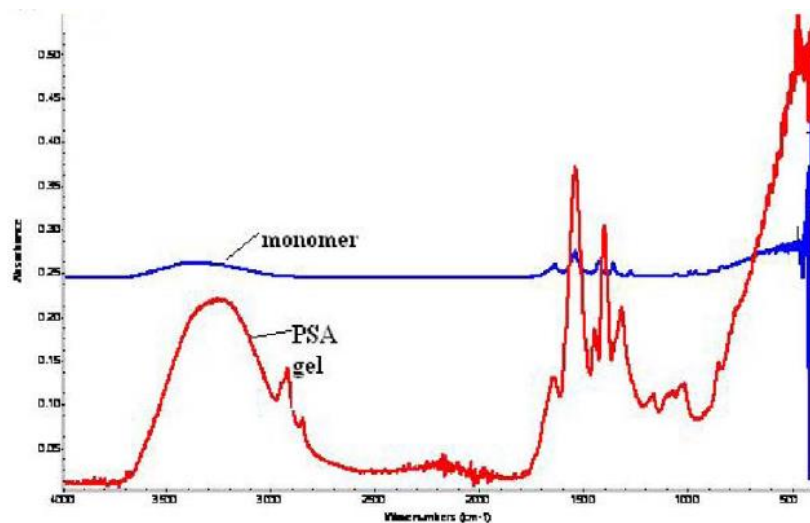
Entre los resultados más importantes observaron la dependencia del comportamiento de hinchamiento dinámico del poliacrilato de sodio. La tasa de absorción de agua incrementó con la disminución del tamaño de partícula. La disminución en el tamaño de partícula lleva a incrementos en el área superficial por unidad de masa de polímero, resultando en una absorción más rápida en las superficies de la partícula. La tasa de desorción de agua incremento ligeramente con la disminución del tamaño de partícula por la misma razón (17).

En investigaciones más recientes, para el año 2011 Giri, Natarajan, Gunasekaran y Shreemathi (18) trabajaron de cerca con el comportamiento de la mezcla de nanopartículas de plata con poliacrilato de sodio, mediante la caracterización por espectroscopias IR (en el rango de  $400\text{cm}^{-1}$ - $4000\text{cm}^{-1}$ ), UV visible y RMN  $^{13}\text{C}$ . El pico característico del acrilato es identificado en la región de  $1160\text{cm}^{-1}$  en ambos compuestos, tanto en el poliacrilato de sodio como en el compuesto con las nanopartículas de plata, sin embargo en el espectro de este compuesto se encuentran algunos picos que están ausentes en el espectro del poliacrilato puro. En el espectro de UV-Vis la absorbancia del pico característico cambia hacia un lado de menor longitud de onda y la intensidad de este pico decrece al ser comparada con la del poliacrilato de sodio puro. En los espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  se encontraron señales a 177.835, 177.654, 177.409 y 177.167ppm originadas por los átomos de carbonos del grupo carbonilo en los ácidos carboxílicos, las cuales fueron encontradas en los espectros tanto del poliacrilato de sodio puro como en el del compuesto con las nanopartículas de plata. Sin embargo en el nano compuesto además de las señales regulares existen dos señales adicionales registradas a 44.408ppm y a 42.383ppm las cuales pueden ser debidas a los iones de plata de construcción en la cadena polimérica con el átomo de carbono (18).

Finalmente, en el año 2012 Anbudayanidhi, Nayak y Mohanty (19) trabajaron con la modificación de la estructura del poliacrilato de sodio, verificando cambios en torno a las propiedades intrínsecas de la molécula, usando compuestos que funcionen como entrecruzantes, y caracterizando las estructuras moleculares a través de Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR, según sus siglas en inglés), así como el estado del agua dentro de los hidrogeles (agua libre donde las moléculas funden a una T cerca de  $0^{\circ}\text{C}$ , agua enlazada donde las moléculas funden a una T menor de  $0^{\circ}\text{C}$  ) mediante el uso de Calorimetría diferencial de barrido (DSC según sus siglas en inglés), basados en que el análisis térmico y estructural de las



propiedades de los hidrogeles proveen una visión de su comportamiento macroscópico y aplicaciones finales (19). Conociendo que muchas propiedades de un hidrogel son afectadas por el número de entrecruzamientos presentes entre las cadenas poliméricas, y en base a la documentación existente donde se comprueba que aumentando la densidad de entrecruzamientos se causa una disminución en el contenido de agua que absorbe el polímero superabsorbente, se realizan análisis de esta naturaleza. Del análisis IR obtuvieron la comparación entre el monómero del acrilato de sodio y poliacrilato de sodio, donde se observó que cuando el monómero es polimerizado al poliacrilato de sodio, la intensidad del pico de absorción a  $1645\text{cm}^{-1}$  se reduce sugiriendo una conversión del enlace  $\text{C}=\text{C}$  a un enlace  $\text{C}-\text{C}$  (ver fig. 22).



**Fig. 22. Espectros FTIR de la solución de monómero y del gel de poliacrilato de sodio. (19)**

De igual modo mediante esta investigación se logró comprobar que la velocidad de hinchamiento y el contenido final de agua disminuye a medida que aumenta la concentración de agentes reticulantes o entrecruzantes en la estructura, ya que mientras la concentración de entrecruzamientos incrementa, el número de puntos de

entrecruzamientos covalentes dentro del hidrogel también aumenta. Estos puntos pueden prevenir la difusión de las moléculas de agua en el hidrogel y por lo tanto disminuir tanto la velocidad de hinchamiento como el contenido de agua final. El hecho de incrementar la cantidad de entrecruzamientos en la molécula causa que la estructura del hidrogel sea más rígida, lo que reduce a su vez la movilidad de las moléculas de agua, disminuyendo la cantidad final de agua absorbida (19).

Estos son entonces algunos de los estudios y publicaciones que se encuentran disponibles sobre este tipo de compuestos, como lo son los polímeros superabsorbentes.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

- Caracterizar los núcleos o centros absorbentes de pañales desechables.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades absorbentes de los materiales de los núcleos o centros absorbentes de diversas marcas de pañales desechables.
- Determinar la relación celulosa - polímero superabsorbente en el núcleo de diversas marcas de pañales desechables.
- Determinar el perfil de distribución del polímero superabsorbente en el núcleo o centro absorbente de diversas marcas de pañales desechables.
- Determinar las posibles diferencias estructurales de los polímeros superabsorbentes usados que puedan asociarse con diferencias en su comportamiento de hinchamiento.

#### **IV. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Este proyecto se fundamentó en la caracterización de los centros absorbentes de los pañales desechables, empleando diversas técnicas y procesos estandarizados. Para ello el análisis se enfocó en 3 secciones:

- a. Diseño del pañal.
- b. Desempeño del centro absorbente.
- c. Características químicas del polímero superabsorbente.

A lo largo del proyecto se analizaron 7 productos diferentes, todos pertenecientes a la talla 4 (grande o G) debido a que esta es la talla que usan los bebés por más tiempo durante su crecimiento. Esta talla está diseñada para bebés con peso entre 9 y 15 kg aproximadamente. Los productos analizados se clasificaron de la siguiente manera: 3 productos para una marca A, 2 productos para una marca B y 2 productos para una marca C. Estos productos representan las marcas con mayor distribución en el mercado latinoamericano, provenientes de Argentina, Brasil y Venezuela. Entre todos los productos se cubren las 3 categorías de consumidores a las que van dirigidos: la categoría alta, media y baja, denominadas 1, 2 y 3 respectivamente; por lo que la denominación de cada producto a lo largo de este proyecto viene dada por la letra que corresponde a la marca del producto seguida del número de la categoría a la que pertenece, por ejemplo, el producto A1 es el producto de la categoría alta de la marca A.

## **4.1 Equipos empleados**

### **4.1.1. Balanza analítica**

Se empleó una balanza analítica con apreciación de 0,1mg, para todas las medidas de peso.

### **4.1.2. Estufa**

Se empleó una estufa con capacidad de mantener una temperatura constante de 105°C, para secar el polímero superabsorbente antes de sus análisis.

### **4.1.3. Titulador Automático**

Se empleó un titulador automático marca Mettler Modelo DL70 ES, con electrodo de pH marca Mettler modelo DG111-SC, con solución de llenado Mettler 3M de Cloruro de potasio (KCl) o Cloruro de plata (AgCl) saturada, para realizar las titulaciones en la determinación de la cantidad de polímero superabsorbente.

### **4.1.4. Espectrofotómetro FTIR**

Se empleó un espectrofotómetro de marca comercial Thermo Nicolet modelo Nexus 470 ESP, preparando unas pastillas de ioduro de cesio anhidro (CsI).

## 4.2 Diseño del pañal

Mediante esta primera sección se buscó determinar diferencias en términos de construcción y diseño de los centros absorbentes de los pañales desechables. De esta manera se pudo comparar entre los diferentes tamaños, porcentajes de los materiales, distribución de los mismos, etc.

### 4.2.1. Dimensiones del pañal

Este método permitió determinar las medidas principales del pañal, como por ejemplo, largo y ancho del mismo, longitud del centro absorbente, tamaño de la capa de adquisición-distribución, etc.

#### 4.2.1.1. Procedimiento:

Se estiró completamente el pañal sobre una base plana, ajustando las 4 esquinas del pañal a la misma y fijándolas con pinzas sujetadoras, asegurando un estiramiento total del pañal quedando el mismo con la cubierta superior hacia arriba. En esta posición se tomaron las medidas requeridas del pañal, de la capa de absorción-distribución y del centro absorbente. Es importante mencionar que el lado del pañal desde donde se tomaron las medidas fue el lado en el que no se encuentran las orejas y los teipes de ajuste, es decir la parte que queda frontal al ser colocado el pañal en el bebé. Las medidas tomadas fueron las siguientes

- Dimensiones del pañal
  - Largo del pañal.
  - Ancho del pañal (lado frontal, lado posterior y entrepierna).

- Dimensiones de la capa de adquisición-distribución
  - Largo de la capa de adquisición-distribución.
  - Ancho de la capa de adquisición-distribución (lado frontal, lado posterior y entrepierna)
  - Distancia entre el borde del centro absorbente y la capa de adquisición-distribución (parte frontal).
  
- Dimensiones del centro absorbente
  - Largo del centro absorbente.
  - Ancho del centro absorbente (lado frontal, lado posterior y entrepierna)
  - Distancia entre el borde del pañal y el borde del centro absorbente (parte frontal).
  - Distancia entre el borde del pañal y el borde del centro absorbente (parte posterior).

#### **4.2.2. Peso de un pañal / Peso promedio de un conjunto de pañales**

Mediante este método se determinó el peso que posee un pañal y/o el peso promedio de un conjunto de pañales. El empleo de pañales dentro del peso promedio fue requisito en todos los análisis realizados, ya que se tuvo un criterio de selección de muestra controlado para evitar ventajas entre los productos que se puedan atribuir a las diferencias en peso por fabricación.

##### 4.2.2.1. Procedimiento

Se pesan todos los pañales pertenecientes a un mismo lote empleando una balanza analítica ( $\pm 0,1$  mg). A partir del promedio del peso obtenido se seleccionan los pañales que tengan el peso promedio con una desviación estándar de 1 g. Este procedimiento

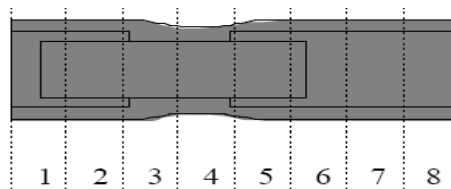
se realizó al inicio del análisis experimental con todas las marcas analizadas para escoger los pañales que cumplieran con el criterio de selección.

#### **4.2.3. Peso de las zonas del pañal**

Mediante esta técnica se conoció la distribución del peso de cada una de las ocho zonas en las que se analizó el centro absorbente del pañal.

##### **4.2.3.1. Procedimiento**

Se estiró completamente el pañal con la cubierta superior hacia arriba sobre una base plana, ajustando cada una de las 4 esquinas del pañal a la misma y fijándolas con pinzas sujetadoras de manera que quedara totalmente estirado. Se dividió la longitud del centro absorbente del pañal en ocho partes iguales (ver fig. 23) empleando una tijera y una pequeña bandeja de recolección (para evitar pérdidas de material polimérico en el proceso), y una vez separadas se pesó cada una de las zonas empleando una balanza analítica ( $\pm 0,1$  mg). Este procedimiento se realizó con 3 réplicas por cada lote de productos analizados.



**Fig. 23. División del pañal para el análisis cuantitativo de sus componentes. (5)**

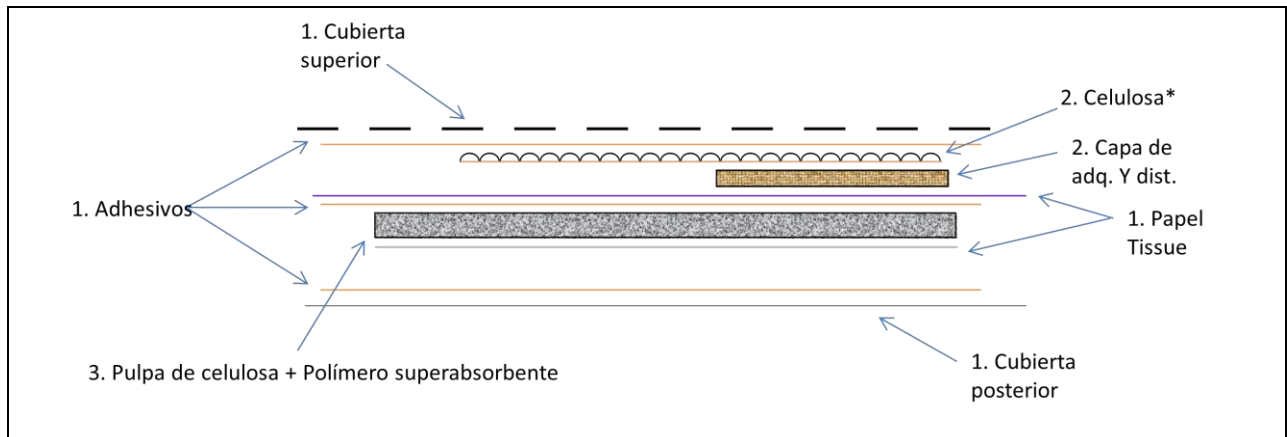


#### **4.2.4. Peso de los compuestos del pañal por zonas**

Mediante esta técnica se conoció la distribución del peso de cada material que compone el pañal, especificados en las ocho zonas en las que se analizó el centro absorbente del pañal.

##### 4.2.4.1. Procedimiento

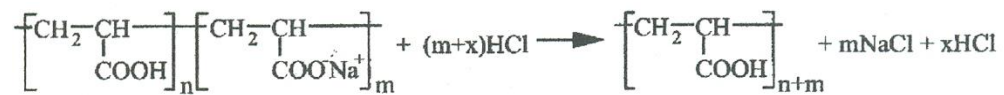
Inicialmente se llevó a cabo el procedimiento 4.2.3.1, seguidamente al obtener cada una de las zonas separadas y pesadas, se procedió a separar las capas que conforman el pañal mostradas previamente en la sección 1.3 (ver fig. 3). Las capas (identificadas con el número 1 en la fig. 24, conformadas por la cubierta superior, la cubierta posterior, barreras laterales, elásticos, orejas, etc.) conforman un conjunto denominado “chasis”, que no es más que la agrupación de las mismas en una sola sección debido a que no forman parte del objetivo del estudio. Inicialmente se retiró la primera capa que es la cubierta superior (identificada con el número 1 en la fig. 24), dejando expuesta la capa de adquisición-distribución (identificada con el número 2 en la fig. 24), la cual en algunos casos tiene una cubierta de pulpa de celulosa por encima. Se procedió entonces a retirar esta segunda capa. Seguidamente se retiró la capa de papel tissue (identificada también con el número 1 en la fig. 24) la cual protege al centro absorbente, para luego proceder a limpiar y desechar la mezcla de pulpa de celulosa y polímero superabsorbente (identificados con el número 3 en la fig. 24). Finalmente al tener todas las cubiertas o capas separadas se procedió a pesar en conjunto aquellas que tenían el mismo número de identificación, es decir, en un mismo recipiente se pesaron, empleando una balanza analítica ( $\pm 0,1$  mg), todas las cubiertas o capas del chasis y la capa de adquisición-distribución, por separado, de modo tal de obtener la distribución en peso por zonas tanto del chasis como de la capa de adquisición-distribución de un pañal. Este procedimiento se realizó con 3 réplicas por cada lote de producto analizado.



**Fig. 24. Capas del centro absorbente de un pañal desechable**

#### 4.2.5. Determinación cuantitativa de polímero superabsorbente por zonas

Esta prueba permitió determinar la cantidad de polímero superabsorbente que tiene un pañal desechable en su centro absorbente. Esta determinación se basó en una titulación por retroceso, la cual consiste en hacer reaccionar el ácido clorhídrico con el poliacrilato de sodio, llevándose a cabo una reacción ácido-base, y finalmente cuantificando la cantidad de ácido que reaccionó, al titular el excedente con hidróxido de sodio. La reacción química que tuvo lugar durante este análisis experimental se muestra a continuación (ver fig. 25).



**Fig. 25. Reacción del poliacrilato de sodio con ácido clorhídrico. (5)**

El análisis se realizó de manera segmentada para obtener la distribución de los componentes del centro absorbente. Esto se logró a través de la separación de los centros absorbentes a analizar en ocho zonas iguales, las cuales se titularon para determinar la cantidad de polímero superabsorbente que existe en cada una de estas zonas de manera independiente.

#### 4.2.5.1. Materiales necesarios

- Solución 3N de ácido clorhídrico.
- Solución de hidróxido de sodio 0.1N.
- Sistema de agitación automático por rotación.
- Titulador Automático marca Mettler Modelo DL70 ES, con electrodo de pH marca Mettler modelo DG111-SC, con solución de llenado Mettler 3M de Cloruro de potasio (KCl) o Cloruro de plata (AgCl) saturada.
- Soluciones Buffer de pH entre 3 y 12, para la calibración del titulador.

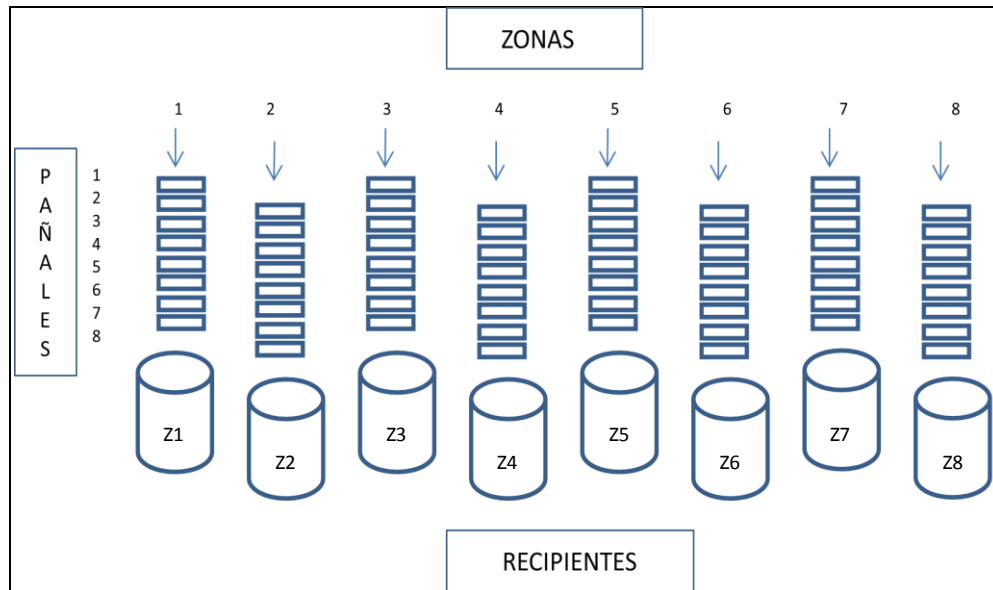
#### 4.2.5.2. Procedimiento

##### 4.2.5.2.1. Separación de muestras

Se llevó a cabo el procedimiento de la sección 4.2.3.1

##### 4.2.5.2.2. Preparación de la muestra para titular

Luego de la separación del centro absorbente, se procedió a introducir cada una de las ocho zonas en envases separados identificados con el número respectivo, obteniendo así ocho envases en total (uno por zona). Este procedimiento se realizó ocho veces obteniéndose ocho réplicas por envase (ver fig. 26).



**Fig. 26. Distribución de las muestras para titular.**

#### 4.2.5.2.3. Calibración del titulador/ Curva de calibración

Para el análisis de cada marca se calibró el titulador mediante una curva de calibración. En esta se extrae una cantidad de muestra (ver procedimiento 4.2.5.2.3.1 que se presenta a continuación) y se titulan alrededor de 5 puntos de una cantidad conocida del polímero superabsorbente para obtener sus respectivos valores de titulación con el hidróxido de sodio. Con estos valores se calibra el equipo relacionando el volumen de hidróxido de sodio empleado con la cantidad de polímero superabsorbente existente, de manera tal de obtener directamente la cantidad del polímero superabsorbente al titular las muestras. A continuación se muestra paso a paso la fabricación de la curva de calibración.

##### 4.2.5.2.3.1. Extracción de las muestras para la curva de calibración

Se extrajo una cantidad de polímero superabsorbente de los pañales desechables a analizar en una campana de extracción para polvos, extendiendo el pañal y retirando

las capas externas del pañal hasta llegar a la mezcla del centro absorbente, la cual se procedió a retirar con precaución empleando una espátula y a recolectar en un envase. La mezcla pulpa de celulosa - polímero superabsorbente se logró separar empleando tamices de distintos tamaños. Habiendo separado una cantidad aproximada de 10 g (proveniente de varios pañales) de polímero superabsorbente, se procedió a pulverizar el mismo empleando un mortero de ágata. Una vez pulverizado se calentó en la estufa durante un período mayor a 2 horas a una temperatura constante mayor a 100°C para lograr retirar la mayor cantidad de humedad absorbida.

#### 4.2.5.2.3.2. Preparación de las muestras para la curva de calibración

Se pesaron 5 porciones del polímero superabsorbente con cantidades entre 1 g y 20 g, empleando una balanza analítica ( $\pm 0,1$  mg). Se agregó en cada beaker una cantidad de solución de HCl, y se procedió a agitar los mismos en una plancha de agitación por un periodo de tiempo entre 20 y 30min. Luego se filtró cada una de las soluciones y se procedió a titular cada una mediante el programa de curva de calibración del titulador automático. Una vez finalizado el mismo se verificó que los valores obtenidos se encontraran dentro de los estándares establecidos para el procedimiento de curva de calibración.

#### 4.2.5.2.4. Titulación de la muestra

A cada uno de los envases obtenidos en el procedimiento de la sección 4.2.5.2.2. se le agregó una cantidad de solución de HCl para que reaccionara con el polímero superabsorbente. Los ocho envases se colocaron en agitación por rotación por un lapso de 20 a 30min. Una vez transcurrido el tiempo se procedió a filtrar una pequeña cantidad de cada una de las ocho soluciones, y seguidamente se tomaron alícuotas que fueron tituladas con una solución de NaOH empleando el titulador automático. El sistema automático de titulación, mediante la curva de calibración, parte del volumen

empleado de NaOH para conocer la cantidad de HCl que quedó sin reaccionar con la muestra, y de esta manera poder calcular finalmente por estequiometría la cantidad de polímero superabsorbente que posee la muestra. La cantidad que arrojó el resultado por estequiometría se dividió entre ocho, ya que en cada envase habían ocho réplicas de cada zona, por lo que para conocer la cantidad de polímero superabsorbente en cada una de estas zonas individualmente se realizó la división. Es importante resaltar que los remanentes de todas las soluciones fueron ser neutralizadas (llevadas a pH 7) empleando una sal de Carbonato de Sodio ( $\text{NaCO}_2$ ) de modo tal de ser desechadas de manera segura y adecuada.

#### **4.2.6. Distribución del polímero superabsorbente empleando una solución de un indicador ácido-base (bromocresol)**

Esta es una prueba semi-cuantitativa dividida en dos partes, donde la primera parte permite conocer visualmente la distribución del polímero superabsorbente en el núcleo del pañal, en donde se encuentra mezclado con la pulpa de celulosa desfibrada, la cual a su vez evita la presencia de aglutinaciones del polímero que puedan ocasionar un bloqueo que impida aprovechar la totalidad de la capacidad absorbente del pañal. La segunda parte permite comparar de manera semi-cuantitativa los diferentes centros absorbentes en función de la distribución de sus componentes en la superficie del núcleo.

En esta técnica se empleó una solución de púrpura de Bromocresol, la cual es una solución indicadora de pH con un rango de viraje en la coloración desde amarillo por debajo de un pH de 5,2 a púrpura por encima de un pH de 6,8. Se preparó en su forma

ácida de manera tal que permaneciera con una coloración amarilla, y así, al rociar la solución al centro absorbente del pañal, la misma virara de color tornándose púrpura por entrar en contacto con el polímero superabsorbente, y permaneciera de color amarillo en las zonas de la pulpa de celulosa. De esta forma se pudo observar si la distribución de los materiales en el centro absorbente era una mezcla de los dos componentes (pulpa de celulosa y polímero superabsorbente) o si los mismos estaban dispuestos por capas. Observar manchas muy oscuras o por el contrario espacios de color claro en el pañal, fue indicativo de que no hubo una distribución uniforme del polímero superabsorbente<sup>5</sup>. Un ejemplo de la forma en la que se observaron los resultados se muestra a continuación en la fig. 27.



**Fig. 27. Centro absorbente rociado con púrpura de bromocresol.**

La comparación entre marcas y productos fue basada en esta distribución visual de componentes en la superficie del centro absorbente. Este procedimiento fue realizado con tres réplicas por cada lote de los productos analizados.

Por otro lado, la comparación basada en la distribución proporcional de materiales en la superficie del núcleo se realizó empleando una cuadrícula que divide el centro absorbente la cual permitió contar la cantidad de cuadros de 1cmx1cm que se

encontraban cubiertos por uno u otro componente. A continuación se muestran los procedimientos a seguir para realizar estas pruebas.

#### 4.2.6.1. Procedimiento

##### 4.2.6.1.1. Preparación de la solución ácida de púrpura de bromocresol

Se preparó una solución ácida de púrpura de bromocresol, comprobando con el uso de un medidor de pH que el mismo se mantuviera entre 1 y 4.

##### 4.2.6.1.2. Preparación de las muestras

Se procedió a estirar completamente el pañal sobre una base plana, ajustando cada una de las 4 esquinas del pañal a la misma y fijándolas con pinzas sujetadoras de manera que quedara totalmente estirado el pañal con la cubierta superior hacia arriba. Para trabajar únicamente con el centro absorbente del pañal se retiraron con precaución tanto los elásticos laterales como la cubierta superior y la capa de adquisición-distribución, empleando una tijera.

##### 4.2.6.1.3. Ensayo sobre la muestra

Se saturó el centro absorbente del pañal con la solución del indicador. A medida que la solución fue entrando en contacto con los materiales del centro absorbente del pañal se observaba el cambio de color del polímero superabsorbente a una tonalidad púrpura mientras que la pulpa de celulosa permanecía del color amarillo de la solución ácida.



#### 4.2.6.1.4. Análisis del ensayo

Luego de 3 min de agregada la solución se procedió a detallar la proporción de los materiales en la superficie del centro absorbente. Para esto se empleó una plantilla transparente con pequeño cuadros de 1cm x 1cm, la cual se colocó encima del centro absorbente cubriendo toda su superficie con la cuadrícula. De esta manera se logró el conteo del número de cuadros que se encontraban rellenos por pulpa de celulosa coloreada de amarillo o por polímero superabsorbente colorado de púrpura. Un cuadro que tuviese más del 50% de su área cubierta por celulosa se clasificó como un cuadro totalmente libre de polímero superabsorbente. La cantidad total de cuadros que cubría la superficie del centro absorbente dependió en todos los casos del largo y ancho del mismo. De esta manera se pudo obtener el porcentaje de superficie cubierto por polímero superabsorbente y el total cubierto por pulpa de celulosa. La comparación entre centros absorbentes viene dada por la distribución visual de componentes más el porcentaje de cada compuesto en la superficie de los mismos.

#### 4.2.7. Cantidad de pulpa en el centro absorbente

La habilidad del núcleo de absorber líquidos depende no sólo del polímero superabsorbente, sino también de la cantidad y distribución de la fibra de pulpa de celulosa. Este método se empleó para conocer la cantidad presente de la misma en el centro absorbente. Partiendo de los valores del peso de las zonas del centro absorbente y de sus componentes (chasis, capa de adquisición-distribución, polímero superabsorbente) se pudo conocer cuál es la cantidad de celulosa presente cada una de ellas, ya que la misma es la diferencia entre el peso total del pañal, el chasis del pañal, la capa de adquisición-distribución, y la cantidad de polímero superabsorbente. Mediante estos valores de pulpa de celulosa se pudo obtener la relación pulpa de

celulosa/polímero superabsorbente para cada una de las ocho zonas del centro absorbente.

#### 4.2.7.1. Procedimiento

Luego de realizar los procedimientos de las secciones 4.2.4 y 4.2.5 para obtener los valores en peso de cada zona y de cada uno de sus componentes (chasis, capa de adquisición-distribución, polímero superabsorbente), se logró obtener a través de una resta (ver fig 28), la cantidad de celulosa presente en cada zona del centro absorbente. Mediante estos valores de pulpa de celulosa y conociendo los valores de polímero superabsorbente se logró establecer la relación pulpa de celulosa/polímero superabsorbente presente en cada una de las ocho zonas del centro absorbente, así como en el pañal completo.

$$g \text{ CELULOSA}_{\text{zona n}} = g \text{ ZONA n} - g \text{ CHASIS}_{\text{zona n}} - g \text{ CAPA AyD}_{\text{zona n}} - g \text{ PSA}_{\text{zona n}}$$

**Fig. 28. Ecuación para la determinación de la cantidad de pulpa de celulosa.**

### 4.3 Desempeño del centro absorbente

#### 4.3.1. Velocidad de absorción

El propósito de este método fue medir la tasa de absorción de líquido del pañal en productos terminados bajo las siguientes condiciones:

- Presión homogénea en la muestra.

- Puntos de descarga y volumen de descargas específicos.
- Descargas consecutivas.
- Condiciones estándar de Temperatura ( $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa ( $50\% \pm 5\%$ ).

Con la obtención de estos valores de velocidad y tiempos de absorción se logró establecer el desempeño general del pañal, que permitió realizar comparaciones importantes entre las diferentes marcas a analizar.

#### 4.3.1.1. Procedimiento

##### 4.3.1.1.1. Preparación de la solución de cloruro de sodio

Inicialmente se preparó una solución estándar de cloruro de sodio (NaCl), para ser empleada como un fluido con características similares a las de la orina del bebé.

##### 4.3.1.1.2. Preparación de las muestras

Inicialmente se preparó la muestra a analizar, retirando únicamente los elásticos laterales del pañal, de manera de emplear exclusivamente el centro absorbente del pañal.

##### 4.3.1.1.3. Ensayo sobre la muestra

Se fijó el centro absorbente del pañal en una caja presurizada, con la cubierta superior hacia arriba. Luego se procedió a cerrar la caja neumática y a generar en la misma la presión interna definida, la cual fue medida a través de un manómetro. Se inició el

proceso de descargas de la solución de NaCl, realizándose una a una sobre el centro absorbente, mientras que el equipo automático iba midiendo los tiempos de adquisición de la alícuota de solución salina, obteniendo al mismo tiempo las tasas de adquisición en cada descarga.

#### **4.3.2. Devolución de líquido**

Esta prueba fue un complemento del procedimiento llevado a cabo en la sección 4.3.1, la cual permitió la medición de la cantidad de fluido devuelto luego de una serie de descargas. El método anteriormente descrito permitió simular la introducción de la orina al pañal y medir los tiempos que un pañal necesita para adquirir cierta cantidad de líquido y su tasa de absorción, información que se completa con esta determinación de cantidad del fluido devuelto, para establecer un criterio acerca del desempeño del pañal en condiciones de uso. En este método se empleó un material muy similar a la piel el cual fue usado para cuantificar la cantidad de líquido que es devuelto del pañal, ya que este material de peso conocido absorbe el líquido a través del mismo mecanismo que el caso de la piel, bajo las mismas condiciones de presión o fuerza que ejercería el peso de un bebé. La cuantificación se realizó por diferencia de pesos.

##### **4.3.2.1. Procedimiento**

Inicialmente se llevó a cabo el procedimiento de la sección 4.3.1.1.3. Una vez transcurridos entre 5 y 10min después de la última descarga se empleó el mismo pañal colocándolo sobre una superficie plana con la cubierta superior hacia arriba, encima de la cual se colocó una capa del material similar a la piel (previamente pesado). Seguidamente se colocó encima un peso que simulaba el peso del bebé, durante un lapso alrededor de 1min, que luego fue retirado, permitiendo tomar la capa del material

para proceder a pesarla nuevamente, con lo que se obtuvieron los dos pesos (antes y después) para así establecer la diferencia del peso inicial y final del material la cual es igual a la cantidad del líquido absorbido por el material, el cual es el líquido o fluido devuelto por la muestra. Mediante este valor se complementó la información del desempeño del pañal, para lograr una mejor comparación.

#### **4.4 Características químicas del polímero superabsorbente**

Por otra parte, además de las técnicas previamente descritas para analizar tanto el diseño del pañal como el desempeño del centro absorbente, también se ejecutó otra técnica analítica que permitió caracterizar el material principal del centro absorbente de un pañal desechable, el cual es el polímero superabsorbente. Esta técnica es el análisis espectroscópico de IR, que se basa en el estudio de vibraciones moleculares y proporciona detalles correspondientes a la estructura química del compuesto.

##### **4.4.1. Espectroscopia infrarroja**

Las técnicas de espectroscopia de vibración son capaces de proveer información importante acerca de la naturaleza de una muestra desconocida, y a diferencia de las pruebas químicas, estas son no destructivas. Esta es una herramienta valiosa para la identificación de polímeros gracias a la información que ofrece en términos de estructura. El principal objetivo del análisis de la espectroscopia de IR en este proyecto es determinar los grupos funcionales químicos en las muestras, con lo que se pudiera diferenciar las estructuras entre los diferentes agentes reticulantes de las cadenas

poliméricas en los diferentes poliacrilatos de sodio analizados. En esta ocasión se empleó un Espectrofotómetro de IR por transformada de Fourier, los cuales son los más usados en la actualidad por su velocidad y sensibilidad superiores. Por su parte la preparación de la muestra se realizó en Yoduro de Cesio (Csl), el cual no posee absorción en un rango entre  $10.000\text{cm}^{-1}$  y  $250\text{ cm}^{-1}$ , por lo que no interfiere con el rango de absorción de la muestra.

#### 4.4.1.1. Procedimiento

##### 4.4.1.1.1. Extracción de las muestras

Se siguió el procedimiento de extracción de muestras previamente descrito en la sección 4.2.5.2.3.1.

##### 4.4.1.1.2. Preparación de las muestras

Se siguió el procedimiento de preparación de muestras para pastillas de IR empleando ioduro de cesio (Csl).

##### 4.4.1.1.3. Análisis de la muestra

Se introdujo el disco o pastilla dentro del portamuestras del equipo IR. Seguidamente se procedió a realizar el análisis espectroscópico empleando el equipo de FTIR. Inicialmente se corrió el análisis del espectro de “background” y seguidamente se procedió a introducir la muestra para proceder a correr el análisis y a generar el espectro correspondiente a la muestra. Finalmente se analizó el espectro para obtener la información acerca de las características estructurales del compuesto.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el proyecto se analizan tres marcas diferentes. Una de ellas (marca A) es de fabricación conocida, es decir, se conocen todos los parámetros de su construcción. En el caso de esta marca, existen 3 diferentes tipos de producto los cuales se analizaron de la siguiente manera: producto 1 (1 lote), producto 2 (3 lotes), producto 3 (1 lote), esto con la finalidad única de corroborar que en efecto los rangos de fabricación del producto entren dentro de las especificaciones técnicas establecidas. En lo que respecta a las otras dos marcas (B y C), considerando que son productos con condiciones de fabricación desconocidas, se proceden a analizar tres réplicas de 2 y 3 diferentes lotes, para reducir posibles errores provenientes de la fabricación de un lote en específico. En el estudio se unen todas las réplicas de todos los lotes por producto, y se hace un solo análisis comparativo del mismo con otros.

Se establece con los resultados un análisis comparativo de diferencias significativas al 90% de confianza, mediante el uso del método Tukey, el cual es conocido como el test HSD (Honestly-significant-difference; diferencia significativa honesta según sus siglas en inglés). Este es un test de comparaciones múltiples, el cual se basa en la distribución del rango estudentizado, que es la distribución que sigue la diferencia del máximo y del mínimo de las diferencias entre la media muestral y la media poblacional de  $t$  variables normales  $N(0, 1)$  independientes e idénticamente distribuidas. Se establece así un umbral, como en otros métodos, y se calculan todas las diferencias de medias muestrales entre los  $t$  niveles del factor estudiado. Las diferencias que estén por encima de ese umbral se considerarán diferencias significativas, las que no lo estén se considerarán diferencias no significativas

## 5.1 Diseño del pañal

### 5.1.1. Dimensiones

Inicialmente se desarrolla el análisis dimensional entre las diferentes marcas de pañales.

Productos	(n=3)	Largo del pañal	Ancho del pañal		
			Zona Frontal	Zona Intermedia	Zona Posterior
A1	X ± s (mm)	484 ± 1	300 ± 2	214 ± 1	222 ± 1
A2		483 ± 1	296 ± 6	217 ± 4	223 ± 2
A3		485 ± 1	209 ± 0	220 ± 1	223 ± 2
B1		465 ± 2	282 ± 6	218 ± 2	215 ± 1
B2		469 ± 2	278 ± 8	214 ± 2	214 ± 2
C1		477 ± 2	285 ± 2	215 ± 1	218 ± 2
C3		466 ± 4	214 ± 1	213 ± 1	213 ± 1

Tabla 1. Dimensiones del pañal.

Productos	(n=3)	Largo de la capa de adquisición	Ancho de la capa de adquisición		
			Zona Frontal	Zona Intermedia	Zona Posterior
A1	X ± s (mm)	215 ± 1	84 ± 1	84 ± 1	84 ± 1
A2		241 ± 1	83 ± 1	83 ± 1	83 ± 1
A3		231 ± 1	73 ± 1	73 ± 1	73 ± 1
B1		213 ± 1	86 ± 1	86 ± 1	86 ± 1
B2		208 ± 1	85 ± 1	85 ± 1	85 ± 1
C1		211 ± 1	88 ± 1	88 ± 1	88 ± 1
C3		228 ± 1	87 ± 1	87 ± 1	87 ± 1

Tabla 2. Dimensiones de la capa de adquisición-distribución.



Productos	(n=3)	Largo del centro absorbente	Ancho de la capa de adquisición			Distancia entre el borde del pañal y el borde del centro absorbente	
			Zona Frontal	Zona Intermedia	Zona Posterior	Zona Frontal	Zona Posterior
A1	$\bar{X} \pm s$ (mm)	419 ± 1	119 ± 1	85 ± 1	120 ± 1	28 ± 1	40 ± 1
A2		409 ± 2	118 ± 1	82 ± 2	119 ± 2	28 ± 2	47 ± 2
A3		418 ± 1	116 ± 1	81 ± 1	121 ± 1	30 ± 1	40 ± 1
B1		372 ± 1	95 ± 2	93 ± 1	94 ± 2	24 ± 5	68 ± 3
B2		374 ± 2	98 ± 1	98 ± 1	98 ± 1	27 ± 1	67 ± 3
C1		379 ± 2	101 ± 1	99 ± 3	101 ± 2	28 ± 2	70 ± 1
C3		366 ± 2	95 ± 3	98 ± 1	98 ± 1	34 ± 4	64 ± 8

**Tabla 3. Dimensiones del centro absorbente.**

Previo al análisis de los resultados obtenidos es importante recordar la clasificación bajo la cual se denominaron los productos analizados. Los productos fueron denotados con una letra seguida de un número, donde la letra representa la marca a la que pertenece el producto y el número representa la categoría. Para el estudio se analizaron tres marcas (A, B y C) de tres categorías diferentes (alta = 1, media = 2 y baja = 3).

Como se observa en los resultados los 3 productos de la marca A tienen valores muy cercanos entre sí, sin diferencias significativas, en lo que respecta al largo de pañal (A1 484,3mm, A2 483,3mm y A3 485,3mm). Por otro lado, los productos de la marca B tienen longitudes del pañal muy parecidas entre sí (B1 465,3mm y B2 469,3mm) sin diferencias significativas entre ellos. Los valores de estas longitudes fueron más pequeños que los obtenidos en la marca A, incluso por debajo del producto A3 que es el de categoría baja. En cuanto a las longitudes de los pañales de la marca C se obtuvieron valores intermedios entre los obtenidos para los productos de las marcas A

y B; sin embargo en esta oportunidad, distinto a lo observado en las marcas A y B, sí existen diferencias significativas entre ambos productos de esta marca (C1 477,3mm y C3 465,5mm). En general se puede observar que son los productos de la marca A quienes tienen una mayor longitud en sus pañales (muy similares entre sí a pesar de pertenecer a diferentes categorías), siendo incluso más largo el producto de categoría baja de esta marca que los productos de categoría media y alta de las marcas B y C. Al comparar entre marcas existe mayor similitud de la longitud del producto C1 con las de los productos de la marca A, a pesar de que existen diferencias significativas entre ellos, mientras que el producto C3 posee mayor similitud con los productos de la marca B, y por el contrario no muestra diferencias significativas con estos productos.

Por otro lado en lo que respecta al ancho del pañal se obtuvo que todos los productos analizados poseen la particularidad de tener 3 zonas diferentes a lo largo de pañal, donde el ancho varía en función del ajuste adecuado al cuerpo del bebé lo cual es determinante en lo que se refiere a la obtención de pañales anatómicos, conllevando a un chasis con forma de reloj de arena previamente descritos (sección 1.2). Estas zonas se analizaron de manera independiente y se encuentran ubicadas de la siguiente manera: la primera se ubica en la zona frontal del pañal (la que corresponde al frente del bebé), la segunda en la zona intermedia (donde se ajusta el pañal a la entrepierna del bebé) y la tercera se encuentra en la zona posterior del pañal (la que corresponde a la zona trasera del bebé). A partir de las medidas obtenidas en los productos de la marca A en su zona frontal (A1 300,3mm; A2 296,0mm y A3 208,7mm) se observó que los productos de las categorías alta y media tienen valores similares, entre los cuales no existen diferencias significativas, mientras que el producto de categoría baja sí tiene diferencia significativa con respecto a los productos A1 y A2, hasta por más de 87mm. En cuanto a la zona intermedia del pañal se obtuvo que (A1 213,7mm; A2 216,7mm y A3 220,3mm) el producto de categoría media A2 no tiene diferencias significativas con ninguno de los otros dos productos de la marca, mientras que estos dos últimos por su

parte si tienen diferencias significativas entre ellos. Por último a partir de las medidas de ancho en la zona posterior del pañal (A1 221,7mm; A2 223,0mm y A3 223,3mm) se obtuvo que no existen diferencias significativas entre los productos.

En esta marca se observó únicamente en los productos de categoría alta y media, que es la zona frontal del pañal quien tiene los mayores valores de ancho del pañal en comparación a las otras dos zonas, mientras que la zona intermedia por otro lado es quien tiene los menores valores de ancho del pañal lo que sugiere que estas diferencias son tomadas en cuenta de manera consciente al momento de la fabricación para garantizar un ajuste adecuado y más anatómico para el bebé, minimizando el riesgo de derrames fuera del pañal, como previamente se mencionó (sección 1.2). En el caso del producto de categoría baja, se observó una estructura no tan anatómica como la ofrecida por los productos A1 y A2, y esto se debe a la limitación de ciertos atributos que atrae el hecho de la fabricación de un producto más económico.

Partiendo de las medidas obtenidas en los productos de la marca B se observó que entre los valores del ancho de la zona frontal de ambos productos (B1 282,0mm y B2 278,3mm) no existen diferencias significativas, condición que se repite tanto en la zona intermedia del pañal (B1 218,0mm y B2 214,3mm) como en la zona posterior del pañal (B1 215,0mm y B2 214,3mm), debido a los valores tan similares obtenidos en ambos productos a pesar de que pertenecen a categorías diferentes (alta y media). Esto sugiere una fabricación similar para los dos productos debido a que los mismos pertenecen a una misma talla, brindando al igual que en el caso de los productos de la marca A un mayor valor en la zona frontal en comparación a las otras dos zonas, pero con la diferencia de que en este caso los productos de la marca B tienen anchos muy similares en sus zonas intermedia y posterior.

De las medidas de ancho en los productos de la marca C se observó que entre los valores del ancho de la zona frontal de ambos productos (C1 284,7mm y C3 214,0mm) existen diferencias significativas por hasta 70mm de diferencia, mientras que por el contrario los valores en la zona intermedia del pañal (C1 215,3mm y C3 213,0mm) no tienen diferencias significativas entre ellos. Por otro lado para el ancho de la zona posterior del pañal (C1 218,0mm y C3 213,0mm) también se tuvieron diferencias significativas entre ambos productos, lo que demuestra una fabricación bastante similar a la de los productos de la marca B, específicamente del producto C1, donde existe un mayor valor en el ancho de la zona frontal en comparación a las otras dos zonas del pañal, mientras que las zonas intermedia y posterior tienen anchos muy similares entre ellas. En el caso del producto C3 se observó una estructura menos anatómica ya que las 3 zonas del pañal poseen valores bastante cercanos entre sí, dando como resultado un pañal prácticamente rectangular. En este caso se ve la diferencia considerable que existe en la fabricación de dos productos de diferentes categorías para esta marca, siendo el C1 un producto de categoría alta, mientras que el C3 es un producto de categoría baja.

Haciendo la comparación entre las diferentes marcas se tiene que en la zona frontal del pañal los productos A1 y A2 tienen diferencias significativas con todos los productos de las otras marcas, pertenezcan o no a su misma categoría, mientras que por su parte el producto A3 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas, excepto con C3 el cual pertenece a su misma categoría. Por el mismo lado se observa que los productos B1 y B2 tienen diferencias significativas también con C3. En lo que se refiere a la zona intermedia se encontró que el producto A1 no tiene diferencias significativas con ningún producto de las otras marcas, al igual que el producto A2; mientras que por el contrario A3 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas, excepto con B1, el cual tiene diferencias significativas únicamente con C3. En lo que respecta al ancho en la zona posterior del

pañal se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas excepto con C1, el cual pertenece a su misma categoría; mientras que los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con todos los productos que pertenezcan a otras marcas, así sean de su misma categoría.

En general se observó la tendencia de que los productos de la marca A no tengan diferencias significativas entre ellos a pesar de pertenecer a categorías diferentes, mientras que los mismos muestran diferencias significativas con productos de su misma categoría de las marcas B y C. Por su parte los productos de las marcas B y C muestran tendencia a no tener diferencias significativas entre ellos, lo que sugiere que estructuralmente tienden a ser muy parecidos entre sí. Otra observación fue que en principio las medidas de la zona intermedia de todos los productos son bastante similares entre sí, con una diferencia de hasta 7mm, lo que se atribuye al hecho de que por cuestiones de anatomía la mayoría de los pañales pertenecientes a la talla G tengan un ancho en esa zona alrededor de los obtenidos, de modo tal de causar la mínima molestia posible al bebé, sin perder su función de absorción. Por otro lado también se observó que existen 2 productos que tienen el menor ancho en la zona frontal, y estos son justamente los pertenecientes a la categoría baja, los cuales por ser más económicos tienden a perder ciertas cualidades que ofrecen los productos de mejores categorías.

Seguidamente luego del análisis del pañal completo, se procede a observar de manera más específica la capa de adquisición-distribución, la cual es uno de los componentes que conforman el pañal y que contribuye con el desempeño del mismo (sección 1.3). Comparando los valores obtenidos de la capa de adquisición-distribución de todos los productos se puede concluir inmediatamente que la capa de absorción y distribución es de forma rectangular para todos los productos analizados. Inicialmente se observó que

la longitud de esta capa en los 3 productos de la marca A tiene valores con diferencias significativas entre ellos (A1 214,7mm, A2 241,3mm y A3 231,3mm), condición que se observó igualmente entre las longitudes de las capas de adquisición y distribución de los productos de la marca B (B1 213,3mm y B2 208,0mm) y también entre las longitudes de la capa de los productos de la marca C (C1 211,3mm y C3 228,5mm). En general se observó que al comparar entre marcas los únicos productos que no tienen diferencia significativa entre sus longitudes de capa de adquisición-distribución son A1 y B1, así como B1 y C1. Se observó que son los productos A2 y A3 quienes tienen las capas de adquisición y distribución con mayores longitudes, seguidas de cerca por el producto C3; mientras que por otro lado es el producto B2 quien tiene la capa con menor longitud. Luego al comparar entre categorías se observó que para las marcas A y C los productos de las categorías baja y media tienen mayores longitudes que los productos de la categoría alta, condición que es viceversa en los productos de la marca B. Los productos de la categoría alta (A1, B1 y C1) y categoría baja (A3 y C3) son los que tienen las diferencias más pequeñas entre ellos de hasta 3,4mm para la categoría alta y de hasta 2,8mm para la categoría baja; mientras que las diferencias entre los productos de categoría media (A2 y B2) son mucho más amplias con hasta 33,3mm de diferencia.

Analizando los valores de ancho de la capa de adquisición- distribución se tiene que de los valores obtenidos para los productos de la marca A (A1 83,7mm; A2 83,3mm y A3 73,3mm) solo A1 y A2 son los que no tienen diferencias significativas entre ellos, pero ambos poseen diferencias significativas con A3 por hasta 10,4mm; mientras que para el ancho de los productos de la marca B (B1 85,7mm y B2 85,3mm) no se observaron diferencias significativas entre sí, al igual que lo observado entre los productos de la marca C (C1 87,7mm y C3 87,0mm). De estas medidas se observó que los productos de la marca A son quienes tienen las capas de adquisición y distribución menos anchas, mientras que la capa en los productos de la marca C son las más anchas.

Comparando entre marcas se tiene que A1 tiene diferencias significativas con C1 y C3; mientras que A2 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas excepto B2, el cual pertenece a su misma categoría; y finalmente A3 tiene diferencias con todos los demás productos de las otras marcas, incluso de su misma categoría. Para las categorías se observó la tendencia que a mayor categoría mayor es el ancho de la capa de adquisición-distribución.

Finalmente llegando al análisis del centro absorbente se tiene que para los valores de longitud de la marca A (A1 419,3mm, A2 408,7mm y A3 418,3mm) existen diferencias significativas entre A2 y los otros dos productos, entre los cuales no existen diferencias significativas. Por el contrario entre las longitudes de los productos de la marca B (B1 372,3mm y B2 373,7mm) no se observaron diferencias significativas, mientras que entre los productos de la marca C (C1 379,0mm y C3 366,5mm) si hay diferencias significativas. Se observó de igual modo que las mayores longitudes las tienen los centros absorbentes de los productos de la marca A con diferencias desde 40,3mm, incluso con productos de su misma categoría. En este caso particular comparando entre marcas se observó que los productos de la marca A son los que tienen centros absorbentes más largos, con hasta 52,8mm de diferencia en comparación con los otros productos. También se observó que para todos los productos existen diferencias significativas con los productos de las otras marcas, aunque pertenezcan a una misma categoría.

En cuanto a las medidas del ancho del centro absorbente se tiene que específicamente los productos de la marca A poseen la particularidad de tener su centro absorbente en forma de reloj de arena, es decir que nuevamente se observan 3 zonas a lo largo del centro absorbente (frontal, intermedia y posterior) las cuales poseen valores diferentes en términos de ancho, al igual que en el caso de las dimensiones del ancho del pañal.

En base a las medidas obtenidas de los productos de la marca A en su zona frontal (A1 118,7mm; A2 117,7mm y A3 116,3mm) se observó que entre los 3 productos de la marca A no existen diferencias significativas, mientras que en lo que respecta a las medidas del ancho en la zona intermedia del pañal (A1 84,7mm; A2 81,7mm y A3 80,3mm) el producto A2 no tiene diferencias significativas con los otros dos productos, pero estos dos por su parte si tienen diferencias significativas entre ellos. Ya en lo que respecta a las medidas en la zona posterior del pañal (A1 120,0mm; A2 118,7mm y A3 121,0mm) nuevamente se observa que no existen diferencias significativas entre los tres productos. En lo que se refiere al desplazamiento del centro absorbente a lo largo de la longitud del pañal se midieron las distancias en ambos lados del centro absorbente hasta el borde del pañal, en el caso de los productos de la marca A se tiene para la zona frontal (A1 28,3mm, A2 27,7mm y A3 30,3mm) los productos no tienen diferencias significativas en esta medida, mientras que para la zona posterior (A1 40,3mm, A2 47,0mm y A3 40,0mm) los productos A2 y A3 son los únicos que tienen diferencias significativas entre ellos, mientras que los productos A1 y A2 son direccionalmente diferentes.

Analizando las medidas obtenidas para los productos de la marca B se observó que para el ancho de la zona frontal de los centros absorbentes de los dos productos (B1 95,0mm y B2 97,7mm) no se encontraron diferencias significativas, mientras que por el contrario las medidas de la zona intermedia de ambos productos (B1 93,3mm y B2 97,7mm) si tienen diferencias significativas entre ellas, condición que se vuelve a repetir en las medidas de la zona posterior del centro absorbente de ambos productos (B1 94,3mm y B2 97,7mm). En lo que se refiere al desplazamiento del centro absorbente a lo largo del pañal se tiene que tanto para la distancia frontal del centro absorbente hasta el borde frontal del pañal (B1 24,3mm y B2 27,3mm) como para la distancia posterior del centro absorbente hasta el borde posterior del pañal en ambos productos (B1 68,3mm y B2 67,3mm) no se encontraron diferencias significativas.



Para los productos de la marca C el ancho de la zona frontal de los centros absorbente entre ambos productos (C1 100,7mm y C3 95,0mm) tienen diferencias significativas, contrario a lo que se observó entre las medidas de la zona intermedia (C1 99,0mm y C3 98,0mm) las cuales no tienen diferencias significativas entre ellas. En el caso de las medidas del ancho en la zona posterior del centro absorbente, ambos productos (C1 101,0mm y C3 97,5mm) tienen diferencias significativas entre ellos. Por otro lado en lo que respecta al desplazamiento del centro absorbente a lo largo del pañal se tiene que en el caso de la distancia frontal del centro absorbente al borde del pañal en ambos productos (C1 27,7mm y C3 34,5mm) tiene diferencias significativas, mientras que en la distancia posterior los productos (C1 70,3mm y C3 64,5mm) no tienen diferencias significativas entre ellos.

En todos los productos de la marca A se observa que es mayor el valor del ancho de la zona posterior que el de la zona frontal, con lo que se demuestra la forma de reloj de arena previamente descrita (sección 1.2). En el caso de los productos de la marca B y C los centros absorbentes tienen medidas muy parecidas en sus 3 zonas, con diferencias no mayores a 3mm entre ellas, por lo que se considera que sus centros absorbentes son rectangulares. También se observó que los productos de la marca A en comparación con las otras marcas, poseen los mayores valores de ancho en sus zonas frontal y posterior, con una diferencia con los otros productos de hasta 23,4mm y 26,7mm respectivamente para cada zona. Mientras que por lo contrario, en lo que respecta a la zona intermedia del centro absorbente los productos de las marcas B y C superan los valores del ancho de los productos de la marca A por hasta 18,7mm.

En lo que se refiere al ancho en la zona frontal se tiene que los 3 productos de la marca A tienen diferencias significativas con todos los productos de las otras marcas, incluso de su misma categoría; mientras que el producto B1 tiene diferencias significativas con

casi todos los productos de las otras marcas excepto C3, a pesar de pertenecer a categorías diferentes. Por otro lado el producto B2 tiene diferencias significativas con los productos de la marca A, pero no tiene diferencias significativas con ningún producto de la marca C. En cuanto a la zona intermedia los productos de la marca A tienen diferencias significativas con todos los productos de las otras marcas, al igual que el producto B1. Por su parte el producto B2 tiene diferencias significativas con los productos de la marca A, pero no tiene diferencias significativas con los productos de la marca C, mientras que estos últimos tienen diferencias con casi todos los productos de las otras marcas excepto con B2. Por último para la zona posterior se tiene que los productos de la marca A nuevamente tienen diferencias significativas con todos los productos de las otras marcas, mientras que por su parte los productos de la marca B tienen diferencias con casi todos los otros productos de otras marcas excepto con C3. Para todas las zonas del centro absorbente, todos los productos que pertenecen a una misma categoría tienen diferencias significativas entre ellos, para todas las categorías analizadas. Comparando las distancias frontales de los centros absorbentes entre las diferentes marcas se observó que los productos A1 y A3 no tienen diferencias con ninguno de los productos de las otras marcas, mientras que A2, B1, B2 y C1 solo tienen diferencias significativas con C3. Por su parte para las distancias posteriores todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con los productos de las otras marcas, mientras que los productos de las marcas B y C solo tienen diferencias significativas con los de la marca A. En general las distancias de la zona frontal tienen valores bastante cercanos en todos los productos, con diferencias de hasta 10,2mm, siendo las mayores para C3 y A3 que son los productos de categoría baja. En cuanto a las distancias de la zona posterior del centro absorbente hasta el borde del pañal las diferencias son significativas entre la marca A y las otras dos marcas, por hasta 30,3mm, pero muy similares entre las marcas B y C. Los productos de categoría alta, media y baja no tienen diferencias significativas entre ellos en la distancia de la zona frontal hasta el borde del pañal, sin embargo en la zona posterior si tienen diferencias significativas, excepto B1 y C1 en la categoría alta.

### **5.1.2. Componentes del pañal**

Muchos de los análisis de este estudio en cuanto al diseño y construcción del pañal se realizaron en base a octiles, es decir, las zonas obtenidas por la división del centro absorbente 8 partes iguales. Durante el proceso se realizaron 3 réplicas en todos los análisis para cubrir posibles errores por reproducibilidad. Es importante tener en cuenta que también se emplearon pañales que estaban dentro del peso promedio de su marca, de manera de minimizar los posibles errores asociados con diferencias de pesos asociadas a la construcción del pañal, y así evitar crear escenarios de ventajas de una marca sobre otra. A lo largo del análisis es importante tener en cuenta que las zonas se enumeraron desde el frente del pañal hasta su parte posterior, es decir que la zona 1 es la que se encuentra en la parte frontal del pañal, mientras que la zona 8 es la que se ubica en la parte posterior del mismo. Se inició el análisis obteniendo los pesos de cada una de las 8 zonas del centro absorbente para todos los productos, partiendo entre 3 y 9 réplicas para cada marca (3 réplicas por lote).

Peso total y por zonas del pañal [g]								
Marcas		A			B		C	
Productos		A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
Peso pañal		33,24	30,48	28,90	37,60	33,92	36,28	32,85
Zonas	1	4,98 ± 0,05 BC	4,16 ± 0,32 D	4,52 ± 0,05 BCD	5,42 ± 0,32 A	4,98 ± 0,27 BC	5,02 ± 0,47 AB	4,50 ± 0,33 CD
	2	4,49 ± 0,10 ABC	4,29 ± 0,62 BC	3,97 ± 0,53 BC	4,67 ± 0,40 AB	4,30 ± 0,29 BC	4,92 ± 0,51 A	3,68 ± 0,20 C
	3	4,22 ± 0,09 BC	4,33 ± 0,44 B	3,53 ± 0,51 D	4,35 ± 0,28 B	4,23 ± 0,07 BC	4,74 ± 0,18 A	3,84 ± 0,13 CD
	4	4,33 ± 0,20 BC	3,98 ± 0,27 CD	3,77 ± 0,59 CD	4,39 ± 0,25 B	4,05 ± 0,26 BCD	4,99 ± 0,21 A	3,74 ± 0,15 D
	5	4,43 ± 0,36 AB	3,81 ± 0,46 C	4,11 ± 0,31 BC	4,07 ± 0,20 BC	3,96 ± 0,23 BC	4,73 ± 0,18 A	3,91 ± 0,19 BC
	6	3,09 ± 0,28 C	2,63 ± 0,57 D	2,25 ± 0,21 D	3,73 ± 0,23 AB	3,34 ± 0,19 BC	3,07 ± 0,13 C	3,86 ± 0,25 A
	7	2,70 ± 0,16 BCD	2,39 ± 0,37 D	2,50 ± 0,14 CD	3,70 ± 0,12 A	3,24 ± 0,17 B	3,05 ± 0,57 BC	3,78 ± 0,18 A
	8	5,02 ± 0,18 C	4,90 ± 0,14 C	4,25 ± 0,01 D	7,27 ± 0,21 A	5,82 ± 0,20 B	5,77 ± 0,19 B	5,54 ± 0,53 B

Significancia al 90% (Tukey)

Tabla 4. Peso total y seccionado de los productos analizados.

A través de los valores obtenidos, mostrados en la tabla 4, se observó que es el producto B1 quien posee el mayor valor en cuanto al peso total del pañal, con diferencias entre 1,32 g y 8,70 g con respecto al resto de los productos, siendo el producto A3 el de menor peso. Comparando los pesos en función de las categorías, se

observó que a mayor categoría mayor es el peso del pañal en todas las marcas, y también se observó que al comparar entre productos de la misma categoría los productos de la marca A en todos los casos son quienes tienen los menores pesos de sus pañales, con diferencias entre 2,79 g y 5,71 g para todas las categorías.

En la comparación de los productos por zona se debe destacar que las zonas 1 y 8 del centro absorbente poseen mayor peso, lo que se atribuye al hecho de que en estas dos zonas es donde se encuentran los componentes del pañal que permiten el ajuste del mismo, por lo que se incrementa el peso en estos dos extremos. Es por esta razón que las zonas 1 y 8 no fueron comparadas con el resto de las zonas en términos de peso, ya que no se encuentran bajo las mismas condiciones de diseño, al poseer más componentes que las otras zonas.

En la comparación de zonas por categoría se pudo observar mediante los valores obtenidos en la tabla 4, que para una misma marca, a mayor categoría son mayores los pesos de las zonas en la mayoría de los casos. También se observó que a medida que se avanza de zona en zona desde la parte frontal hasta la posterior, el peso de las mismas va disminuyendo en la mayoría de los casos, con excepción total de las zonas del producto C3, lo que se atribuye al hecho de que sus zonas tienen pesos muy cercanos entre sí, quizás por pertenecer a la categoría más baja.

Comparando los productos en su zona 1 se observó que A1 y A2 tienen diferencias significativas entre sí, al igual que B1 con B2 y C1 con C3. Por su parte comparando entre marcas se observó que A1 y B1 tienen diferencias significativas entre ellos a pesar de pertenecer a la misma categoría, mientras que por su parte A2 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas excepto con

C3 a pesar de pertenecer a categorías distintas. Por otro lado A3 sólo tiene diferencias significativas con B1, mientras que por su parte el producto B1 tiene diferencias significativas con C3. Se tiene que los mayores pesos de la zona 1 los tienen los productos B1 y C1 respectivamente, los cuales pertenecen a la categoría alta, y que al ser comparados con el producto A1, también perteneciente a esta categoría, tienen diferencias de hasta 0,44 g en sus pesos. Por otro lado el menor peso de la zona 1 lo tiene el producto A2, mostrando una diferencia de 0,35 g con respecto a la segunda zona de menor peso que es la del producto C3, siendo este último producto de menor categoría que el producto A2. Para esta zona la tendencia mostró en casi todos los casos, que a mayor categoría mayor es el peso de la zona, excepto para la categoría media y baja de la marca A, donde el producto A2 tiene menor peso que el producto A3, lo que se atribuye al proceso de fabricación o diseño. En general se pudo observar que las zonas 1 de los productos de las marcas B y C tienden a ser más pesadas que las de los productos de la marca A, pertenezcan o no a una misma categoría.

En la zona 2 se tiene los productos de la marca A no tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca B; mientras que por el contrario los productos de la marca C sí muestran diferencias significativas entre ellos. Al comparar entre marcas se pudo observar que el producto A1 no tiene diferencias significativas con los productos de las otras dos marcas, mientras que los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas únicamente con el producto C1. El producto B1 tiene diferencias significativas con el producto C3, mientras que por su parte el producto B2 tiene diferencias significativas con el producto C1. Para todas las marcas analizadas se observó una tendencia en la que a medida que disminuye la categoría del producto también disminuye el peso de la zona 2. Para los productos de la categoría alta, es la marca C (producto C1) quien tiene el mayor peso en su zona 2, seguida de la marca B (producto B1) con una diferencia de 0,25 g; y por último la marca A (producto A1) con una diferencia de hasta 0,43 g, ambos con respecto al producto C1. En el caso de la

categoría media también se observa que es la marca B (producto B2) quien tiene un mayor peso en la zona 2 que la marca A (producto A2), aunque los valores son muy cercanos entre sí, con una diferencia de 0,01 g. Por el contrario, es en el caso de la categoría baja donde se observó una variación en la que es la marca A (producto A3) quien muestra el mayor peso de su zona 2, con una diferencia de 0,29 g con respecto a la marca C (producto C3).

Para la zona 3 se tiene que comparando productos de la misma marca, los productos A1 y A2 no tienen diferencias significativas entre ellos, sin embargo ambos tienen diferencias significativas con A3. Por otro lado los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre ellos, a diferencia de los productos de la marca C los cuales muestran diferencias significativas sí. Estableciendo la comparación entre diferentes marcas se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas únicamente con C1, mientras que el producto A2 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C (C1 y C3), y finalmente el producto A3 muestra diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas (B1, B2 y C1) excepto con el producto C3, el cual pertenece a su misma categoría. El producto B1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que B2 tiene diferencias significativas con el producto C1. En la mayoría de los casos se observó la tendencia de que a mayor categoría mayor pesa la zona 3, excepto en el caso entre los productos A1 y A2 donde se observó el comportamiento opuesto, lo cual se pudo atribuir al diseño o fabricación. También se observó que para las categorías alta y baja, la marca A tiene los menores pesos de la zona (con una diferencia significativa de hasta 0,52 g para la categoría alta y no significativa de 0,31 g para la categoría baja), a diferencia de la categoría media donde el producto A2 tiene mayor peso con una diferencia no significativa de 0,10 g con respecto al producto B2.

En la zona 4 se observó que los productos de la marca A no tienen diferencias significativas entre ellos, a pesar que pertenecen a categorías diferentes, al igual que los productos de la marca B; mientras que por el contrario los productos de la marca C sí tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando los productos entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas tanto con el producto B1 como con el producto C1, siendo todos de categorías diferentes. Por su parte el producto B1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que el producto B2 tiene diferencias significativas con el producto C1. Se pudo observar entonces que el producto C1 es el único que tiene diferencias significativas con casi todos los demás productos, pertenezcan o no a su misma marca o categoría. En esta zona se observó para todas las marcas que a mayor categoría mayor es el peso de la misma. En el caso de la categoría alta y media se observa que es la marca A quien tiene los menores pesos en la zona 4, con una diferencia significativa de hasta 0,66 g en el caso de A1 con respecto al producto C1, que es el de mayor peso para esta zona; y con una diferencia no significativa de 0,07 g en el caso de A2 con respecto a B2. Por el contrario se observó un comportamiento opuesto en el caso de la categoría baja donde la zona del producto A3 es la de mayor peso, con una diferencia no significativa de 0,03 g con respecto al producto C3.

En la zona 5 se observó que los productos A1 y A2 no tienen diferencias significativas con A3, pero si tienen diferencias significativas entre ellos, mientras que los productos de la marca B no tienen diferencias significativas a pesar de pertenecer a categorías diferentes. Por otro lado los productos de la marca C sí mostraron diferencias significativas entre ellos. Haciendo la comparación de productos de diferentes marcas se observó que el producto A1 no tiene diferencias significativas con ninguno de los productos de las otras marcas, mientras que los productos A2, A3, B1, B2 y C3 tienen



diferencias significativas únicamente con C1. Se pudo observar en general que el producto C1 tiene diferencias significativas con casi todos los demás productos, pertenezcan o no a su misma marca o categoría. Para la zona 5 se observó que en casi todos los casos a mayor categoría mayor es el peso para la zona, excepto entre los productos A2 y A3 donde el de categoría baja tiene mayor peso que el de categoría media. Para el caso de la categoría alta se observó que el producto C1 es quien tiene el mayor peso de la zona, con una diferencia significativa de hasta 0,66 g con respecto al producto B1 que es el de menor peso. Por otro lado para los productos de la categoría media la marca A (producto A2) es quien tiene el menor peso de la zona, con una diferencia no significativa de 0,15g con respecto a B2, mientras que por el contrario para la categoría baja la marca A es quien tiene el mayor peso de la zona con una diferencia no significativa de 0,2g con respecto al producto C3.

En la zona 6 se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas con los productos A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su lado los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre ellos a pesar de pertenecer a diferentes categorías, mientras que los productos de la marca C sí tienen diferencias significativas entre sí. Comparando los productos entre marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con los productos B1 y C3, mientras que los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con todos los productos de las otras marcas. Por su parte el producto B1 tiene diferencias significativas con el producto C1 a pesar de pertenecer a una misma categoría, mientras que el producto B2 tiene diferencias significativas con C3. En este caso comparando los productos acorde a sus categorías se tiene para la categoría alta es el producto B1 quien tiene el mayor valor en peso de la zona 6 con una diferencia significativa de hasta 0,66g con respecto al producto de menor peso C1. Para el caso de la categoría media y baja se observó que en ambos casos los productos de la marca A (productos A2 y A3) tienen los menores pesos de dicha zona con diferencias

significativas de 0,71g y 1,61g con respecto a los productos B2 y C3, pertenecientes a sus mismas categorías. En esta oportunidad se observó la tendencia en casi todos los casos que a mayor categoría se tiene un mayor peso de la zona 6, con excepción para los productos de la marca C donde C3 siendo de la categoría baja tiene un mayor peso en su zona 6 que C1 el cual es un producto de categoría alta.

En la zona 7, se tiene que los productos de la marca A no tienen diferencias significativas entre sí, mientras que los productos de la marca B diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. En el caso de la comparación entre diferentes marcas se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas con B1 y C3, mientras que el producto A2 tiene diferencias con todos los productos de las otras marcas. Por su parte el producto A3 tiene diferencias significativas con casi todos los demás productos (B1, B2 y C3) excepto con C1 a pesar de pertenecer a categorías distintas. Por su parte el producto B1 tiene diferencias significativas con C1 a pesar de pertenecer a la misma categoría, mientras que B2 tiene diferencias significativas con C3. En general se pudo observar que los productos de la marca A son quienes poseen los pesos más bajos en todas las categorías, en comparación a las otras dos marcas, con diferencias de hasta 1 g para la categoría alta, 0,85 g para la categoría media, y 1,28 g para la categoría baja.

Finalmente en la octava y última zona del centro absorbente, se tiene que los productos A1 y A2 no tienen diferencias significativas entre sí, pero ambos tienen diferencias significativas con respecto al producto A3. Por otro lado los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos, al contrario de lo observado para los productos de la marca C los cuales no tienen diferencias significativas entre sí. En esta zona se observó la tendencia en las diferentes marcas de que a mayor categoría mayor peso tiene la misma. Para esta zona se observó en las tres categorías que los

productos de la marca A tienen los menores pesos, con diferencias significativas en los tres casos, siendo en el caso de la categoría alta de 2,25g con respecto al de mayor peso que fue el B1, en el caso de la categoría media de 0,92g con respecto al producto B2 y en el caso de la categoría baja de 1,29g con respecto a C3.

En general para todos los productos se pudo observar que las zonas de la parte trasera del pañal, excepto la zona 8, son las que reflejan los menores pesos, mientras que las zonas de la parte frontal del pañal reflejan en casi todos los casos los mayores pesos. Seguidamente se procedió a especificar para cada zona los pesos de los componentes previamente descritos (sección 1.3), para conocer la proporción de cada uno en lo que respecta al peso total de la zona. Como se explicó en la sección 4.2.4.1, se dividió el pañal por zona y luego se separó cada zona en sus cuatro componentes: el chasis, la capa de adquisición-distribución, la pulpa de celulosa y el polímero superabsorbente. Los primeros dos componentes se pesaron directamente obteniendo los pesos mostrados en las tablas 5 y 6.

Peso total y por zonas del chasis [g]								
Marcas		A			B		C	
Productos		A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
<b>Peso chasis</b>		11,67±0,03	10,60±0,14	9,85± 0,06	11,19±0,21	9,59±0,07	11,46±0,12	9,06±0,24
<b>Zonas</b>	<b>1</b>	2,05 ± 0,04 AB	1,86 ± 0,06 C	1,94 ± 0,01 BC	2,00 ± 0,11 B	1,80 ± 0,07 C	2,15 ± 0,12 A	1,65 ± 0,03 D
	<b>2</b>	1,11 ± 0,04 A	0,95 ± 0,02 BC	0,96 ± 0,01 ABC	0,88 ± 0,05 CD	0,81 ± 0,05 DE	0,98 ± 0,15 AB	0,75 ± 0,02 E
	<b>3</b>	1,07 ± 0,02 A	0,89 ± 0,01 B	0,90 ± 0,02 B	0,79 ± 0,04 C	0,74 ± 0,03 D	0,89 ± 0,02 B	0,74 ± 0,03 D
	<b>4</b>	1,09 ± 0,02 A	0,90 ± 0,02 B	0,89 ± 0,01 B	0,79 ± 0,04 C	0,74 ± 0,01 D	0,92 ± 0,02 B	0,73 ± 0,01 D
	<b>5</b>	1,00 ± 0,02 A	0,88 ± 0,01 C	0,87 ± 0,01 C	0,79 ± 0,03 D	0,72 ± 0,02 E	0,92 ± 0,01 B	0,73 ± 0,02 E
	<b>6</b>	1,05 ± 0,02 A	0,89 ± 0,03 B	0,88 ± 0,01 B	0,78 ± 0,03 C	0,73 ± 0,02 D	0,90 ± 0,04 B	0,76 ± 0,03 CD
	<b>7</b>	1,06 ± 0,04 A	0,93 ± 0,02 B	0,95 ± 0,02 B	0,76 ± 0,02 D	0,71 ± 0,02 E	0,89 ± 0,03 C	0,73 ± 0,02 E
	<b>8</b>	3,23 ± 0,06 C	3,29 ± 0,06 C	2,46 ± 0,04 E	4,40 ± 0,08 A	3,32 ± 0,06 C	3,81 ± 0,04 B	2,97 ± 0,15 D

Significancia al 90% (Tukey)

Tabla 5. Peso total y seccionado del chasis.

Para el análisis del chasis total en cada pañal se observó a través de los valores obtenidos que es el producto A1 quien posee el mayor peso del chasis, con diferencias entre 0,21 g y 2,61 g con respecto al resto de los productos, siendo el producto C3 el de menor peso. Comparando los pesos en función de las categorías, se observó que a

mayor categoría mayor es el peso del chasis en todas las marcas, mientras que al comparar entre productos de la misma categoría se observó en todos los casos que los productos de la marca A son quienes tienen los mayores pesos en sus chasis.

Estableciendo una comparación más específica del chasis zona por zona, se tiene que nuevamente las zonas 1 y 8 del chasis poseen mayor peso, lo que previamente se justificó con el hecho de que en estas dos zonas es donde se encuentran los componentes del pañal que permiten el ajuste del mismo, incrementando su peso.

Para la zona 1 se observó que A1 y A2 tienen diferencias significativas entre sí, al igual que B1 con B2 y C1 con C3. Por otro lado comparando entre diferentes marcas se observó que A1 tiene diferencias significativas con B2 y C3, los cuales por su parte también tienen diferencias significativas entre ellos, lo que se puede atribuir a la diferencia entre sus categorías. Por su parte A2 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas excepto con B2, perteneciente a su misma categoría. Por otro lado A3 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C. En lo que respecta al resto de los productos, B1, B2, C1 y C3, se tiene que todos tienen diferencias significativas entre ellos. Se tiene que los mayores pesos del chasis en la zona 1 los tienen los productos de la categoría alta, siendo C1 el de mayor peso. Se pudo observar que en esta zona a mayor categoría el producto tiene mayor peso del chasis en casi todas las marcas, excepto en la marca A donde el producto A3 tiene un mayor peso de su chasis que el producto A2, aunque los valores son cercanos y no tienen diferencias significativas entre ellos, a pesar de pertenecer a categorías diferentes. Para la categoría alta, C1 tiene mayor peso de su chasis con hasta 0,15 g de diferencia. Para la categoría media, los valores de A2 y B2 tienen una diferencia no significativa de 0,06 g respectivamente, con el mayor valor para el de la marca A. Para

la categoría baja, el producto de la marca A (A3) tiene el mayor peso del chasis en esta zona, con una diferencia significativa de 0,29g con respecto a C3.

En la zona 2 se tiene que para la marca A los únicos productos que tienen diferencias significativas son A1 y A2. Por su parte los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre ellos a pesar de pertenecer a diferentes categorías, mientras que se observó lo contrario en los productos de la marca c, los cuales si tienen diferencias significativas entre ellos. Haciendo la comparación entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con casi todos los demás productos de las otras dos marcas, excepto con C1, ambos de la misma categoría. Por su parte los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas tanto con B2 como con C3. Por otro lado el producto B1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que el producto B2 tiene diferencias significativas con C1. Para casi todas las marcas analizadas se observó una tendencia en la que a medida que disminuye la categoría del producto también disminuye el peso del chasis en la zona 2, con la excepción del caso nuevamente de los productos A2 y A3, donde A3 es mayor, sin embargo los pesos son tan cercanos entre sí que no tienen diferencias significativas entre ellos, por lo que no representa una diferencia marcada en la tendencia. En el caso de la categoría alta, el producto A1 tiene un mayor peso del chasis en esta zona, con una diferencia de entre 0,13 g y 0,23 g con respecto a los otros dos productos de esta categoría (C1 y B1 respectivamente). En el caso de la categoría media también se observa que es la marca A (producto A2) quien tiene un mayor peso del chasis en la zona 2 que la marca B (producto B2), con una diferencia significativa de 0,14 g. Igualmente en los productos de la categoría baja se observó que la marca A (producto A3) es quien tiene mayor peso del chasis en la zona 2, con una diferencia de 0,21 g con respecto a la marca C (producto C3).

Para el chasis en la zona 3 se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su parte los productos de la marca B muestran diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. Comparando entre marcas se observó que el producto A1 tiene diferencias significativas con todos los productos de las otras dos marcas, mientras los productos A2 y A3 muestran diferencias con casi todos excepto con C1. Por su parte el producto B1 muestra diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que el producto B2 muestra diferencias con el producto C1. Se observa la tendencia que a mayor categoría mayor peso del chasis tiene el producto en esta zona. Nuevamente se observa la excepción en los productos A2 y A3, donde la menor categoría tiene más peso, pero la diferencia no es significativa. Al comparar productos de la misma categoría se observó que en todos los casos los productos tienen diferencias significativas entre sí a pesar de pertenecer a la misma categoría. En el caso de la categoría alta el producto A1 tiene el mayor peso del chasis de la zona, con una diferencia de 0,18 g con respecto a C1 y de 0,28 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media nuevamente la marca A (producto A2) tiene mayor peso del chasis en la zona con una diferencia significativa de 0,15 g con respecto a la marca B (producto B2). Finalmente para la categoría baja el producto A3 tiene mayor peso del chasis en esta zona, con una diferencia significativa de 0,16 g con respecto al producto C3.

En cuanto al peso del chasis en la zona 4 se tiene que nuevamente el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su parte los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. Comparando entre marcas el producto A1 tiene diferencias significativas con los demás productos de las otras dos marcas, mientras los productos A2 y A3 muestran diferencias significativas con casi todos excepto con C1. Por su lado el producto B1

tiene diferencias significativas con los dos productos de la marca, mientras que B2 tiene diferencias significativas con C1. Se observó igualmente el comportamiento en el que a mayor categoría sea el producto mayor peso del chasis tiene en esta zona. Al comparar por categorías se observó que en todos los casos los productos tienen diferencias significativas entre sí a pesar de pertenecer a la misma categoría. Para la categoría alta el producto A1 tiene mayor peso en su chasis con diferencias significativas de 0,17 g con respecto a C1 y de 0,30 g con respecto a B1. Para la categoría media igualmente el producto de la marca A, producto A2 tiene mayor peso del chasis en la zona con una diferencia significativa de 0,16 g con respecto al producto B2. Por otra parte para la categoría baja el producto A3 tiene mayor peso del chasis en esta zona, con una diferencia significativa de 0,16 g con respecto al producto C3. En general se pudo observar que el comportamiento de las zonas 3 y 4 son muy similares entre sí.

En la zona 5 se pudo observar que el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. De igual forma los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. Todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con los demás productos de las otras dos marcas, mientras que por su parte el producto B1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, a diferencia del producto B2 el cual tiene diferencia solo con C1. Nuevamente se tiene la tendencia que a mayor categoría es mayor el peso del chasis en esta zona. Comparando por categorías se observó que para todos los casos los productos tenían diferencias significativas entre ellos. En el caso de la categoría alta el mayor peso lo tiene el producto A1 con diferencias significativas de 0,08 g con respecto a C1 y de 0,21 g con respecto a B1. En cuanto a la categoría media el producto A2 tiene el mayor valor con una diferencia significativa de 0,16 g con respecto al producto B2. Y finalmente en la categoría baja el producto A3 tiene mayor peso del chasis con una



diferencia significativa de 0,14 g con respecto al producto C3. En este caso también se observó un comportamiento similar entre los productos como el observado en las zonas 3 y 4.

Para la zona 6 se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, mientras que por el contrario estos dos no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su parte los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. Comparando entre marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con todos los demás productos de las otras dos marcas, mientras que los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con casi todos excepto con C1. Los productos B1 y B2 muestran también diferencias significativas con casi todos los demás productos excepto con C3, a pesar de pertenecer a diferentes categorías. En este caso también se observó que a mayor categoría mayor peso tiene el chasis en esta zona. Al hacer la comparación por categorías se observó que en todos los casos los productos tienen diferencias significativas entre sí a pesar de pertenecer a la misma categoría. En lo que refiere a la categoría alta el producto A1 tiene el mayor peso con diferencias significativas de 0,15 g con respecto a C1 y de 0,27 g con respecto a B1. Por otro lado en la categoría media el producto A2 tiene el mayor peso con una diferencia significativa de 0,16 g con respecto al producto B2, mientras que por su parte en la categoría baja el producto A3 tiene el mayor valor con una diferencia significativa de 0,12 g con respecto al producto C3.

Analizando la zona 7 se observó un comportamiento similar al de las zonas 3, 4 y 5 donde el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre sí. Mientras que los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la

marca C. Comparando entre diferentes marcas se tiene que todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con todos los demás productos de las otras dos marcas. El producto B1 por su parte tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que B2 tiene diferencias significativas con C1. En este caso al igual que en los anteriores se observa que a mayor categoría es mayor el peso del chasis, en la mayoría de los casos, excepto entre los productos A2 y A3, donde el producto de menor categoría tiene un mayor valor, el cual no impacta la tendencia ya que no es significativamente diferente. Estableciendo la comparación de las categorías se tiene que en todos los casos los productos de una misma categoría tienen diferencias significativas entre ellos. Para las 3 categorías se tiene que el mayor valor en peso los tienen los productos de la marca A, en el caso de la categoría alta se tienen diferencias significativas de A1 de 0,17 g con respecto a C1 y de 0,30 g con respecto a B1, por su parte en el caso de la categoría media la diferencia significativa es de 0,22 g con respecto al producto B2, y finalmente en el caso de la categoría baja la diferencia significativa es de 0,22 g con respecto al producto C3.

Finalmente para la zona 8 se observó que el producto A1 y A2 no tienen diferencias significativas entre sí, pero ambos tienen diferencias con respecto a A3. Por su parte los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre ellos al igual que los productos de la marca C. Haciendo la comparación entre diferentes marcas se tiene que los productos A1 y A2 tienen diferencias significativas con casi todos los demás productos de las otras dos marcas, excepto con B2. Mientras que por otro lado los productos A3, B1, B2, C1 y C3 tienen diferencias significativas todos entre ellos. Para casi todas las marcas analizadas se observó que a medida que disminuye la categoría del producto también disminuye el peso del chasis, excepto para los productos A1 y A", donde el de menor categoría tiene mayor peso, sin embargo no es relevante su impacto considerando la cercanía de los valores los cuales no tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando los productos por categoría se tiene que para la

categoría alta, el producto de mayor peso es B1, con diferencias significativas de 0,59 g con respecto a C1 y de 1,17 g con respecto a A1. En el caso de la categoría media también se observa que es la marca B (producto B2) quien tiene un mayor peso del chasis, con una diferencia no significativa de 0,03 g con respecto a A2. Por su parte en los productos de la categoría baja se observó que la marca C (producto C3) es quien tiene mayor peso del chasis en la zona, con una diferencia significativa de 0,51 g con respecto a la marca A (producto A3).

Mediante estas medidas se pudo observar que para la mayoría de las zonas los productos A1 y C1 representan los mayores valores en peso del chasis, excepto en la zona 8 donde el producto de la marca B (B1) tiene el mayor valor. Mediante esta observación se puede entonces concluir que son los productos de mayor categoría los que en la mayoría de los casos, por no decir en todos, poseen un mayor peso del chasis en todas sus zonas.

Una vez concluido el análisis del peso del chasis del pañal en los diferentes productos se procede al análisis de la capa de adquisición-distribución, con los valores mostrados a continuación (ver tabla 6):

Peso total y por zonas de la capa de adq-dist. [g]								
Marcas	A			B		C		
Productos	A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)	
<b>Peso capa de adq. y dist.</b>	3,66 ± 0,14	3,82 ± 0,25	2,95 ± 0,04	0,97 ± 0,08	0,95 ± 0,06	0,94 ± 0,08	0,93 ± 0,07	
<b>Zonas</b>	<b>1</b>	0,46 ± 0,08 A	0,38 ± 0,06 B	0,30 ± 0,01 C	NA	NA	NA	NA
	<b>2</b>	0,84 ± 0,14 A	0,80 ± 0,08 A	0,67 ± 0,02 B	0,18 ± 0,01 C	0,19 ± 0,02 C	0,17 ± 0,2 C	0,10 ± 0,02 C
	<b>3</b>	0,80 ± 0,07 A	0,82 ± 0,08 A	0,57 ± 0,02 B	0,21 ± 0,03 C	0,22 ± 0,02 C	0,21 ± 0,02 C	0,20 ± 0,02 C
	<b>4</b>	0,88 ± 0,05 A	0,77 ± 0,10 B	0,68 ± 0,06 B	0,22 ± 0,02 C	0,21 ± 0,02 C	0,21 ± 0,03 C	0,21 ± 0,02 C
	<b>5</b>	0,68 ± 0,04 B	0,79 ± 0,05 A	0,72 ± 0,01 B	0,21 ± 0,02 C	0,22 ± 0,02 C	0,21 ± 0,02 C	0,21 ± 0,02 C
	<b>6</b>	NA	0,25 ± 0,06 A	NA	0,15 ± 0,02 B	0,12 ± 0,02 B	0,14 ± 0,02 B	0,21 ± 0,02 A
	<b>7</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,10 ± 0,01 A
	<b>8</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Significancia al 90% (Tukey)

Tabla 6. Peso total y seccionado de la capa de adquisición-distribución.

Inicialmente se pudo observar claramente que no todos los productos tienen capa de absorción y distribución en las mismas zonas, es decir, que dichas capas cubren diferentes longitudes del centro absorbente de los productos, sean o no de la misma marca. Para la marca A, los productos A1 y A3 tienen una capa de adquisición-

distribución que cubre desde la zona 1 hasta la zona 5 del centro absorbente, mientras que en el producto A2 la capa cubre desde la zona 1 hasta la zona 6. Por su parte ambos productos de la marca B tienen una capa de adquisición-distribución que cubre desde la zona 2 hasta la zona 6. Finalmente los productos de la marca C muestran diferencias ya que el producto C1 tiene una capa de adquisición-distribución que cubre desde la zona 2 hasta la zona 6, mientras que el producto C3 tiene una capa que cubre desde la zona 2 hasta la zona 7. De esta manera se pudo observar que no importa a que marca o a que categoría pertenezcan los productos, sus capas de adquisición y distribución cubren un distinto número de zonas del centro absorbente.

Analizando la capa de adquisición-distribución total por productos se tiene que todos los productos de la marca A mostraron una diferencia evidente de sus pesos con respecto a los productos de las otras dos marcas. Esto se justifica con el hecho de que la capa de adquisición y distribución de esta marca posee la particularidad de tener por la parte superior una capa de pulpa de celulosa tratada, que permite un mejor desempeño en términos de absorción para sus centros absorbentes, lo que hace evidente el incremento del peso. Es importante tomar en cuenta que se tiene previsto que la unión de esta pulpa de celulosa a la capa de adquisición-distribución sea comparable con el doble de las capas de los productos de las otras dos marcas, mas sin embargo los pesos de las capas de los productos A1, A2 y A3 son más de 3 veces el peso de las otras marcas, incluso para los productos de una misma categoría. Teniendo esto en cuenta se pudo entonces comparar los productos de una misma categoría. En el caso de la categoría alta se tiene que el producto A1 tiene una diferencia de 2,69 g con respecto a B1 y 2,72 g con respecto a C1. En el caso de la categoría media la diferencia de A2 con respecto a B2 es de 2,90 g, mientras que en el caso de la categoría baja la diferencia de A3 con respecto a C3 es de 2,02. Se puede ver que los pesos de las capas de los productos de las marcas B y C no son muy diferentes entre sí. Incluso para la marca A se puede observar que a pesar que el

producto A1 pertenece a una mayor categoría que el producto A2, este último tiene una capa que cubre una mayor cantidad de zonas, y por ende es más pesada.

Comparando los productos por zonas se tiene que inicialmente para la zona 1, solamente los productos de la marca A poseen capa de adquisición-distribución. La comparación se hizo entonces entre A1, A2 y A3, observándose que hay diferencias significativas entre los pesos de las capas, siendo mayor a medida que mejora la categoría del producto. Las diferencias del producto de mayor categoría son de 0,08 g con respecto al de categoría media (A2) y de 0,16 g con respecto al de categoría baja (A3).

Para la zona 2 se tiene que los productos A1 y A2 no tienen diferencias significativas entre sí, pero ambos tienen diferencias significativas con respecto a A3. Por su parte los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con respecto a los demás productos de las otras marcas, mientras que los productos de la marca B y C no tienen diferencias significativas entre sí. Comparando entre categorías se tiene que el producto A1 tiene diferencias de 0,66 g y 0,67 g con B1 y C1 respectivamente. Por su parte los productos A2 y B2 tienen una diferencia de 0,61g, mientras A3 y C3 tienen una diferencia de 0,57 g.

Para la zona 3 se tiene un comportamiento bastante similar al observado en la zona 2, donde los productos A1 y A2 no tienen diferencias significativas entre sí, pero ambos tienen diferencias significativas con respecto a A3, y los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con respecto a los

demás productos de las otras marcas, mientras que los productos de la marca B y C no tienen diferencias significativas entre sí. En este caso comparando entre categorías se tiene que el producto A1 tiene diferencias de 0,59 g con respecto a B1 y C1, mientras que los productos A2 y B2 tienen una diferencia de 0,60 g, y por su parte A3 y C3 tienen una diferencia de 0,37 g.

Para la zona 4 se pudo observar que el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Mientras que los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Todos los productos de la marca A tienen diferencias significativas con respecto a los demás productos de las otras dos marcas, mientras que los productos de la marca B y C no tienen diferencias significativas entre sí. Haciendo la comparación entre categorías se tiene que el producto A1 tiene diferencias de 0,66 g y 0,67 g con B1 y C1 respectivamente, mientras que los productos A2 y B2 tienen una diferencia de 0,56g, y por su parte A3 tiene una diferencia con C3 de 0,47 g.

En lo que respecta a la zona 5 se tiene que los productos A1 y A3 no tienen diferencias significativas entre sí, a pesar de pertenecer a categorías muy diferentes, mientras que ambos productos tienen diferencias significativas con respecto a A2. Por su parte los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Los productos de la marca A tienen diferencias significativas con respecto a los demás productos de las otras dos marcas, mientras que los productos de la marca B y C no tienen diferencias significativas entre sí. Comparando por categoría se tiene que el producto A1 tiene diferencias de 0,47 g con respecto a B1 y C1, mientras que los productos A2 y B2 tienen una diferencia de 0,57g, y por su parte A3 tiene una diferencia con C3 de 0,51 g.

Analizando la zona 6 se pudo observar que los productos A1 y A3 no tienen capa de adquisición-distribución en estas zonas, mientras que A2 tiene el mayor peso de la capa en esta zona. Por su parte los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí, mientras que los productos de la marca C sí tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando entre marcas se tiene que A2 tiene diferencias significativas con casi todos los productos de las otras marcas, excepto con C3, a pesar de pertenecer a diferentes categorías. Por su parte B1, B2 y C1, no tienen diferencias significativas entre ellos, mientras que todos tienen diferencias significativas con C3. Haciendo la comparación por categorías se tiene que los productos de categoría alta B1 y C1 tienen una diferencia de 0,01 g, mientras que los productos de categoría media A2 y B2 tienen una diferencia de 0,13 g. El producto C3 es el único en su categoría que tiene capa de adquisición-distribución.

En el caso de la zona 7 únicamente el producto C3 es quien tiene capa de adquisición-distribución en esta zona, por ende no tiene comparación con ningún otro producto.

Finalmente en el caso de la zona 8 ninguno de los productos analizados tiene en esta zona capa de adquisición-distribución.

En general, al analizar la capa de absorción y distribución se observó un comportamiento muy similar entre los productos de las marcas B y C, donde las zonas cubiertas por la capa son prácticamente las mismas, y los pesos de la capa en las diferentes zonas no tienen diferencias significativas entre sí, en la mayoría de los casos, ya que sus valores son muy cercanos.



Continuando con el análisis de diseño del pañal, se procedió a analizar el principal componente del centro absorbente que es el polímero superabsorbente (PSA). Los valores obtenidos del peso del PSA en cada zona para todas las marcas se reflejan a continuación en la siguiente tabla (ver tabla 7).

Peso total y por zonas del PSA [g]								
Marcas		A			B		C	
Productos		A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
Peso PSA		12,49±0,12	10,48±0,27	9,17 ± 0,07	10,41±0,45	9,27 ± 0,13	9,76 ± 0,18	6,43 ± 0,09
Zonas	1	1,82 ± 0,04 A	1,25 ± 0,15 C	1,38 ± 0,06 BC	1,53 ± 0,06 B	1,35 ± 0,08 C	1,22 ± 0,10 C	0,78 ± 0,02 D
	2	1,72 ± 0,19 A	1,60 ± 0,32 A	1,37 ± 0,05 AB	1,49 ± 0,14 A	1,26 ± 0,04 B	1,49 ± 0,06 A	0,80 ± 0,02 C
	3	1,50 ± 0,05 B	1,78 ± 0,18 A	1,10 ± 0,06 D	1,36 ± 0,09 BC	1,29 ± 0,06 C	1,48 ± 0,03 B	0,82 ± 0,04 E
	4	2,19 ± 0,07 A	1,72 ± 0,12 B	1,33 ± 0,09 D	1,35 ± 0,08 D	1,25 ± 0,06 D	1,50 ± 0,04 C	0,79 ± 0,09 E
	5	1,91 ± 0,01 A	1,51 ± 0,24 B	1,47 ± 0,19 B	1,24 ± 0,06 C	1,09 ± 0,06 C	1,46 ± 0,07 B	0,85 ± 0,04 D
	6	1,18 ± 0,09 A	0,98 ± 0,40 AB	0,79 ± 0,05 B	1,06 ± 0,07 AB	0,95 ± 0,05 AB	0,86 ± 0,05 AB	0,81 ± 0,04 B
	7	0,91 ± 0,05 BC	0,76 ± 0,14 C	0,75 ± 0,04 C	1,20 ± 0,05 A	1,05 ± 0,07 B	0,86 ± 0,06 C	0,81 ± 0,04 C
	8	1,26 ± 0,03 A	0,87 ± 0,12 CD	0,97 ± 0,02 BC	1,19 ± 0,06 A	1,03 ± 0,06 B	0,89 ± 0,04 C	0,79 ± 0,05 D

Significancia al 90% (Tukey)

Tabla 7. Peso total y seccionado del PSA.

Analizando el polímero superabsorbente (PSA) total (ver gráfico 1) se tiene que el de mayor cantidad de PSA entre todos los productos es A1. Para todas las marcas se pudo observar que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el centro absorbente. Para todas las categorías los productos de la marca A tienen las mayores cantidades de PSA. En el caso de la categoría alta el producto A1 tiene diferencias entre 2,08 g y 2,73 g con respecto a B1 y C1. En el caso de la categoría media el producto A2 tiene 1,21 g de diferencia con respecto a B2. Finalmente en la categoría baja el producto A3 tiene una diferencia de 2,74 g con respecto a C3.



**Gráfico 1. Cantidad total de PSA por producto.**

Analizando la cantidad de polímero superabsorbente por zonas, se tiene que para la zona 1 el producto A1 tiene diferencias significativas con respecto a A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su parte los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Comparando entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con respecto a todos los productos de las otras marcas,

incluyendo a los de su misma categoría, mientras que el producto A2 tiene diferencias significativas con B1 y C3. Por su parte el producto A3 tiene diferencias significativas con C3. El producto B1 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C, mientras que el producto B2 tiene diferencias significativas con C3. Haciendo la comparación entre categorías se tiene que para la categoría alta los tres productos tienen diferencias significativas entre sí, siendo el de mayor valor A1 con diferencias de 0,29 g y 0,60 g con B1 y C1 respectivamente. En el caso de la categoría media, el mayor valor lo tiene el producto B2 con una diferencia no significativa de 0,10 g. Para la categoría baja, el mayor valor lo tiene el producto A3 con una diferencia significativa entre los productos de 0,60 g. En casi todos los casos se puede observar mayor cantidad de PSA en la zona a mejor categoría, excepto para los productos A2 y A3, donde a pesar de ser mayor el de menor categoría, la diferencia no es significativa.

En el caso de la zona 2 se tiene que ninguno de los tres productos de la marca A tienen diferencias significativas entre sí, mientras que por su parte los productos de la marca B si muestran diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de la marca C. Comparando entre marcas se tiene que los productos A1 y A2 tienen diferencias significativas con B2 y C3. Por su parte el producto A3 tiene diferencias significativas únicamente con C3, a pesar de pertenecer a la misma categoría. El producto B1 tiene diferencias con C3, mientras que B2 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C. Comparando entre productos de la misma categoría se tiene que para la categoría alta ninguno de los tres productos tienen diferencias significativas entre ellos, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto A1 con una diferencia de 0,23 g con respecto a ambos productos, B1 y C1, los cuales tienen la misma cantidad de PSA en esta zona. Por su parte para la categoría media se tiene que ambos productos pertenecientes a esta categoría tienen diferencias significativas entre ellos, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto A2 con una diferencia de 0,34 g con respecto a B2. En el caso de la categoría baja se tiene que, al

igual que en la categoría media, los productos tienen diferencias significativas entre sí, siendo mayor la cantidad de PSA del producto A3 con una diferencia de 0,57 g con respecto a C3. En las 3 categorías se pudo observar que los productos de la marca A son los que tienen una mayor cantidad de PSA con respecto a los productos de las otras dos marcas. Para las tres marcas analizadas se pudo observar la tendencia en esta zona, que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto.

En el caso de la zona 3 se pudo observar que los tres productos de la marca A tienen diferencias significativas entre ellos, mientras que por lo contrario los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre sí. Por su parte en el caso de los productos de la marca C, ambos presentaron diferencias significativas entre sí. Para las tres marcas se observa igualmente la tendencia en esta zona, que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto. Comparando entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con B2 y C3, mientras que por su parte los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con los demás productos de las otras dos marcas. El producto B1 tiene diferencias significativas con C3, mientras que el producto B2 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C. Haciendo la comparación por categorías se tiene que para la categoría alta ninguno de los tres productos tiene diferencias significativas entre ellos, siendo mayor la cantidad de PSA del producto A1, con diferencias de 0,14 g con respecto a B1 y de 0,02 g con respecto a C1. Para el caso de la categoría media se tiene que ambos productos tienen diferencias significativas, a pesar de pertenecer a una misma categoría, siendo mayor la cantidad de PSA presente en el producto A2 con una diferencia de 0,49 g con respecto a la del producto B2. En el caso de la categoría baja, también se observó una diferencia significativa entre ambos productos, siendo mayor la cantidad de PSA del producto A3 con una diferencia de 0,28 g con respecto al producto C3. En todas las categorías se observó que es la marca A quien tiene los productos con la mayor cantidad de PSA en esta zona.

Analizando la zona 4 se tiene que los productos de la marca tienen diferencias significativas entre ellos, mientras que por el contrario los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre ellos. Y por su lado, al igual que la marca A, los productos de marca C también tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando productos de diferentes marcas se tiene que los productos A1 y A2 tienen diferencias significativas con todos los demás productos de las otras dos marcas, mientras que por su parte el producto A3 no tiene diferencias significativas con ningún producto de la marca B, pero sí tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca C. De igual manera se observa que ambos productos de la marca B tienen diferencias significativas con los dos productos de la marca C. Analizando los productos por categorías se tiene que para todas las categorías, los productos tienen diferencias significativas entre ellos. En el caso de la categoría alta el producto con mayor cantidad de PSA es el producto A1 el cual tiene diferencias significativas de 0,84 g con respecto a B1 y de 0,69 g con respecto a C1. Por su parte para la categoría media se tiene que la mayor cantidad de PSA la tiene el producto A2 con una diferencia significativa de 0,47 g con respecto a B2. Por su parte en la categoría baja se observó que la mayor cantidad de PSA la tiene el producto A3 con una diferencia significativa de 0,54 g con respecto a C3. En todas las categorías se observó nuevamente que los productos de la marca A predominan en cuanto a la cantidad de PSA presente en esta zona. Para este caso se observó de nuevo la tendencia que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto, para todas las marcas.

Para la zona 5 se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Los productos de la marca B, por su parte, no tienen diferencias significativas entre ellos, contrario a lo que se observa con los productos de la marca C, los cuales sí tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando entre las diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con todos los demás productos de las otras

dos marcas, mientras que por su parte los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con casi todos los demás productos de las otras marcas, excepto con C1, a pesar de pertenecer todos a diferentes categorías. Por su parte ambos productos de la marca B (B1 y B2) tienen diferencias significativas con los dos productos de la marca C. Analizando las categorías se tiene que para todas las categorías, los productos tienen diferencias significativas entre ellos. En el caso de la categoría alta el producto con mayor cantidad de PSA es el producto A1 el cual tiene diferencias significativas de 0,67 g con respecto a B1 y de 0,45 g con respecto a C1. Por su parte para la categoría media se tiene que la mayor cantidad de PSA la tiene el producto A2 con una diferencia significativa de 0,42 g con respecto a B2. Por su parte en la categoría baja se observó que la mayor cantidad de PSA la tiene el producto A3 con una diferencia significativa de 0,62 g con respecto a C3. Nuevamente, al igual que para la zona anterior, se observó que para todas las categorías, los productos de la marca A predominan en cuanto a la cantidad de PSA presente en esta zona. Igualmente se observó de nuevo la tendencia que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto, para las tres marcas analizadas.

En la zona 6, el producto A2 no tiene diferencias significativas ni con A1 ni con A3, pero por su parte estos últimos dos productos si tienen diferencias significativas entre ellos. Los productos de la marca B no tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que los productos de marca C. Comparando entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con C3 únicamente, mientras que los productos A2, A3, B1, B2, C1 y C3 no tienen diferencias significativas entre ellos. Comparando entre productos de iguales categorías se tiene que los productos de la categoría alta no tienen diferencias significativas entre ellos, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto A1 con una diferencia de 0,12 g con respecto a B1 y de 0,32 g con respecto a C1. Por su parte para la categoría media se tiene que ambos productos no tienen diferencias significativas entre ellos, siendo el de mayor cantidad

de PSA el producto A2 con una pequeña diferencia de 0,03 g con respecto a B2. En el caso de la última categoría, la baja, se tiene que los productos no tienen diferencias significativas entre ellos, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto C3 con una diferencia de 0,02 g con respecto a A3. Nuevamente se pudo observar la tendencia que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto, para todas las marcas analizadas.

Para la penúltima zona, la 7, se tiene que los productos de la marca A no tienen diferencias significativas entre sí, mientras que por el contrario los productos de la marca B sí tienen diferencias significativas entre ellos. En el caso de los productos de la marca C, los mismos no tienen diferencias significativas entre sí. Comparando entre diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas únicamente con B1, a pesar de pertenecer a una misma categoría. Mientras que por su parte los productos A2 y A3 tienen diferencias significativas con los dos productos de la marca B, pero con ninguno de los productos de la marca C. Los productos de la marca B tienen diferencias significativas con ambos productos de la marca C. Haciendo el análisis de productos por categorías, se tiene que para la categoría alta el producto A1 tiene una diferencia significativa de 0,29 g con respecto a B1, y una diferencia no significativa de 0,05 g con respecto a C1, siendo en este caso el producto de mayor cantidad de PSA B1 y el de menor cantidad C1. Por su parte para la categoría media se tiene que ambos productos tienen diferencias significativas entre sí, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto B2 con una diferencia de 0,29 g con respecto a A2. Por su parte en la categoría baja se observó que los productos no tienen diferencias significativas entre sí, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto C3 con una diferencia de 0,06 g con respecto a A3. Nuevamente se mantuvo la tendencia que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto, para todas las marcas.

Para la última zona, la 8, se observó que en el caso de la marca A, el producto A1 tiene diferencias significativas con A2 y A3, los cuales por su parte no tienen diferencias significativas entre ellos. Por su parte los productos de la marca B tienen diferencias significativas entre sí, al igual que los productos de la marca C. Comparando los productos de diferentes marcas se tiene que el producto A1 tiene diferencias significativas con casi todos los demás productos de las otras dos marcas, excepto con B1, el cual pertenece a su misma categoría. Mientras que por su parte el producto A2 tiene diferencias significativas con ambos productos de la marca B, pero con ninguno de los productos de la marca C. Por otro lado, el producto A3, tiene diferencias significativas con B1 y con C3. Con respecto a la marca B, ambos productos de esta marca tienen diferencias significativas con los productos de la marca C. Analizando por categorías se tiene que para la categoría alta los productos A1 y B1 no tienen diferencias significativas entre sí, pero ambos tienen diferencias significativas con respecto a C1. En esta categoría, el producto con mayor cantidad de PSA es A1 el cual tiene diferencias de 0,07 g con respecto a B1 y de 0,37 g con respecto a C1. Por su parte para la categoría media se tiene que ambos productos tienen diferencias significativas entre sí, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto B2 con una diferencia de 0,16 g con respecto a A2. Por su parte en la categoría baja ambos productos también tienen diferencias significativas entre sí, siendo el de mayor cantidad de PSA el producto A3 con una diferencia de 0,18 g con respecto a C3.

En general se pudo observar que los productos de la marca A en la mayoría de las zonas posee la mayor cantidad de polímero superabsorbente, comparando con los productos de las otras dos marcas según su categoría. También se observó en la mayoría de las zonas, la tendencia que a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el producto.



Una vez obtenidos los valores en peso de cada uno de los componentes del pañal, se pudo calcular por diferencias, la cantidad de pulpa de celulosa que tiene cada una de las zonas del pañal, para los siete productos analizados.

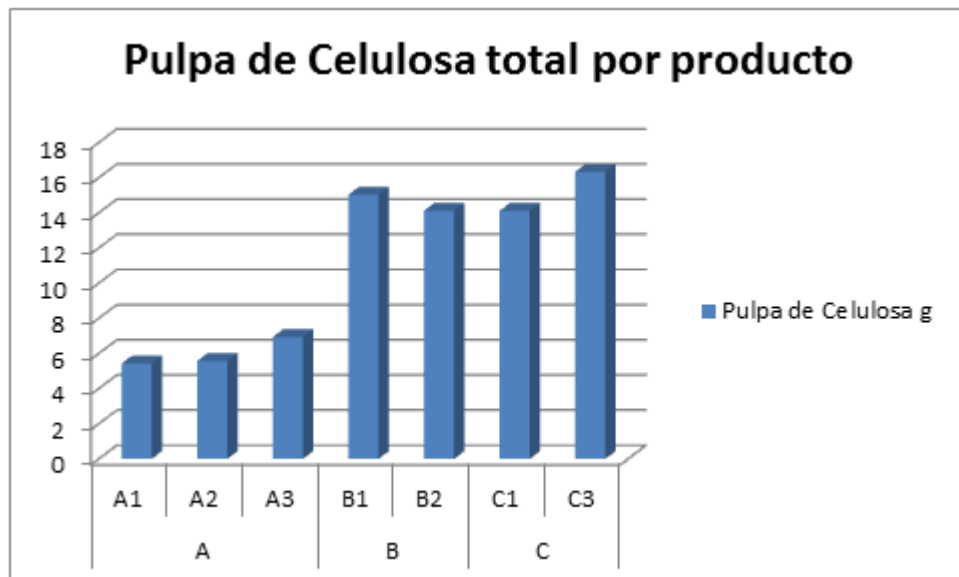
En la tabla mostrada a continuación (ver tabla 8) se exponen estos pesos del componente secundario del centro absorbente de los pañales desechables, es decir, la pulpa de celulosa. En este caso, por ser valores calculados y no tomados directamente de la muestra, no se pueden determinar diferencias significativas a través del método Tukey, previamente empleado, ya que el mismo sólo permite establecer estas diferencias para medidas directamente obtenidas de la muestra durante el análisis (dimensiones, pesos, etc.).

Peso total y por zonas de la pulpa de celulosa [g]								
Marcas		A			B		C	
Productos		A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
<b>Peso pulpa</b>		5,40 ± 0,53	5,59 ± 0,61	6,93 ± 1,03	15,03±0,69	14,11±0,90	14,12±0,73	16,33±0,61
<b>Zonas</b>	<b>1</b>	0,65 ± 0,04	0,66 ± 0,18	0,89 ± 0,03	1,90 ± 0,29	1,83 ± 0,22	1,65 ± 0,32	2,08 ± 0,33
	<b>2</b>	0,81 ± 0,19	0,93 ± 0,43	0,96 ± 0,58	2,13 ± 0,37	2,04 ± 0,26	2,29 ± 0,37	2,03 ± 0,18
	<b>3</b>	0,84 ± 0,21	0,83 ± 0,34	0,96 ± 0,56	2,00 ± 0,29	1,98 ± 0,08	2,15 ± 0,19	2,08 ± 0,14
	<b>4</b>	0,23 ± 0,03	0,58 ± 0,32	0,87 ± 0,54	2,03 ± 0,28	1,85 ± 0,28	2,36 ± 0,22	2,01 ± 0,19
	<b>5</b>	0,84 ± 0,40	0,63 ± 0,35	1,05 ± 0,39	1,83 ± 0,23	1,94 ± 0,22	2,13 ± 0,19	2,12 ± 0,18
	<b>6</b>	0,86 ± 0,35	0,51 ± 0,20	0,58 ± 0,19	1,73 ± 0,24	1,54 ± 0,18	1,17 ± 0,14	2,08 ± 0,26
	<b>7</b>	0,73 ± 0,16	0,69 ± 0,27	0,80 ± 0,12	1,73 ± 0,13	1,47 ± 0,16	1,30 ± 0,55	2,14 ± 0,17
	<b>8</b>	0,53 ± 0,15	0,74 ± 0,16	0,82 ± 0,05	1,68 ± 0,23	1,47 ± 0,12	1,06 ± 0,17	1,79 ± 0,50

**Tabla 8. Peso total y seccionado de la pulpa de celulosa.**

Inicialmente se tiene que es muy evidente la diferencia marcada de la cantidad de pulpa de celulosa en los productos de la marca A en comparación a los productos de las marcas B y C (ver gráfico 2). En el caso de la pulpa total del centro absorbente del pañal se tiene que los valores obtenidos para las marcas B y C son incluso mayores al doble de los obtenidos para la marca A. Se observó que para la marca A, a mejor

categoría menor es la cantidad de pulpa de celulosa que tiene el producto, sin embargo, las diferencias entre los tres productos van entre 1,34 g y 1,53 g. Por su parte en el caso de la marca B, se observa lo contrario, donde aumenta la cantidad de pulpa de celulosa a mejor categoría, con diferencias de 0,92 g en promedio, entre sus productos. Finalmente en el caso de la marca C, se mantuvo el mismo comportamiento que para la marca A, donde las diferencias en promedio son 2,21 g. Comparando por categorías se tiene que para los productos de la categoría alta, quien tiene mayor cantidad de pulpa de celulosa es B1, con una diferencia de 9,63 g con respecto a A1 y de 0,91 g con respecto a C1. En el caso de la categoría media quien tiene mayor cantidad de pulpa de celulosa es B2 con una diferencia de 8,52 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 9,40 g con respecto a A3. En general el producto A1 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C3 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos.



**Gráfico 2. Cantidad total de pulpa de celulosa por producto.**

Analizando la zona 1 se tiene el mismo comportamiento que para la pulpa total de los productos, donde para las marcas A y C a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa. Igualmente en este caso, los valores de las marcas B y C superan el doble de las cantidades de los productos A. Para la categoría alta se tiene que es B1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 1,25 g con respecto a A1 y de 0,25 g con respecto a C1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,17 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,19 g con respecto a A3. Nuevamente el producto A1 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C3 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos.

La zona 2 tiene como tendencia para la marca A que a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa. Para las marcas B y C por el contrario, la tendencia es que a mejor categoría mayor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Para la categoría alta se tiene que es C1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 1,48 g con respecto a A1 y de 0,16 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,11 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,07 g con respecto a A3. En esta zona el producto A1 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos analizados.

En la zona 3 también se tiene la tendencia para la marca A que a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa, a pesar que los valores de A1 y A2 no lo demuestren, sin embargo son tan cercanos entre sí, que no modifican el comportamiento. Para las marcas B y C por el contrario, a mejor categoría mayor

cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Para la categoría alta se tiene que es C1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 1,31 g con respecto a A1 y de 0,15 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,15 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,12 g con respecto a A3. En este caso el producto A2 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre los siete productos analizados.

Para la zona 4 nuevamente se tienen las tendencias que para la marca A, a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa, mientras que para las marcas B y C, por el contrario, a mejor categoría mayor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Para la categoría alta se tiene que es C1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 2,13 g con respecto a A1 y de 0,33 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,27 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,14 g con respecto a A3. En esta zona el producto A1 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, comparando entre todos los productos.

La zona 5 no tiene la tendencia de las zonas anteriores para la marca A, ya que en este caso el producto de categoría alta tiene mayor cantidad de pulpa de celulosa que el producto de la categoría media. En el caso de las marcas B tampoco se observa la misma tendencia de las zonas anteriores, ya que el producto de la categoría media tiene mayor cantidad de pulpa de celulosa que el producto de la categoría alta. Finalmente en el caso de la marca C sí se observa la tendencia vista en zonas anteriores donde a mejor categoría mayor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona.

Para la categoría alta se tiene que es C1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 1,29 g con respecto a A1 y de 0,30 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,31 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,07 g con respecto a A3. En esta zona el producto A2 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos.

Para la zona 6 se tiene nuevamente el mismo comportamiento que en la zona 5, ya que en este caso la categoría alta en ambas marcas es quien tiene mayor cantidad de pulpa de celulosa. Por lo contrario a lo observado en las otras zonas, se tiene que para la marca C, a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Para la categoría alta se tiene que es B1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 0,87 g con respecto a A1 y de 0,56 g con respecto a C1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 1,03 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,50 g con respecto a A3. En esta zona el producto A2 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y B1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos analizados.

En la penúltima zona, la 7, se tiene a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona, a pesar que en el caso de los productos A1 y A2, no se muestre la tendencia. Para la marca C se muestra el mismo comportamiento, ya que el producto de la categoría alta tiene menor cantidad de pulpa que el de categoría baja. Por el contrario, para la marca B se tiene que a mejor categoría mayor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Comparando entre productos de las mismas categorías se tiene que para la categoría alta es B1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona,

con diferencias de 1,00 g con respecto a A1 y de 0,43 g con respecto a C1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 0,78 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 1,34 g con respecto a A3. En esta zona el producto A2 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos.

Finalmente para la zona 8 se tiene la tendencia para los productos de las marcas A y C que a mejor categoría menor cantidad de pulpa de celulosa. Para la marca B por el contrario, a mejor categoría mayor cantidad de pulpa de celulosa tiene la zona. Para la categoría alta se tiene que es C1 el producto con mayor cantidad de pulpa en la zona, con diferencias de 1,15 g con respecto a A1 y de 0,62 g con respecto a B1. En el caso de la categoría media se tiene que el producto con mayor cantidad de celulosa es B2 con una diferencia de 0,73 g con respecto a A2, mientras que para la categoría baja el de mayor cantidad es C3 con una diferencia de 0,97 g con respecto a A3. En esta zona el producto A1 fue quien tuvo menor cantidad de pulpa de celulosa y C1 quien tuvo la mayor cantidad de pulpa de celulosa, entre todos los productos analizados.

En lo que respecta a los valores mostrados en la tabla anterior, se pudo apreciar que contrario a lo observado con la mayoría de los otros componentes analizados, en este caso la cantidad de pulpa de celulosa tiene evidentemente valores más elevados para los productos de las marcas B y C en comparación con los productos de la marca A, teniendo valores incluso mayores al doble del peso de la pulpa de celulosa existente para una misma zona.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las cantidades de pulpa de celulosa y de polímero superabsorbente (PSA) por zona en cada uno de los centros absorbentes de los productos analizados (ver tabla 9).

Porcentaje total y por zonas de los componentes del centro absorbente [%]															
Marcas		A						B				C			
Productos		A1 (n=3)		A2 (n=9)		A3 (n=3)		B1 (n=9)		B2 (n=9)		C1 (n=9)		C3 (n=6)	
% Componente		PSA	Pulpa	PSA	Pulpa	PSA	Pulpa	PSA	Pulpa	PSA	Pulpa	PSA	Pulpa	PSA	Pulpa
% Total		70	30	65	35	57	43	41	59	40	60	41	59	28	72
Zonas	1	74	26	66	34	61	39	45	55	42	58	42	58	27	73
	2	68	32	63	37	59	41	41	59	38	62	39	61	28	72
	3	64	36	68	32	54	46	40	60	39	61	41	59	28	72
	4	93	07	75	25	60	40	40	60	40	60	39	61	28	72
	5	70	30	71	29	58	42	40	60	36	64	41	59	29	71
	6	58	42	66	34	58	42	38	62	38	62	42	58	28	72
	7	56	44	52	48	48	52	41	59	42	58	40	60	27	73
	8	70	30	54	46	54	46	42	58	41	59	46	54	31	69

Tabla 9. Porcentaje total y seccionado de los componentes del centro absorbente.

A partir de estos datos (ver tabla 9) se pudo estudiar de manera independiente el núcleo o centro absorbente de los pañales desechables analizados. Se muestra en ella los porcentajes ocupados de cada uno de los dos componentes del centro absorbente (pulpa de celulosa y polímero superabsorbente) dentro del mismo, para cada una de las marcas analizadas, por zonas y en total.



Analizando el porcentaje total de cada componente en cada marca se tiene que a mejor categoría mayor es el porcentaje de PSA que tiene el centro absorbente para todos los productos, lo que hace que la proporción de la pulpa de celulosa sea la opuesta. De igual manera se observa que el porcentaje de PSA en los productos de la marca A supera el 57% de ocupación, mientras que para las marcas B y C no superan el 41%, por lo que se pudo concluir que los productos de la marca A tienen evidentemente un mayor porcentaje de PSA que de pulpa de celulosa, en todos sus productos, mientras que los productos de las otras dos marcas muestran una tendencia inversa. De igual manera se observó una mayor caída en el porcentaje de PSA entre las categorías de los productos de la marca C, en comparación con las categorías de los productos de la marca A. Se observó que los productos B1, B2 y C1 tienen una proporción muy similar de los componentes de sus centros absorbentes, mientras que el producto C3 muestra una proporción evidentemente diferente frente al resto de los productos. Se observó que las diferencias en porcentajes de ambos compuestos del centro absorbente entre diferentes categorías se encuentran entre el 1% y el 13% para todas las marcas.

Analizando por zonas se tiene que para todos los casos en general, el porcentaje de ocupación del PSA en los productos de la marca A supera el 52%, mientras que para los productos de las otras dos marcas no pasa de 46%. En el caso de la pulpa de celulosa en la marca A, el porcentaje no ocupa más de 39%, mientras que en las otras dos marcas no baja de un 55%. En el producto A1 se observó que las zonas 1 y 4 son las que tienen la mayor cantidad de PSA, siendo la zona 4 la de mayor valor, seguidas por las zonas 5 y 8. Las zonas traseras (6 y 7) son las que tienen menor porcentaje de PSA, incluso menor que las zonas delanteras (2 y 3), esto se debe a que en la zona delantera es donde se encuentra el punto directo de descarga de orina en el pañal, por lo que son los primeros en absorber la misma. En cuanto a las zonas 1 y 8 son las que reciben la mayor cantidad de fluido en caso del bebé estar acostado boca arriba o boca abajo. En el caso del producto A2 las zonas 3, 4 y 5 son las que tienen mayor

porcentaje de PSA, seguidamente se encuentran las zonas 1, 2 y 6, las cuales tienen porcentajes cercanos a las zonas de mayor PSA, mientras que las zonas 7 y 8 son las que muestran el menor porcentaje de PSA en todo el núcleo. Esta proporción indica una diferencia marcada en su construcción, en comparación con el producto A1, donde en este caso se le dio una mayor importancia al punto de descarga y sus zonas adyacentes en términos de la proporción del PSA. En el caso del producto A3 la tendencia de los porcentajes tiene similitudes con ambos productos previamente analizados. En este caso las zonas 1 y 4 son las que tienen la mayor cantidad de PSA (al igual que A1), siendo bastante similar el porcentaje en ambas zonas. Luego vienen las zonas 2, 5 y 6 las cuales tienen un mayor porcentaje de PSA que las zonas traseras 7 y 8 (al igual que A2). Esto sugiere un enfoque mayor en la absorción en el punto de descarga, pero al mismo tiempo enfocándola en uno de los extremos del centro absorbente.

En el caso de los productos de la marca B, empezando por el B1 se tiene que las zonas de ambos extremos del centro absorbente (1, 2, 7 y 8) son las de mayor porcentaje de PSA, mientras que las otras zonas (3, 4, 5 y 6) tienen un porcentaje de PSA igual y/o similar entre ellas. Sin embargo las diferencias de porcentaje entre las mismas no son tan evidentes como las observadas entre las zonas de los productos de la marca A. Lo mismo se pudo observar entre los porcentajes de PSA de las zonas del producto B2, donde las zonas 1, 7 y 8 son las que tuvieron el mayor porcentaje de PSA en este centro absorbente, mientras que las zonas 3 y 4 muestran los segundos valores más altos de PSA, lo que demuestra un mayor enfoque a nivel de diseño en las zonas de descarga. Por su parte las zonas restantes (2, 5 y 6) tienen los menores porcentajes de PSA del centro absorbente, sin embargo como se mencionó previamente, los valores no son tan diferentes entre sí con respecto a las otras zonas.

En lo que respecta a la marca C se repite el comportamiento previamente observado en los productos de la marca B en cuanto a las diferencias entre los porcentajes de PSA en las diferentes zonas del centro absorbente, donde dichas diferencias no son tan evidentes como las observadas en los productos de la marca A, ya que los valores son muy cercanos entre sí. Para el producto C1 se tiene que la zona 8 es la que tiene el mayor porcentaje de PSA del centro absorbente, seguido por las zonas 1, 3, 5 y 6, las cuales tienen valores muy cercanos entre sí, y finalmente se encuentran las zonas 2, 4 y 7 con el menor porcentaje de PSA en el centro absorbente. Para el producto C3 se observa al igual que con C1, que la zona 8 es la que tiene el mayor porcentaje de PSA, seguida por las zonas 2, 3, 4, 5 y 6 con porcentajes muy similares entre sí, y por último las zonas 1 y 7 son las que muestran los menores porcentajes de PSA, con valores igualmente muy cercanos al resto de las zonas.

En general se pudo observar a simple vista la diferencia en diseño y construcción de los diferentes centros absorbentes analizados, la cual viene dada por las proporciones de ambos componentes del núcleo, ya que los de la marca A poseen un mayor porcentaje de PSA que de pulpa de celulosa, mientras que los productos de las marcas B y C se encuentran conformados de manera opuesta. Además de esto la diferencia más importante radica en los porcentajes de PSA entre las diferentes zonas de cada centro absorbente, ya que mediante estos valores se puede determinar el tipo de centro absorbente que se está analizando (sección 1.5), es decir si es un centro absorbente con una repartición del PSA uniforme a lo largo del mismo (centro plano) o si es un centro absorbente con una repartición del PSA diferente a lo largo de las zonas del pañal (centro perfilado). En este caso se pudo observar que las diferencias entre las zonas para el producto A1 van desde un 4% hasta un 18%, mientras que para el producto A2 van desde un 4% hasta un 23%, y para el producto A3 van desde 1% hasta 13%. Por su parte las diferencias entre los porcentajes de PSA para el producto B1 van desde 3% hasta 7%, mientras que para el producto B2 van desde 1% hasta 6%.

Finalmente en el caso de los productos de la marca C se tiene que las diferencias entre las zonas de C1 van desde 4% hasta 7%, mientras que para C3 van desde 2% hasta 4%. Como se pudo observar a través de las diferencias entre las zonas en los productos de la marca B y C no superan el 7%, lo que sugiere que estos centros absorbentes tienen un diseño muy similar a los centros planos, a diferencia de los centros de los productos de la marca A, los cuales tienen diferencias marcadas entre sus zonas, lo que apunta a que estos centros absorbentes tienen la estructura de los centros perfilados. En pocas palabras, es muy importante a nivel de diseño conocer los tipos de centros absorbentes con los que se está trabajando, de manera de poder establecer una correlación entre el desempeño del centro y su distribución, lo que se busca establecer más adelante en esta investigación.

A continuación se muestra de manera gráfica la distribución del polímero superabsorbente a lo largo del centro absorbente para cada marca analizada, de manera de comprobar visualmente los tipos de distribución de cada centro absorbente. Se puede observar que los productos de la marca A (ver gráfico 3,4 y 5) poseen una variación más amplia entre los valores de polímero superabsorbente, que la variación en los productos de las otras dos marcas (ver gráficos 6,7,8 y 9), donde los valores se asemejan más entre las diferentes zonas.

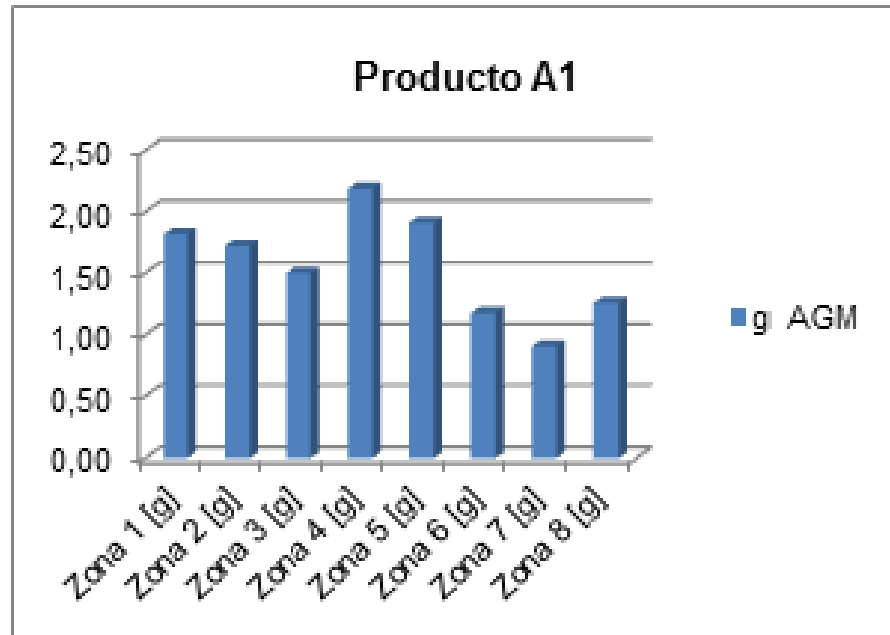


Gráfico 3. Distribución de PSA en A1.

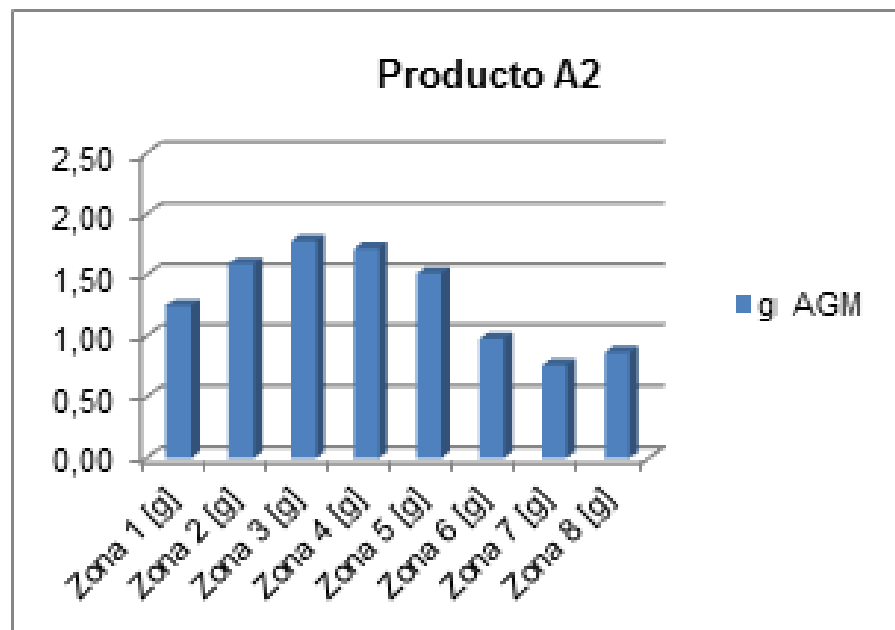


Gráfico 4. Distribución de PSA en A2.

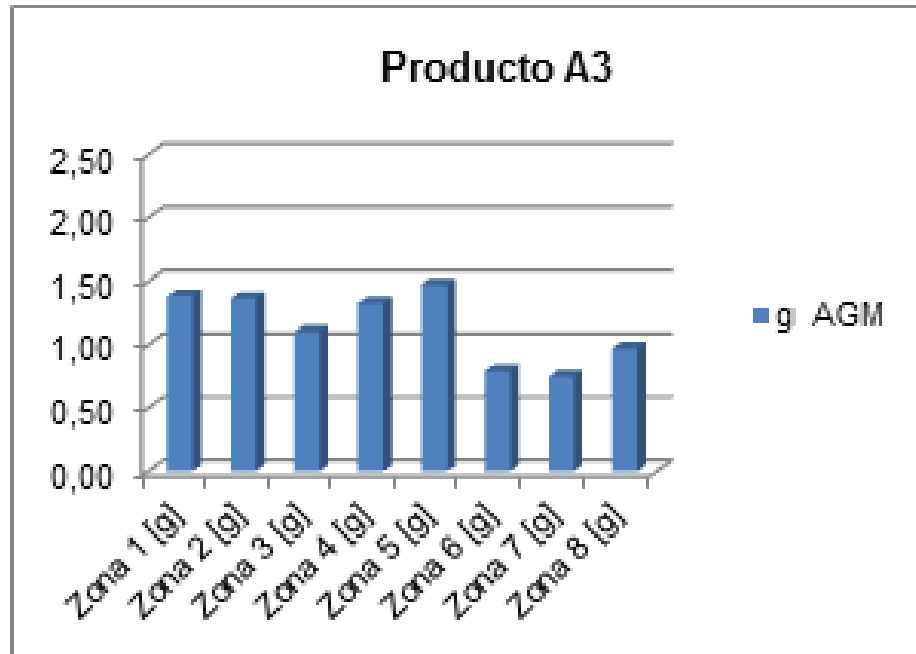


Gráfico 5. Distribución de PSA en A3.

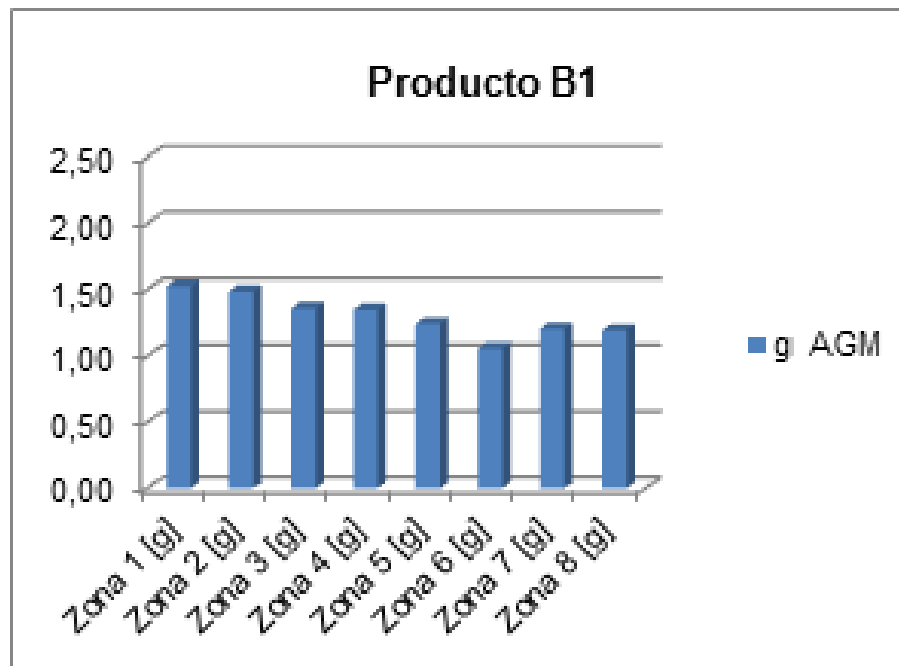


Gráfico 6. Distribución del PSA en B1.

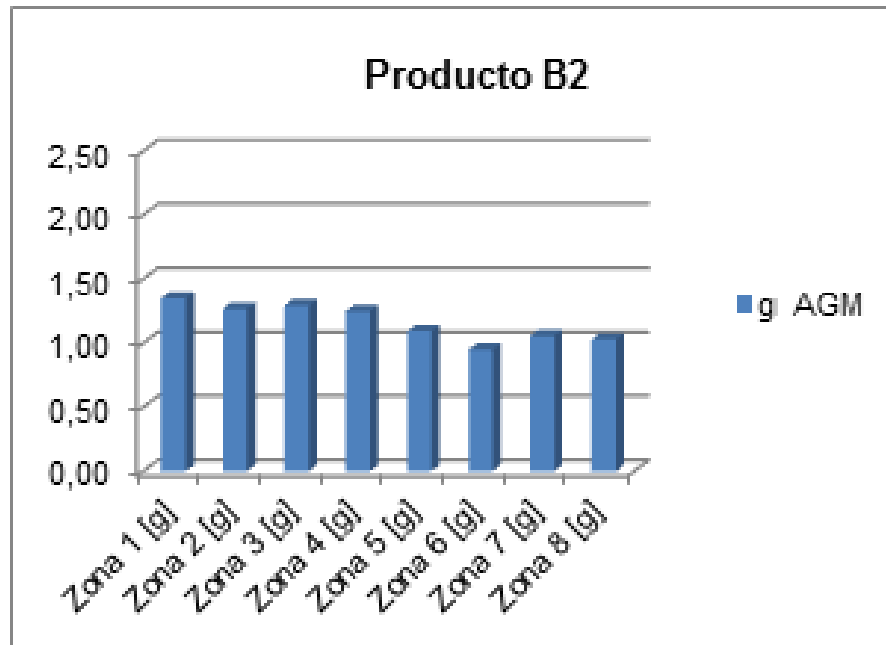


Gráfico 7. Distribución de PSA en B2.

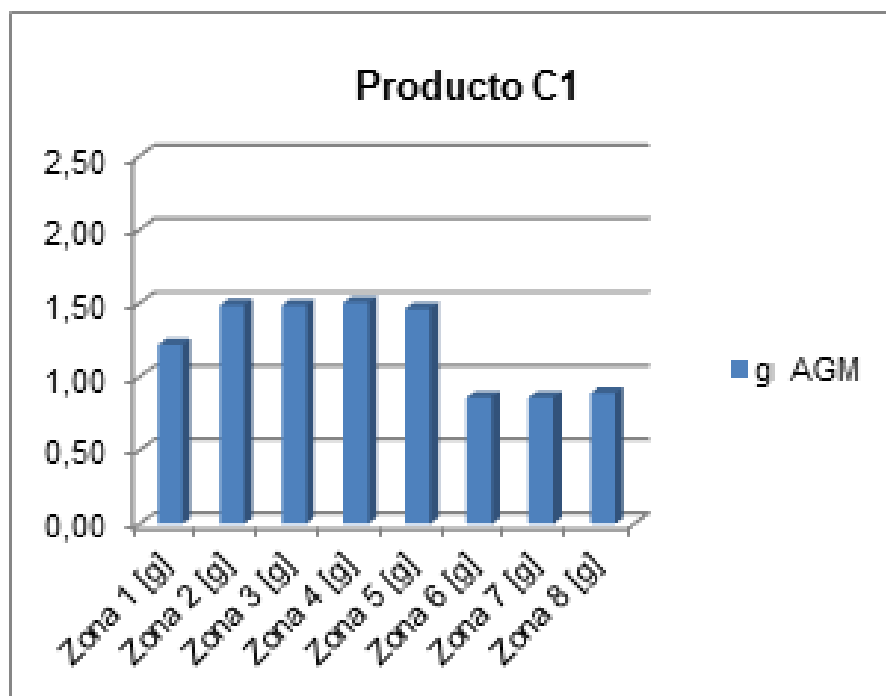
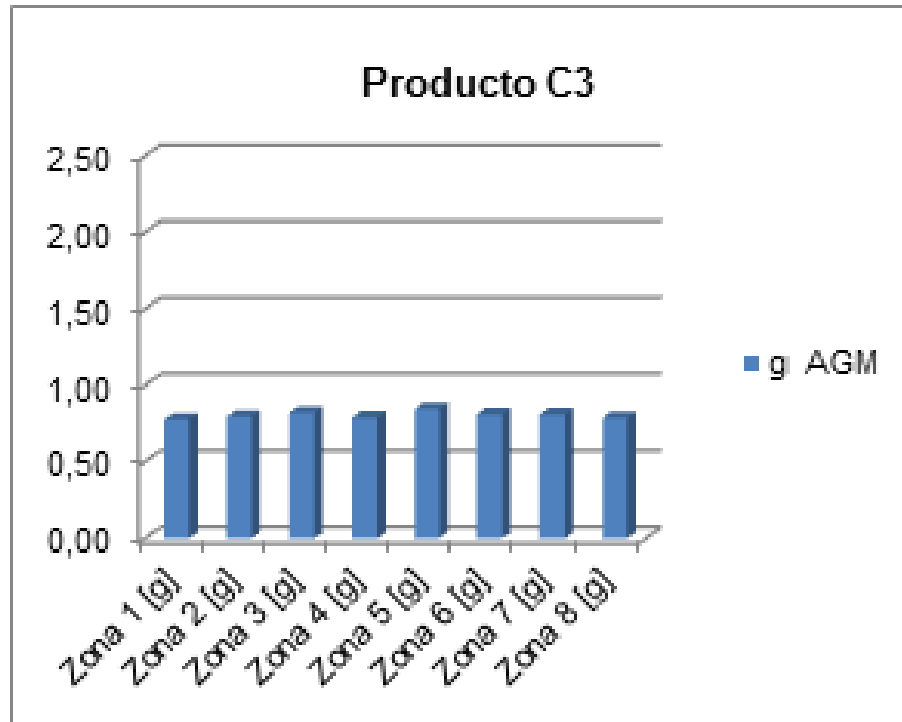


Gráfico 8. Distribución de PSA en C1.



**Gráfico 9. Distribución de PSA en C3.**

Una vez obtenidos todos los valores que determinan la composición de los centros absorbentes en cada producto analizado, se pudo alcanzar uno de los objetivos de este estudio el cual es el establecimiento de la relación entre los dos únicos componentes del centro absorbente de los pañales: el polímero superabsorbente y la pulpa de celulosa. Los valores de cada uno de los productos examinados se reflejan en la siguiente tabla (ver tabla 10), al igual que en los análisis anteriores, por octiles y por marcas. Esta relación se basa en la comparación entre los valores o cantidades de cada componente en la misma zona, y se realizó en este caso hallando cuantas veces contiene uno al otro, es decir, dividiéndolos. Esta es la razón o relación geométrica o por cociente.



Relación Polímero Superabsorbente / Pulpa de celulosa							
Marca	A			B		C	
Producto	A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
Zona 1	2,82	2,00	1,56	0,83	0,74	0,76	0,38
Zona 2	2,23	1,92	1,81	0,72	0,63	0,66	0,39
Zona 3	1,86	2,45	1,43	0,70	0,65	0,70	0,40
Zona 4	9,77	5,04	2,06	0,68	0,69	0,64	0,40
Zona 5	2,80	3,21	1,60	0,69	0,57	0,69	0,40
Zona 6	1,63	2,09	1,46	0,62	0,62	0,74	0,39
Zona 7	1,29	1,19	0,94	0,70	0,73	0,72	0,38
Zona 8	2,54	1,23	1,19	0,72	0,70	0,86	0,48

Tabla 10. Relación PSA/Pulpa de celulosa por zonas.

También se pudo obtener la relación de los dos componentes de los centros absorbentes en total para todo el pañal, las cuales se muestran en la siguiente tabla (ver tabla 11).

Relación total Polímero Superabsorbente/Pulpa de celulosa							
Marca	A			B		C	
Producto	A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
PSA/Pulpa	2,30	1,88	1,32	0,69	0,66	0,69	0,39

Tabla 11. Relación PSA/Pulpa de celulosa total.

A través de estas relaciones se pudo observar que para los productos de la marca A la mayoría de las zonas tiene una relación por encima de 1 (zonas en blanco), mientras que para los productos de las marcas B y C la relación en todas las zonas de sus centros absorbentes se encuentran por debajo de 1 (zonas en verde y amarillo). La excepción en el caso de la única zona de la marca A con una relación PSA/Pulpa por

debajo de 1 es el de la zona 7 del producto A3, la cual tiene un valor de 0,94, el cual no muestra una diferencia relevante o significativa en comparación a las otras zonas de los productos de la marca A, ya que el valor se encuentra muy cerca de 1.

Los valores por encima de 1 para los productos de la marca A, indican a simple vista que la cantidad de polímero superabsorbente en estas zonas es mayor que la cantidad de pulpa de celulosa. En el caso contrario, donde la relación en las zonas de los productos de las marcas B y C es menor a uno, se observa el comportamiento inverso, en el cual la cantidad de pulpa de celulosa es evidentemente mayor que la del polímero superabsorbente. En este caso se puede observar que las zonas de los productos B1, B2 y C1 se encuentran sombreadas en verde ya que los valores de las mismas van desde 0,57 hasta 0,83; es decir las mismas se encuentran por encima de 0,50. En el caso de las zonas del producto C3 sombreadas en amarillo, los valores van desde 0,38 hasta 0,48, es decir las relaciones no exceden de 0,50; lo que evidencia que la diferencia entre los componentes es mucho mayor y por ende más significativa, habiendo una elevada cantidad de pulpa de celulosa en cada zona.

A partir de los valores de la tabla también se pudo observar la tendencia en la mayoría de las zonas, que a menor categoría la relación PSA/Pulpa disminuye, debido al aumento de la cantidad de pulpa y la disminución de la cantidad de PSA previamente demostrada (ver gráficos 1 y 2). De igual manera en la mayoría de los casos en las zonas intermedias (zonas 4 y 5) de los productos de la marca A la relación muestra mayores valores que el resto de las zonas, debido a que en estas zonas aumenta la cantidad de PSA en esta marca. Por último también se pudo observar que en los productos de las marcas B y C las relaciones entre las zonas tienen valores más cercanos entre sí a lo largo del centro absorbente, que los de la marca A, y esto se

debe al tipo de perfil de distribución de estos productos, previamente descritos (sección 1.5).

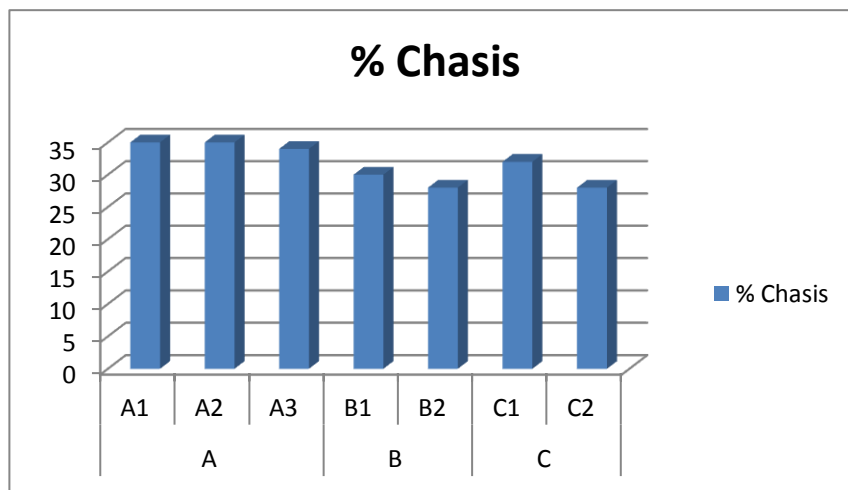
Luego del análisis específico del peso de cada componente del pañal, se presenta a continuación una tabla general (ver tabla 12) donde se muestran los porcentajes ocupados por cada uno de los componentes del pañal en general, para cada marca analizada.

Porcentajes componentes en el pañal [%]								
Marcas		A			B		C	
Productos		A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
Porcentaje [%]								
Componentes	Chasis	35	35	34	30	28	32	28
	Capa Adq. Y Dist.	11	12	10	3	3	3	3
	PSA	38	34	32	28	27	27	20
	Pulpa de celulosa	16	18	24	40	42	39	50

Tabla 12. Porcentaje total de los componentes en el pañal.

Mediante estos valores (ver tabla 12) se pudo conocer el porcentaje que ocupa o abarca cada uno de los componentes del pañal. Iniciando con el chasis se tiene que en general los porcentajes del chasis en el pañal son similares entre todos los productos de todas las marcas, observándose la tendencia que a mejor categoría mayor porcentaje de ocupación tiene el chasis en el peso del pañal completo (ver

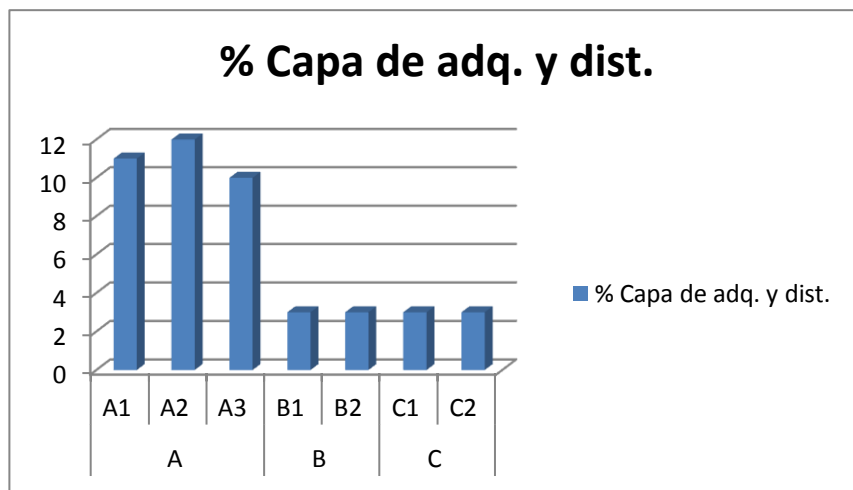
gráfico 10). En el caso de la tres categorías se tiene que los productos de la marca A encabezan cada una de sus categorías por tener los mayores valores, con diferencias de 3% a 5% de A1 con respecto a B1 y C1, de 7% de A2 con respecto a B2 y de 6% de A3 con respecto a C3.



**Gráfico 10. Porcentaje total de ocupación del chasis.**

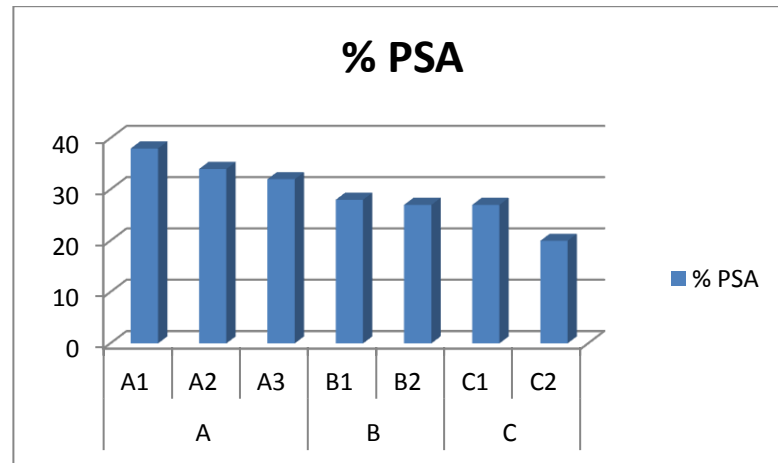
En el caso de la capa de adquisición-distribución se tiene una diferencia muy evidente entre los diferentes productos (ver gráfico 11). Para los productos de la marca A se tiene valores de entre 3 y 4 veces el valor obtenido para los productos de las marcas B y C. Como ya se comentó previamente (sección 5.1.2) las capas de adquisición y distribución de los productos de la marca A tienen una capa adherida de pulpa de celulosa tratada que actúa como una segunda capa de adquisición-distribución, lo cual hace que la misma funcione el doble, sin embargo los porcentajes de ocupación son entre 3 y 4 veces los de los otros productos, en vez de ser el doble, lo que puede indicar que al actuar la pulpa de celulosa más lento que la capa de absorción y distribución, se necesita de una gran cantidad en peso de pulpa de celulosa adherida a la capa, para hacer que funcione al doble de su capacidad. Únicamente en el caso de

la marca A se observa que a menor categoría más pequeño es el porcentaje de ocupación de la capa de adquisición-distribución en el pañal. En el caso de los productos de las marcas B y C, todos tienen el mismo porcentaje de ocupación de esta capa.



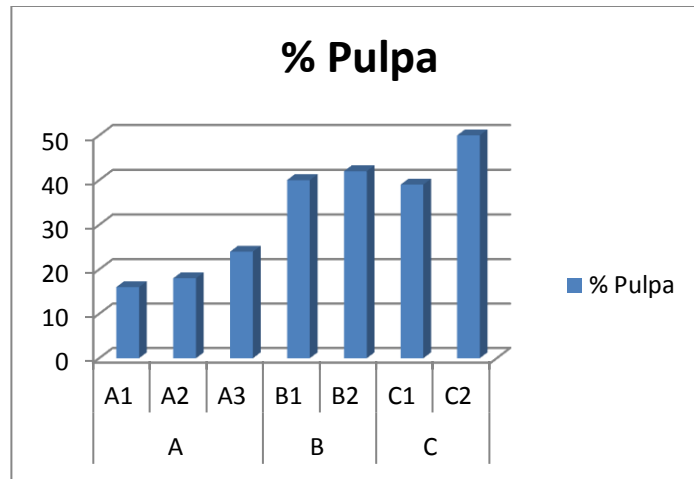
**Gráfico 11. Porcentaje total de ocupación de la capa de adquisición-distribución.**

En el caso del PSA (ver gráfico 12) nuevamente se observa que los productos de la marca A superan en cantidad a los productos de las marcas B y C. Mientras que en la marca A va desde un 32% hasta un 38%, en los productos de las marcas B y C va desde un 20% hasta un 28%. Se observa que para las tres categorías hay una tendencia que a mejor categoría mayor porcentaje de PSA tiene el producto. En el caso de cada una de las categorías analizadas, nuevamente se observó que los productos de la marca A son los de mayor porcentaje para cada una de sus categorías. En el caso de la categoría alta A1 tiene una diferencia de 10% con respecto a B1 y de 11% con respecto a C1. En el caso de la categoría media el producto A2 tiene una diferencia de 7% con respecto a B2, y en el caso de la categoría baja el producto A3 tiene una diferencia de 8% con respecto a C3.



**Gráfico 12. Porcentaje total de ocupación del PSA.**

En el caso de la pulpa de celulosa (ver gráfico 13) se observó que el comportamiento es opuesto al observado en el PSA, ya que en este caso los productos de la marca A tienen los menores porcentajes de pulpa de celulosa en comparación a los productos de las marcas B y C. Mientras que en la marca A va desde un 16% hasta un 24%, en los productos de las marcas B y C va desde un 39% hasta un 50% de ocupación. En este caso a menor categoría mayor es el porcentaje de pulpa de celulosa que tiene el producto. Para cada una de las categorías analizadas se observó que los productos de la marca A son los de menor porcentaje en cada una de sus categorías, ya que en el caso de la categoría alta A1 tiene una diferencia de 24% con respecto a B1 y de 23% con respecto a C1, mientras que en el caso de la categoría media el producto A2 tiene una diferencia de 24% con respecto a B2, y en el caso de la categoría baja el producto A3 tiene una diferencia de 26% con respecto a C3. Se observó que a menor categoría mayor es la diferencia de los productos de la marca A con respecto a las otras dos marcas, esto se debe al diseño de cada empresa al momento de fabricar sus productos, donde de acuerdo a sus estudios y capacidades determinan la forma y proporciones en la construcción de los mismos.



**Gráfico 13. Porcentaje total de ocupación de la pulpa de celulosa.**

Haciendo un análisis más específico de la distribución en porcentaje de cada componente por zonas se tiene la tabla mostrada a continuación (ver tabla 13):

Porcentaje en peso de los componentes del pañal por zona [%]								
Zonas	Marca	A			B		C	
	Producto	A1 (n=3)	A2 (n=9)	A3 (n=3)	B1 (n=9)	B2 (n=9)	C1 (n=9)	C3 (n=6)
Zona 1	Chasis	41	45	43	37	36	43	37
	Capa AyD	9	9	7	NA	NA	NA	NA
	PSA	37	30	30	28	27	24	17
	Pulpa	13	16	20	35	37	33	46
Zona 2	Chasis	25	22	24	19	19	20	20
	Capa AyD	19	19	17	4	4	3	3
	PSA	38	37	35	32	29	30	22
	Pulpa	18	22	24	45	48	47	55
Zona 3	Chasis	25	21	26	18	18	19	19
	Capa AyD	19	19	16	5	5	4	5
	PSA	36	41	31	31	30	31	22
	Pulpa	20	19	27	46	47	46	54
Zona 4	Chasis	25	23	24	18	18	19	20
	Capa AyD	20	19	18	5	5	4	5
	PSA	51	43	35	31	31	30	21
	Pulpa	4	15	23	46	46	47	54
Zona 5	Chasis	23	23	21	19	18	19	19
	Capa AyD	15	21	18	5	5	5	5
	PSA	43	40	36	31	28	31	22
	Pulpa	19	16	25	45	49	45	54
Zona 6	Chasis	34	34	39	21	22	29	20
	Capa AyD	NA	10	NA	4	4	5	5
	PSA	38	37	35	28	28	28	21
	Pulpa	28	19	26	47	46	38	54
Zona 7	Chasis	39	39	38	21	22	29	19
	Capa AyD	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3
	PSA	34	32	30	32	33	28	21
	Pulpa	27	29	32	47	45	43	57
Zona 8	Chasis	64	67	58	61	57	66	54
	Capa AyD	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	PSA	25	18	23	16	18	15	14
	Pulpa	11	15	19	23	25	19	32

**Tabla 13. Porcentaje seccional de los componentes del pañal.**



Mediante estos valores (ver tabla 13) se pudo establecer la distribución de cada uno de los cuatro componentes en los cuales se fraccionó el pañal (chasis, capa de adquisición-distribución, polímero superabsorbente y pulpa de celulosa), de manera de especificar el porcentaje ocupado por cada uno de ellos en cada zona separada y considerada como un 100%.

En general se pudo obtener de los valores de esta tabla, que el comportamiento de los productos de las marcas B y C es muy similar en casi todas las zonas y en todos los componentes, especialmente en el chasis y la capa de adquisición-distribución. Se pudo observar que para todos los productos en las zonas intermedias disminuye el porcentaje del chasis, y que en el caso de la capa de adquisición-distribución aumenta en la zonas intermedias en los productos de la marca A, mientras que permanece muy similar entre las zonas de los productos de la marca B y C, siendo el porcentaje en los productos de la marca A mayor al doble y/o el triple del obtenido en los productos de las otras dos marcas. Nuevamente se evidencia mediante estos porcentajes el aumento de la cantidad de PSA en las zonas intermedias para los productos de la marca A, mientras que permanecen muy similares los porcentajes de PSA en las diferentes zonas de los productos de las marcas B y C. Por su parte se evidencia nuevamente la diferencia significativa entre los porcentajes de pulpa de cada zona siendo mayor en los productos de las marcas B y C, con valores incluso mayores al doble de los obtenidos en la marca A.

El porcentaje del chasis en los productos de la marca A van entre las zonas 2 y 7 en valores por encima del 20% del peso del octil alcanzando un porcentaje de hasta 39%, y entre un 41% y un 67% del peso del octil en las zonas 1 y 8. Por su parte en los productos de las marcas B y C, suelen encontrarse porcentajes más pequeños en comparación con los productos de la marca A, encontrándose entre 18% y 29% para

las zonas de la 2 a la 7, y alcanzando valores entre 36% y 66% para las zonas 1 y 8. Por su parte en lo que se refiere a la capa de adquisición-distribución se puede volver a observar que no cubre las mismas zonas en todos los productos analizados, siendo las más largas las de los productos A2 y C3, ya que cubren más zonas que las capas de los otros productos. En el caso de los productos de la zona A, el porcentaje ocupado en cada zona se encuentra entre un 15% hasta un 21% entre las zonas 2 y 5, mientras que para las zonas 1 y 6 van de un 7% hasta un 10%. Para los productos de las marcas B y C, al ser muy similares los valores se analizan juntos. En este caso los porcentajes ocupados por la capa de adquisición-distribución va de un 3% hasta un 5% en todas las zonas cubiertas.

Por otro lado el porcentaje de PSA en cada una de las zonas de los productos de la marca A superan en casi todos los casos el 30% del peso de la zona, alcanzando hasta un 51%, excepto en la zona 8 donde los porcentajes van de 18% a 25% en estos productos. Por su parte los productos B1, B2 y C1 tienen porcentajes de PSA entre un 24% y un 33% entre sus zonas 1 y 7, y entre un 15% y un 18% para la zona 8. Por último el producto C3 tiene los menores valores de PSA en comparación al resto de los productos analizados, los cuales se encuentran entre un 17% y un 22% para las zonas de la 1 a la 7, y de 14% para la zona 8. Para finalizar el análisis por porcentaje de cada zona, se tiene que la pulpa de celulosa posee un porcentaje en los productos de la marca A que no supera el 32% en peso de todas las zonas, mientras que en los productos B1, B2 y C1 van desde un 33% hasta un 49% en las zonas de la 1 a la 7, y de 19% a 25% en la zona 8. Por su parte el producto C3 posee los mayores valores de pulpa de todos los productos, con valores ubicados entre un 32% y un 57% del peso de cada una de las zonas del centro absorbente.

Continuando con la investigación de este trabajo, se llevó a cabo otra metodología previamente descrita (sección 4.2.6) para el análisis del diseño de la construcción de los centros absorbentes, la cual es la prueba del bromocresol, expuesta a continuación.

### **5.1.3. Análisis de distribución por bromocresol**

Complementando el análisis realizado para conocer la distribución de los dos componentes del centro absorbente, como lo son el polímero superabsorbente y la pulpa de celulosa, se muestran a continuación los resultados obtenidos por marca, de la distribución evidenciada por acción de una solución indicadora de púrpura de bromocresol en el centro absorbente. Al agregar una solución ácida de púrpura de bromocresol (indicador con propiedades ácido-base con viraje de dos colores a pH diferente) sobre el centro absorbente de un pañal, el mismo tiende a colorear los dos componentes en diferentes colores: muestra un color amarillo intenso al entrar en contacto con una zona de pH ácido (en este caso es la pulpa de celulosa) y al mismo tiempo muestra un color púrpura intenso al entrar en contacto con una zona de pH básico (en este caso es el polímero superabsorbente). Dada esta reacción en diferentes medios, al rociarlo sobre el centro absorbente se logran observar aquellas zonas donde predomina la cantidad de pulpa de celulosa (zonas de color amarillo) y aquellas zonas donde predomina el polímero superabsorbente (zonas de color púrpura). Al colocar una cuadrícula transparente de 1cm x 1 cm encima de los centros absorbentes, una vez empleada la solución de púrpura de bromocresol, se logró cuantificar las zonas de la superficie del núcleo que permanecían completamente (o en su mayoría) cubiertas de pulpa de celulosa; y al mismo tiempo se pudo evidenciar visualmente la estructura de cada centro absorbente, según su composición, partiendo de los colores que toma cada componente.

A continuación se muestra la cuantificación de la superficie de los centros absorbentes analizados. Nuevamente se debe mencionar, que los análisis fueron determinados por la cantidad total de celdas de la cuadrícula transparente que tuviesen la superficie parcial (más de la mitad) o totalmente cubierta por pulpa de celulosa, lo que se puede ver fácilmente a través del color amarillo que toma la pulpa de celulosa, el cual contrasta con el color púrpura de las zonas del PSA. Partiendo de esta cantidad vs. las celdas totales que cubren todo el centro absorbente, se puede establecer el porcentaje de superficie cubierto por pulpa de celulosa.

### **MARCA A**

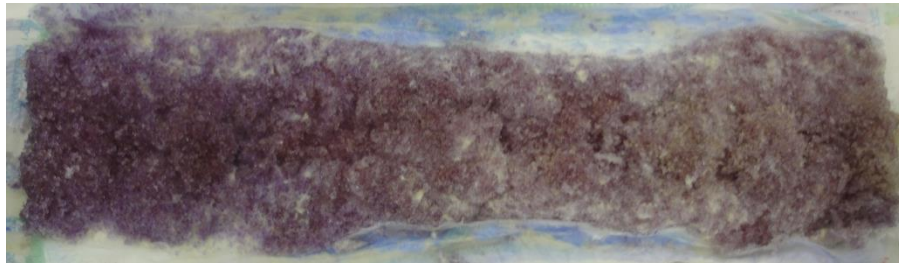
#### **Producto A1**

<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>1,79 %</b>	<b>0,23 %</b>

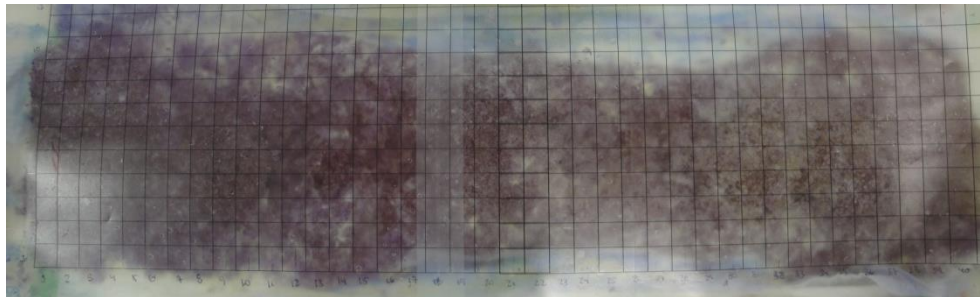
**Tabla 14. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A1.**

Se inicia este análisis con el producto 1 de la marca A, donde se puede observar que debido a la estructura en forma de reloj de arena, se tienen diferentes anchos del pañal, lo que hace un total de cuadros diferente en cada zona. En total son 42 columnas las que cubren el largo total del centro absorbente. Desde la primera columna hasta la columna número 17 existen 11 filas que constituyen el ancho de esta primera zona del pañal, teniendo un total de 187 cuadros de 1cm x 1cm. Seguidamente desde la columna 18 hasta la columna 33 hay 10 filas cubriendo el ancho de esta segunda zona del pañal, obteniéndose un total de 160 cuadros de 1cm x 1cm. Finalmente desde la columna 34 hasta la columna 42 son 11 filas las que cubren el ancho de esta tercera zona, completando un total de 99 cuadros de 1cm x 1cm. En

total son 446 cuadros los que cubren toda la superficie del centro absorbente del pañal, de las cuales solamente 8 celdas se encontraron cubiertas por pulpa de celulosa, lo que se traduce en un 1,79% del total de las celdas. Este porcentaje es muy bajo considerando el total de cuadros que cubren el centro absorbente, lo que se traduce visualmente en un núcleo con una superficie prácticamente púrpura en su totalidad. (ver fig. 29 y 30)



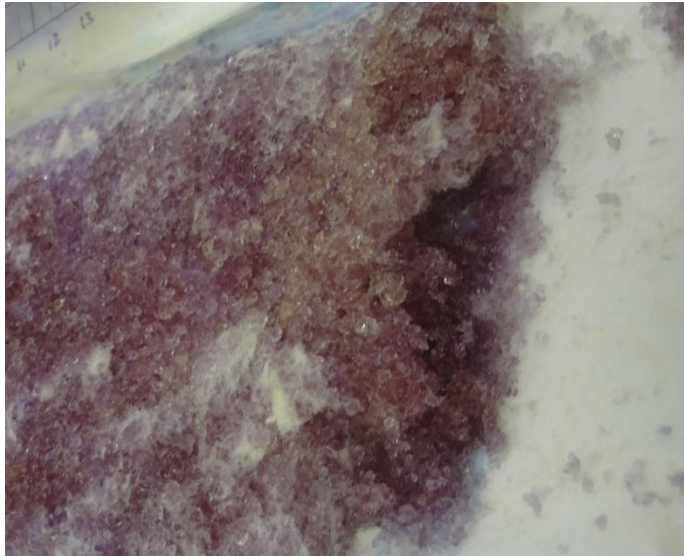
**Fig. 29. Bromocresol en producto A1.**



**Fig. 30. Cuadrícula producto A1.**

En lo que se refiere a la evaluación visual de la construcción del centro absorbente se puede ver en la siguiente imagen (ver fig. 31) de un corte transversal hecho sobre el núcleo, que tanto en la superficie como en el interior del mismo, la composición viene dada por una mezcla entre polímero superabsorbente y pulpa de celulosa, con una

cantidad evidentemente mayor de PSA que de pulpa de celulosa a lo largo del mismo, como lo observado anteriormente en los porcentajes de cada uno de estos componentes.



**Fig. 31. Corte transversal del centro absorbente producto A1**

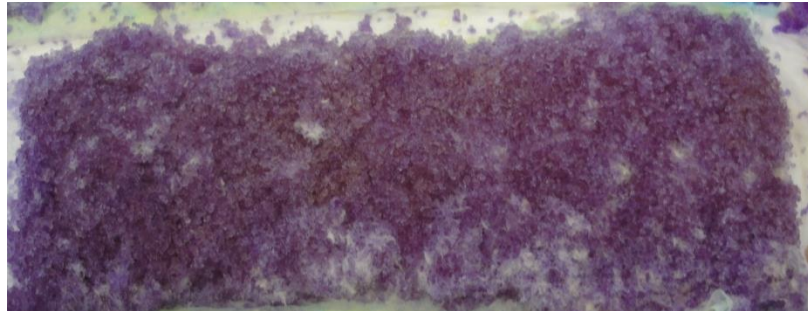
**Producto A2**

<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>1,27 %</b>	<b>0,34 %</b>

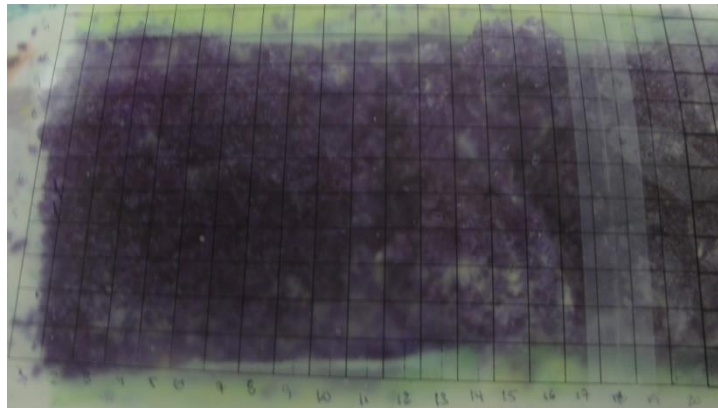
**Tabla 15. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A2.**

Continuando con el análisis de los productos de la marca A, se tiene que el producto A2 posee una estructura muy similar a la del producto A1, en donde la distribución de las celdas que cubren la superficie del centro absorbente es la misma, dando un total

de 446 cuadros de 1cm x 1cm. En este caso se observa que solamente el 1,27% de la superficie del centro absorbente se encuentra totalmente cubierta por pulpa de celulosa, el cual viene dado al ser únicamente 5 los cuadros cubiertos (ver fig. 32 y 33).



**Fig. 32. Bromocresol en producto A2.**



**Fig. 33. Cuadrícula producto A2.**

Visualmente se observa otra vez una similitud con respecto a la construcción del centro absorbente del producto A1, ya que se puede ver en la siguiente imagen (ver fig. 34) de un corte transversal del núcleo, que la composición de la superficie y del interior del mismo viene conformada por una mezcla entre polímero superabsorbente y pulpa de

celulosa, nuevamente observándose una cantidad mayor de PSA que de pulpa de celulosa, lo cual era de esperarse debido a la información obtenida previamente de los porcentajes de ocupación de cada uno de estos componentes.

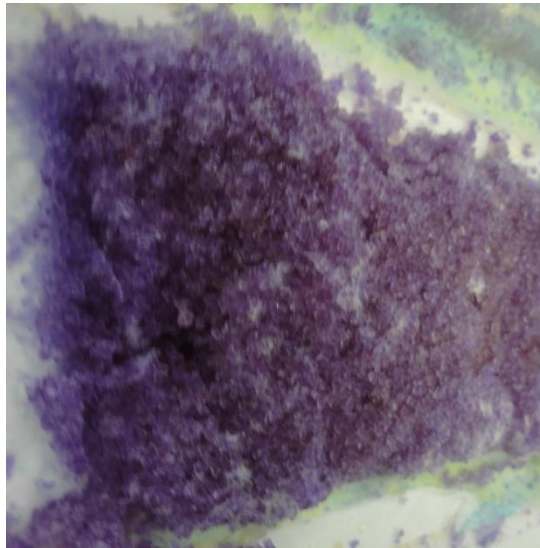


Fig. 34. Corte transversal del centro absorbente producto A2.

### Producto A3

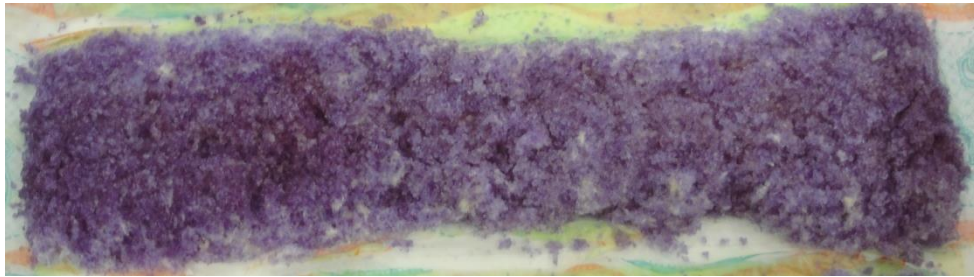
Superficie de celulosa	s
0,75 %	0,13 %

Tabla 16. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en A3.

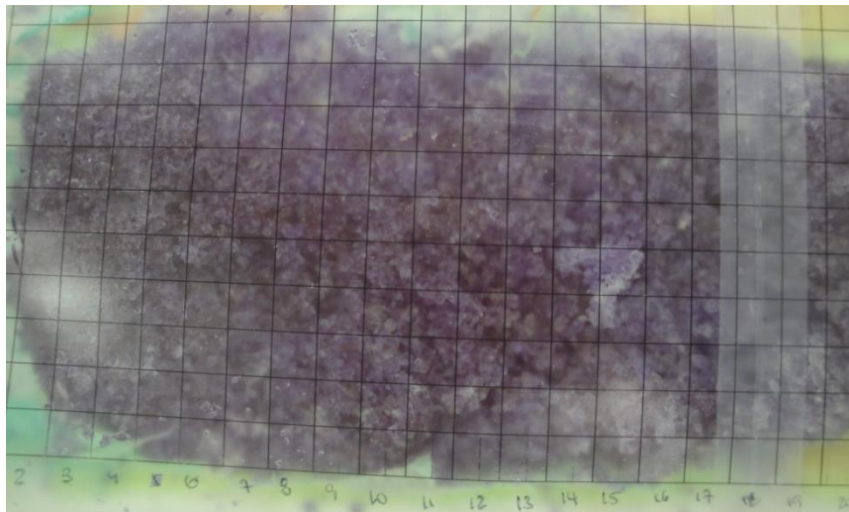
Finalizando con el análisis de la marca A, se tiene que el producto A3 posee un comportamiento similar al de los dos otros productos de esta marca, ya que tiene también una estructura similar a un reloj de arena, por lo que la distribución de las



celdas es la misma que en los dos productos anteriores, con un total de 446 cuadros de 1cm x 1cm. En este producto se observa el menor porcentaje para esta marca, al ser menor la cantidad de cuadros cubiertos por pulpa de celulosa, ya que este valor es de 3 cuadros únicamente, traduciéndose en que solo el 0,75% de la superficie del centro absorbente se encuentra cubierto casi en su totalidad por pulpa de celulosa (ver fig. 35 y 36).

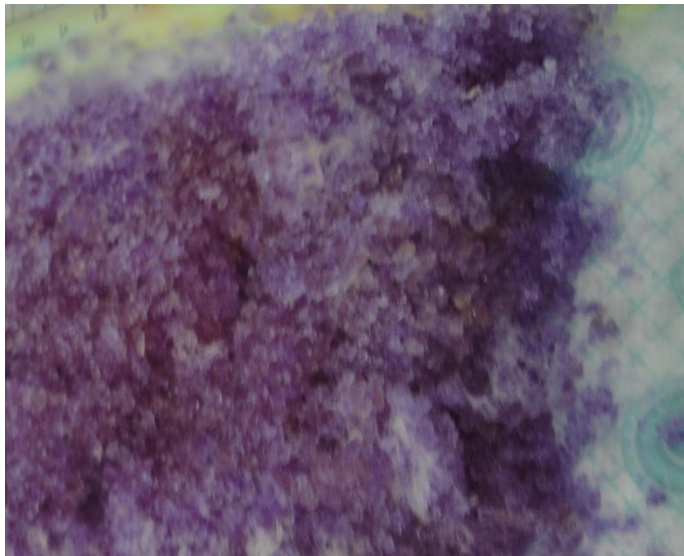


**Fig. 35. Bromocresol en producto A3.**



**Fig. 36. Cuadrícula producto A3.**

En este caso, al igual que en los productos anteriores de esta marca, la construcción del centro absorbente se evidencia como una mezcla entre polímero superabsorbente y pulpa de celulosa en lo que se refiere a toda la composición del núcleo, el cual se puede apreciar en la siguiente imagen (ver fig. 37) de un corte transversal del mismo. Esto se traduce en un núcleo prácticamente morado en su totalidad, debido a que la cantidad de polímero superabsorbente es significativamente mayor que la de pulpa de celulosa, información que ya se conocía gracias los porcentajes de ocupación de cada uno de los componentes en el centro absorbente.



**Fig. 37. Corte transversal del centro absorbente producto A3.**

En general se puede visualizar que en su mayoría el centro absorbente se encuentra saturado de polímero superabsorbente, y que la mezcla de este con la pulpa de celulosa, en cada uno de los centros absorbentes de los productos de la marca A no es homogénea, ya que no existen muchas zonas donde predomine la cantidad de pulpa de celulosa sobre el polímero.

**MARCA B****Producto B1**

<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>32,43 %</b>	<b>11,52 %</b>

Tabla 17. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en B1.

Seguidamente analizando la distribución de los componentes en la superficie del centro absorbente de los productos de la marca B, se tiene que en el caso de ambos productos la estructura es prácticamente rectangular, lo que hace que el ancho del centro absorbente sea igual en toda su longitud. En el caso del producto B1 se tiene un total de 38 columnas que cubren la longitud del centro absorbente, mientras que el ancho se encuentra cubierto por 11 filas, lo que da un total de 418 cuadros de 1cm x 1cm. En general se pudo observar que el número de cuadros rellenos por pulpa de celulosa aumentó considerablemente en este producto en comparación con los productos previamente analizados, alcanzando un total de 134 cuadros, que representan un porcentaje del 32,43% de la superficie del centro absorbente (ver fig. 38 y 39).

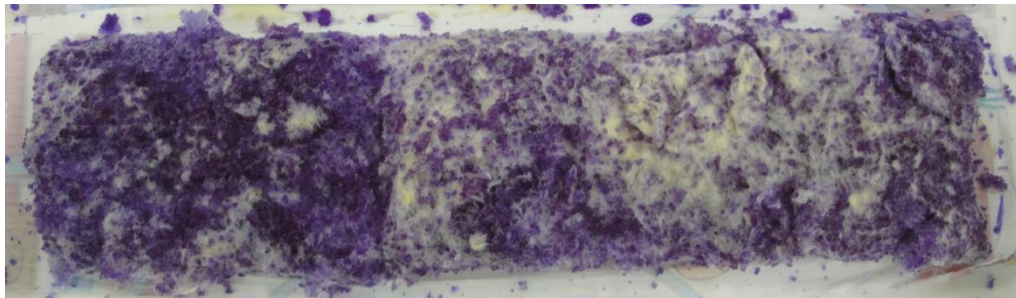
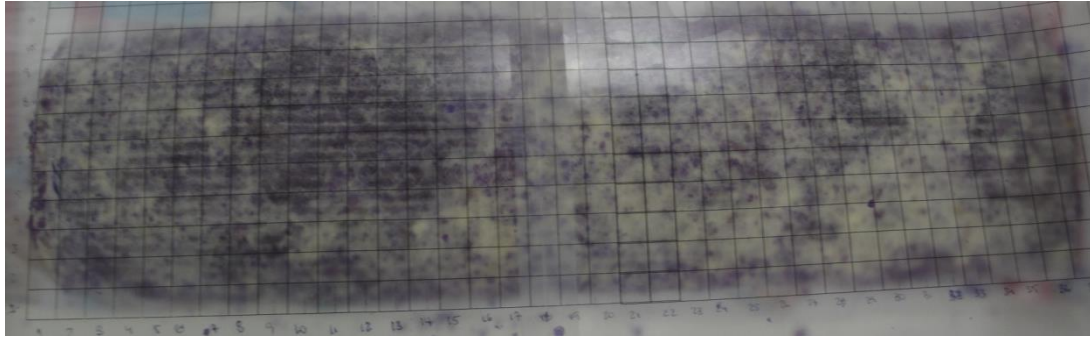


Fig. 38. Bromocresol en producto B1.



**Fig. 39. Cuadrícula producto B1.**

En este caso la evaluación visual mostró una mayor cantidad de zonas de la superficie del centro absorbente cubiertas por pulpa de celulosa, que las obtenidas en los productos de la marca A, sin embargo no supera en cantidad a las zonas cubiertas por polímero superabsorbente. Se puede percibir sin embargo en la siguiente imagen (ver fig. 40) de un corte transversal del centro absorbente, que el diseño de estos núcleos son diferentes, ya que vienen conformados por una mezcla de polímero superabsorbente y pulpa de celulosa cubierta por una capa de pulpa de celulosa, la cual compacta al núcleo.



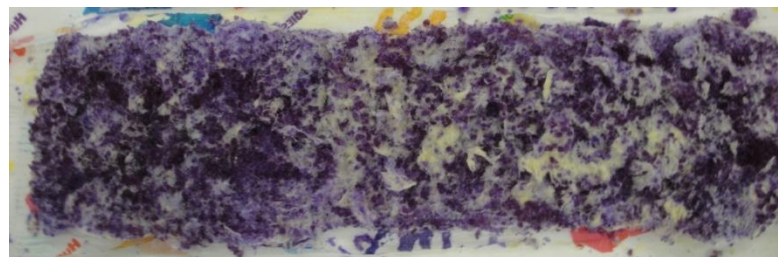
**Fig. 40. Corte transversal del centro absorbente producto B1.**

**Producto B2**

<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>26,24 %</b>	<b>11,63</b>

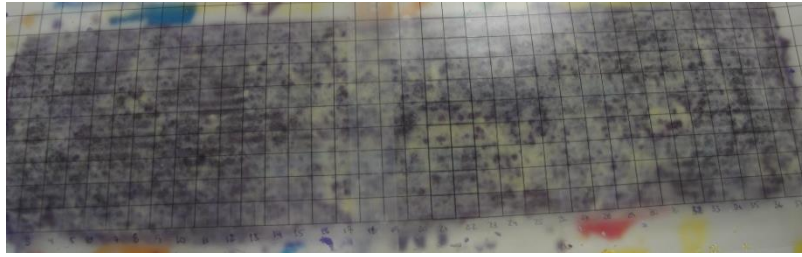
**Tabla 18. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en B2.**

En el caso del producto B2 la estructura es similar a la del producto B1, teniendo el centro absorbente la forma de un rectángulo, cubierto por 38 columnas a lo largo y 11 filas a lo ancho, alcanzando un total de 418 cuadros de 1cm x 1cm que cubren la superficie del centro absorbente. En este análisis un total de 109 cuadros de la superficie del centro absorbente se encuentran cubiertos por pulpa de celulosa, los cuales representan en este caso un 26,24% del total de las celdas. Nuevamente es evidente la diferencia entre los porcentajes en los productos de la marca A y los productos de la marca B, donde la superficie del centro absorbente en la primera marca está prácticamente cubierta en su totalidad por polímero superabsorbente, mientras que para la segunda marca una parte de la superficie viene cubierta por zonas de pulpa de celulosa (ver fig. 41 y 42).



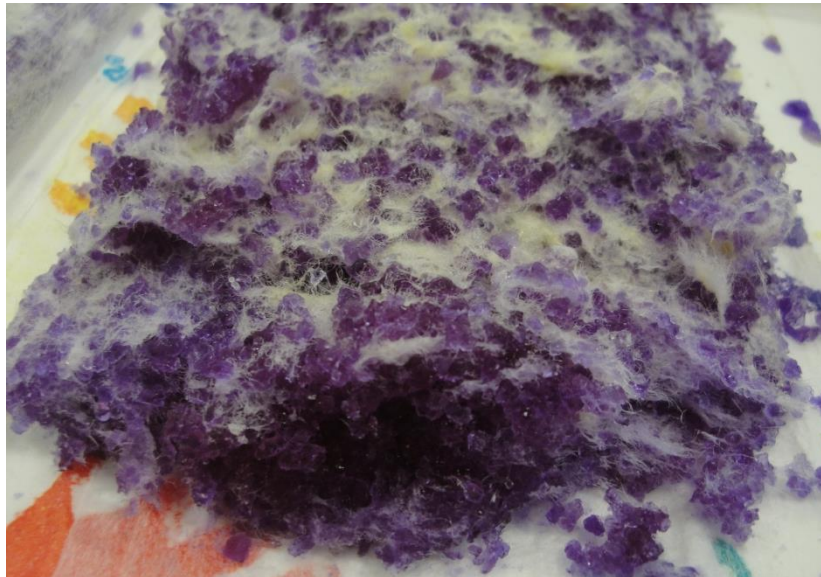
**Fig. 41. Bromocresol en producto B2.**





**Fig. 42. Cuadrícula producto B2.**

Visualmente se evaluó el centro absorbente, observándose que al igual que el producto B1, el diseño de estos núcleos es diferente, ya que la mezcla de polímero superabsorbente y pulpa de celulosa que conforma el núcleo se encuentra a su vez cubierta por una capa de pulpa de celulosa, la cual tiene como finalidad compactar el mismo. Esta estructura se puede observar en la siguiente imagen (ver fig. 43) de un corte transversal del centro absorbente.



**Fig. 43. Corte transversal del centro absorbente producto B2.**

**MARCA C****Producto C1**

<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>8,32 %</b>	<b>1,78 %</b>

Tabla 19. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en C1.

Analizando los productos de la marca C se tiene que al igual que en el caso de los productos de la marca B, la estructura del centro absorbente tiene forma rectangular, donde 39 columnas cubren la longitud del centro absorbente, mientras 11 filas cubren el ancho del mismo, obteniéndose un total de 429 cuadros de 1cm x 1cm. En este análisis se pudo observar que las celdas cubiertas por pulpa de celulosa se encuentran alrededor de 35 celdas, lo que representa un 8,32% de la superficie del centro absorbente. Se pudo notar la disminución del porcentaje en comparación a los productos de la marca B, sin embargo sigue siendo mayor que los productos de la marca A (ver fig. 44 y 45).

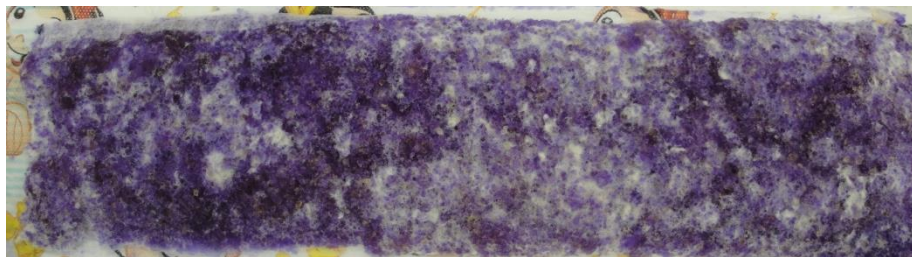
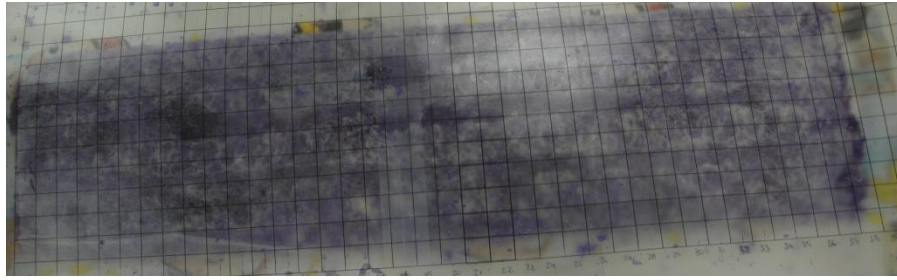


Fig. 44. Bromocresol en producto C1.



**Fig. 45. Cuadrícula producto C1.**

Visualmente en este caso el centro absorbente se observa como una mezcla entre polímero superabsorbente y pulpa de celulosa, donde la superficie del mismo viene conformado por una pequeña cantidad zonas amarillas y una gran cantidad de zonas púrpuras. En este producto se observa una ligera capa de pulpa de celulosa en la superficie del núcleo (ver fig. 46), pero no es tan concentrada como la observada previamente en los productos de la marca B.



**Fig. 46. Corte transversal del centro absorbente producto C1.**

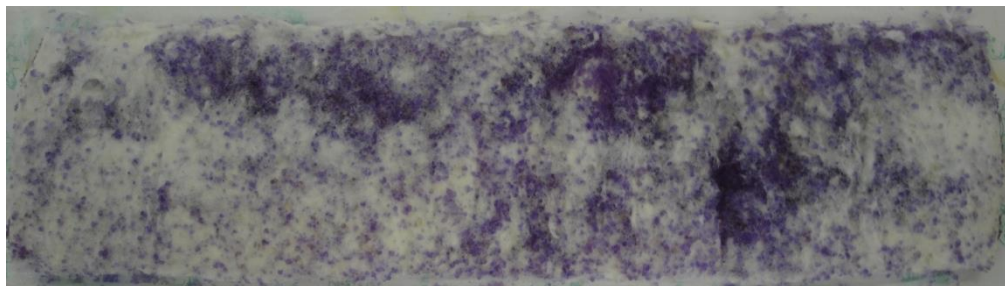


**Producto C3**

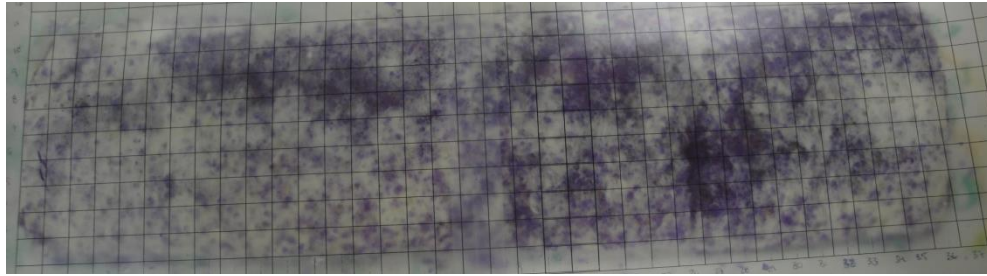
<b>Superficie de celulosa</b>	<b>s</b>
<b>47,48 %</b>	<b>2,50 %</b>

**Tabla 20. Porcentaje de la superficie del centro absorbente cubierto por celulosa en C3.**

Para finalizar el análisis de los resultados del test de púrpura de bromocresol se tiene que el producto C3 posee la misma estructura que el producto C1, donde el centro absorbente tiene forma rectangular, y se encuentra cubierto por 38 columnas a lo largo y 11 filas a lo ancho, obteniéndose un total de 418 cuadros de 1cm x 1cm cubriendo todo el centro absorbente. En este producto se observó un aumento considerable de cuadros cubiertos por pulpa de celulosa, en comparación al producto C1, ya que el valor alcanzó una cifra de 187 cuadros que representa un promedio del 47% del total de celdas que cubren el centro absorbente (ver fig. 47 y 48).



**Fig. 47. Bromocresol en producto C3.**



**Fig. 48. Cuadrícula producto C3.**

En el análisis visual de este centro absorbente se observó, al igual que en los productos B1 y B2, una capa espesa de pulpa de celulosa envolviendo al núcleo, como se puede ver en la siguiente figura de un corte transversal del mismo (ver fig. 49), quedando la superficie de este con una cantidad prácticamente equitativa de zonas amarillas y zonas púrpuras.



**Fig. 49. Corte transversal del centro absorbente producto C3.**

En general se pudo observar que para los diferentes productos analizados, las longitudes de los centros absorbentes de los productos de la marca A son mucho mayores que las obtenidas para los productos de las marcas B y C. En el caso del ancho es prácticamente similar en todos los productos de las tres marcas, ya que los

mismos se cubrieron con la misma cantidad de filas. En el caso de los productos de la marca A, son quienes menos muestran zonas con pulpa de celulosa concentrada, mientras que estas zonas aumentan visualmente en los productos de la marca B y C, siendo incluso mucho más numerosas y notables en el producto C3, comportamiento que era de esperarse, ya que al analizar previamente los porcentajes de estos dos componentes en el pañal, la pulpa de celulosa fue significativamente mayor en los productos de las marcas B y C.

## **5.2 Desempeño del pañal**

Luego de culminar el análisis de la primera sección del proyecto de caracterización de centros absorbentes de pañales desechables, se continúa con la segunda sección del mismo que es el estudio del desempeño del pañal. En este se realizó un análisis exhaustivo del desempeño de los diferentes productos de las marcas analizadas, en función de dos variables: la velocidad de adquisición en función del tiempo de absorción y la cantidad de líquido devuelto. Esto, con la finalidad de comparar entre ellos al momento de la absorción en condiciones de uso (en cuatro diferentes descargas de la misma cantidad de líquido) y del mismo modo obtener el que devuelva la menor cantidad de líquido en condiciones de presión, considerando también las diferencias previamente establecidas en los diseños de cada uno de los productos analizados.

A continuación se muestran las tablas correspondientes a cada uno de los productos analizados por marca, con los tiempos que tomo la adquisición o absorción de cada una de las descargas, así como la velocidad de adquisición de cada una de ellas; y

luego se complementa la información obtenida con el tiempo final total que tomaron todas las descargas y la cantidad del fluido devuelto bajo presión.

Es importante resaltar que las medidas realizadas fueron hechas imitando las condiciones normales de uso de un bebe promedio, empleando fluidos y materiales similares a los del bebé, de manera tal de recrear completamente el escenario del uso de dichos productos.

### **MARCA A**

#### **Producto A1**

<b>Descarga</b>	<b>Tiempo de adq. (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	28,3 ± 1,8	2,66 ± 0,16
<b>2</b>	46,4 ± 2,0	1,62 ± 0,07
<b>3</b>	75,7 ± 3,6	0,99 ± 0,05
<b>4</b>	132,3 ± 17,0	0,58 ± 0,08

**Tabla 21. Velocidades y tiempos de adquisición de A1.**

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Fluido devuelto (g)</b>
282,7 ± 18,1	0,095 ± 0,013

**Tabla 22. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A1.**

Inicialmente para el producto A1 se tiene que a medida que se van realizando las descargas con la misma cantidad de fluido sobre el pañal, se van registrando tiempos cada vez mayores, con mayores intervalos entre los tiempos de adquisición a medida que van transcurriendo las descargas, mientras que al mismo tiempo la velocidad entre las descargas va disminuyendo entre una y otra. Esto se debe a que a medida que las descargas se van realizando una sobre otra, el pañal va absorbiendo y por ende empieza a cargarse del fluido, lo que hace que la absorción se haga más lenta mientras más cargado esta, lo que por su parte incurre en el hecho de que la absorción tarde más registrándose entonces un mayor tiempo de adquisición. Entre la primera y la segunda descarga la diferencia de tiempos es de 18,1s mientras que la diferencia en la velocidad de adquisición es de 1,04ml/s, por su parte en la tercera descarga la diferencia con respecto a la segunda es de 29,3s con respecto al tiempo y de 0,63ml/s con respecto a la velocidad. Por último en la cuarta descarga las diferencias con respecto a la anterior son de 56,6s y 0,41ml/s, en cuanto al tiempo y a la velocidad respectivamente. Básicamente se observó un comportamiento dentro de lo esperado, ya que los valores demuestran que la absorción va haciéndose más lenta a medida que se realizan las descargas, con una velocidad para la primera descarga por encima de 4 veces la obtenida para la última descarga. Sin embargo, a pesar de la disminución evidente de la velocidad solo toma un tiempo total de 282,7s absorber en su totalidad las cuatro descargas.

En lo que respecta a la cantidad de líquido o fluido devuelto se tiene que en promedio 0,095 g del mismo fueron devueltos hacia el exterior del pañal, después de haber absorbido las cuatro descargas. Este valor es evidentemente pequeño al comparar con todo lo absorbido por el pañal durante las cuatro descargas de 75ml cada una.

Producto A2

Descarga	t (s)	Velocidad de adq. (ml/s)
<b>1</b>	$32,7 \pm 4,2$	$2,33 \pm 0,28$
<b>2</b>	$59,9 \pm 10,8$	$1,29 \pm 0,21$
<b>3</b>	$113,7 \pm 20,5$	$0,68 \pm 0,13$
<b>4</b>	$222,8 \pm 44,9$	$0,35 \pm 0,07$

**Tabla 23. Velocidades y tiempos de adquisición de A2.**

Tiempo total de adq. (s)	Fluido devuelto (g)
$429,1 \pm 70,0$	$0,117 \pm 0,034$

**Tabla 24. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A2.**

Analizando el producto A2 se tiene nuevamente el mismo comportamiento que el producto anterior, en el que a medida que se hacen las descargas sobre el pañal se van registrando tiempos con intervalos cada vez más grandes entre ellos y velocidades de adquisición cada vez menores. En este caso entre la primera y la segunda descarga la diferencia de tiempos es de 27,2s, mientras que la diferencia en la velocidad de adquisición es de 1,04ml/s. Por su parte en la tercera descarga la diferencia con respecto a la segunda es de 53,8s con respecto al tiempo y de 0,61ml/s con respecto a la velocidad. Por último en la cuarta descarga las diferencias con respecto a la tercera son de 109,1s para el tiempo y de 0,33ml/s para la velocidad. En este producto se observó que el desempeño es ligeramente inferior al del producto A1, ya que a pesar

que la velocidad de absorción y los tiempos se comportan prácticamente del mismo modo, los valores demuestran que el desempeño es más lento en este producto, al reportar mayores tiempos para la absorción de cada descarga y una velocidad menor. En este caso la velocidad de adquisición de la primera descarga se encuentra incluso 6 veces por encima del valor registrado en la última descarga.

En lo referente a la devolución de líquido se tiene que en este producto la cantidad devuelta es un poco mayor en comparación al producto A1, ya que se devolvió una cantidad de fluido de 0,117g, teniendo una diferencia no muy grande de 0,022g, siendo igualmente un valor bastante bajo en comparación a todo lo absorbido durante las 4 descargas por el pañal.

Producto A3

<b>Descarga</b>	<b>t (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	33,4 ± 1,9	2,25 ± 0,13
<b>2</b>	60,2 ± 5,8	1,26 ± 0,12
<b>3</b>	116,2 ± 14,5	0,65 ± 0,09
<b>4</b>	291,7 ± 39,4	0,26 ± 0,03

Tabla 25. Velocidades y tiempos de adquisición de A3.

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Líquido devuelto (g)</b>
501,4 ± 53,9	0,134 ± 0,037

Tabla 26. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de A3.

Para finalizar con el análisis del desempeño de los productos de la marca A, se tiene que para el producto A2 nuevamente el mismo comportamiento que los dos productos previamente analizados, donde por cada descarga realizada sobre el pañal aumentan los intervalos entre los tiempos y disminuye la velocidad de adquisición. En este producto entre la primera y la segunda descarga la diferencia de tiempos es de 26,8s, mientras que la diferencia en la velocidad de adquisición es de 0,99ml/s. Por su parte en la tercera descarga la diferencia con respecto a la segunda es de 56,0s y de 0,61ml/s con respecto al tiempo y la velocidad. Por último, en la cuarta descarga las diferencias con respecto a la tercera son de 175,5s para el tiempo y de 0,39ml/s para la velocidad. Para este producto se observó un desempeño muy similar al del producto A2, sin embargo a pesar de tener valores similares durante las primeras 3 descargas, los valores demuestran durante la última descarga que el desempeño es más bajo en este producto. La velocidad de adquisición de la última descarga registra un valor notablemente bajo, siendo hasta 10 veces menor que el obtenido para la primera descarga.

En lo que respecta a la devolución del líquido se tiene que para este producto es mayor la cantidad de fluido devuelta, en comparación a los productos A1 y A2. En este caso también se registró un mayor tiempo total de absorción de las cuatro descargas, con un valor de 501,4s, estando a 218,7s por encima del obtenido en el producto A1 y a 72,3s por encima del obtenido para el producto A2.

En conclusión el producto A1, perteneciente a la más alta categoría, registra una mayor velocidad de absorción en un menor tiempo y tiene una mayor capacidad de retención devolviendo la mínima cantidad del líquido, en comparación con los otros dos productos de esta misma marca, los cuales por su parte se comportan relativamente similares entre ellos, a pesar de que pertenecen a categorías diferentes, cumpliendo



igualmente la tendencia entre ellos, que a mayor categoría mejor desempeño tiene el pañal para los productos de la marca A.

### **MARCA B**

#### **Producto B1**

<b>Descarga</b>	<b>t (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	24,5 ± 1,2	3,07 ± 0,14
<b>2</b>	53,4 ± 5,2	1,42 ± 0,13
<b>3</b>	97,7 ± 12,9	0,78 ± 0,10
<b>4</b>	155,0 ± 20,5	0,49 ± 0,07

**Tabla 27. Velocidades y tiempos de adquisición de B1.**

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Líquido devuelto (g)</b>
330,6 ± 36,2	0,159 ± 0,012

**Tabla 28. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de B1.**

En cuanto al producto B1 se tiene nuevamente el mismo comportamiento que para los productos de la marca A, en el que a medida que se van realizando descargas de una misma cantidad de fluido sobre el pañal, se van registrando intervalos cada vez mayores entre los tiempos de adquisición de la descarga y al mismo tiempo la velocidad de adquisición de las descargas va disminuyendo entre una y otra.

Nuevamente este comportamiento se debe a que la capacidad y la eficacia de absorción del pañal van disminuyendo a medida que el mismo va cargándose de líquido tras cada descarga de fluido. En este producto las diferencias entre los valores de la primera y la segunda descarga son de 28,9s para el tiempo y de 1,65ml/s para la velocidad de adquisición, mientras que por su parte para la tercera descarga se tiene una diferencia con respecto a la segunda de 44,3s en cuanto al tiempo y de 0,64ml/s en cuanto a la velocidad. En lo que respecta a la última descarga se tiene que las diferencias con respecto a la anterior son de 57,3s en el tiempo de absorción, y de 0,29ml/s en la velocidad de adquisición. En comparación a los productos de la marca A se tiene que la primera descarga muestra un desempeño más rápido que para la misma descarga en los productos A1, A2 y A3, ya que el mismo posee un menor tiempo de adquisición y al mismo tiempo una mayor velocidad de adquisición, por lo que para la primera descarga este es el producto con mejor desempeño; sin embargo para las otras tres descargas muestra un menor desempeño que el producto A1, a pesar de pertenecer a la misma categoría, pero mejor que los productos A2 y A3, los cuales pertenecen a menores categorías. En este caso el valor de la velocidad de adquisición obtenida para la primera descarga alcanzó un valor de incluso más de 6 veces del registrado en la última descarga.

El tiempo total que le tomó a este producto para absorber las cuatro descargas realizadas fue de 330,6s, mientras que por su parte la cantidad de fluido que fue devuelto bajo presión fue de 0,159g, encontrándose ambos valores por encima de los valores obtenidos para los tres productos analizados de la marca A, lo que indica que le toma más tiempo a este producto absorber las cuatro descargas y además devuelve mayor cantidad de fluido en comparación con los productos de la marca A, sean de su misma categoría o menores.

Producto B2

<b>Descarga</b>	<b>t (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	$32,1 \pm 3,5$	$2,36 \pm 0,21$
<b>2</b>	$61,1 \pm 7,3$	$1,24 \pm 0,14$
<b>3</b>	$143,8 \pm 16,2$	$0,53 \pm 0,06$
<b>4</b>	$256,9 \pm 24,9$	$0,30 \pm 0,03$

**Tabla 29. Velocidades y tiempos de adquisición de B2.**

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Líquido devuelto (g)</b>
$494,0 \pm 44,7$	$0,142 \pm 0,016$

**Tabla 30. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de B2.**

En el caso del producto B2 se tiene como en todos los casos anteriores la misma tendencia donde los intervalos entre los tiempos de absorción van aumentando con cada descarga mientras que las velocidades de absorción van disminuyendo. En este producto las diferencias entre los valores de la primera y la segunda descarga son de 29,0s en lo que respecta al tiempo y de 1,12ml/s en lo que respecta a la velocidad de adquisición. Por su parte para la tercera descarga se tiene una diferencia con respecto a la segunda de 82,7s en el tiempo y de 0,71ml/s en cuanto a la velocidad. Para la cuarta y última descarga se tienen diferencias con respecto a la anterior de 113,1s en el tiempo de absorción y de 0,23ml/s en la velocidad de adquisición. En comparación al primer producto de su misma marca (B1) se tiene un desempeño evidentemente menor

en B2, ya que sus tiempos de absorción son mayores para todas las descargas y sus velocidades menores, comportamiento que es de esperarse considerando que el producto B2 pertenece a una categoría menor que B1. Por su parte en comparación con los productos de la marca A se tiene que para todas las descargas el desempeño de B2 es menor en comparación con el producto A1, ya que se registraron menores valores de velocidad de adquisición para tiempos mayores de adquisición; mientras que el desempeño en comparación con el producto A2 es similar, siendo un poco mejor para B2 en la primera descarga ya que su tiempo y su velocidad de absorción son mejores que en A2, aunque los valores son evidentemente muy cercanos entre sí; sin embargo en las tres siguientes descargas el mejor desempeño lo tiene A2 con mejores velocidades y tiempos de absorción. Es importante tener en cuenta que esta similitud entre ambos productos era de esperarse considerando que los mismos pertenecen a la misma categoría. Por último al comparar con el producto A3 se tiene que el desempeño entre ambos productos en principio no es muy diferente, a pesar de que A3 pertenezca a una categoría más baja. En lo que refiere a la primera descarga se tiene un mejor desempeño de B2, aunque los valores con respecto a A3 no sean muy lejanos entre sí. Por su parte en la segunda y tercera descarga, a diferencia de la anterior, el mejor desempeño fue el del producto A3, con valores mucho más cercanos en la segunda y un poco más lejanos en la tercera. Finalmente el comportamiento se vuelve a invertir en la última descarga, ya que por el tiempo y la velocidad de adquisición el producto B2 mostró un mejor desempeño. En este caso la velocidad de adquisición obtenida para la cuarta descarga se encuentra casi 8 veces por debajo del valor obtenido para la absorción en la primera descarga.

El tiempo total que le tomó a este producto absorber las cuatro descargas fue de 494,0s, muy por encima de los productos A1 y B1, que pertenecen a una categoría mejor, y del producto A2 que pertenece a su misma categoría. Por su parte la cantidad de fluido que fue devuelto bajo presión fue de 0,142g, situándose por debajo de la

cantidad de fluido devuelto en el producto B1, a pesar de pertenecer a una categoría más baja que él, mientras en comparación con los productos de la marca A, la cantidad de fluido devuelto es mayor en este producto que en todas las categorías de la marca A.

### **MARCA C**

#### **Producto C1**

<b>Descarga</b>	<b>t (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	27,9 ± 2,9	2,72 ± 0,29
<b>2</b>	68,5 ± 10,9	1,12 ± 0,18
<b>3</b>	149,9 ± 28,7	0,52 ± 0,10
<b>4</b>	262,3 ± 39,4	0,29 ± 0,04

**Tabla 31. Velocidades y tiempos de adquisición de C1.**

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Líquido devuelto (g)</b>
508,6 ± 78,8	0,196 ± 0,020

**Tabla 32. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de C1.**

Analizando el producto C1 se tiene la misma tendencia que todos los productos previamente analizados, en la que el desempeño disminuye a medida que el pañal se

va llenando del fluido. En este producto las diferencias entre la primera y la segunda descarga son de 40,6s en lo que respecta al tiempo y de 1,60ml/s en lo que respecta a la velocidad de adquisición, mientras que por su parte las diferencias en la tercera descarga con respecto a la segunda son de 81,4s en cuanto al tiempo y de 0,60ml/s en cuanto a la velocidad. Finalmente las diferencias de la última descarga con respecto a la anterior son para el tiempo de adquisición 112,4s y para la velocidad de adquisición 0,23ml/s. Comparando el desempeño con los productos previamente analizados se tiene que C1 mostró un mejor desempeño en la primera descarga con respecto a los productos A1 y A2, mientras que en las siguientes tres descargas el comportamiento fue inverso, ya que el desempeño fue mejor para los dos productos de la marca A. en lo que respecta a la comparación con respecto al producto A3 se tiene que la primera y la cuarta descarga mostraron un mejor desempeño para el producto C1, mientras que la segunda y la tercera descarga mostraron un mejor desempeño para el producto A3. Por último comparando con los productos de la marca B se tiene que para el producto B1 se tuvo un mejor desempeño en todas las descargas, con menores tiempos de adquisición y mayores velocidades de adquisición que las obtenidas para el producto C1, a pesar de pertenecer a la misma categoría; mientras que con respecto al producto B2 en la primera descarga C1 muestra un mejor desempeño, mientras que para el resto de las descargas el comportamiento es opuesto, siendo mejor el producto B2, a pesar de pertenecer a una menor categoría. Para este producto la última descarga tiene un valor registrado de velocidad de adquisición 9 veces por debajo del valor de la primera descarga.

Para finalizar el análisis del producto C1 se tiene que el tiempo total de adquisición que le tomo a este pañal fue de 508,6s, mayor que el registrado en todos los productos de todas las marcas previamente analizadas, incluso de menor categoría. Por otro lado la cantidad de fluido devuelto en este caso es de 0,196g situándose nuevamente por encima de los valores obtenidos previamente en los análisis de los productos de las

otras marcas, lo que se traduce en un menor desempeño que los demás productos en términos de capacidad de retención.

Producto C3

<b>Descarga</b>	<b>t (s)</b>	<b>Velocidad de adq. (ml/s)</b>
<b>1</b>	40,9 ± 3,6	1,85 ± 0,16
<b>2</b>	114,7 ± 10,8	0,66 ± 0,06
<b>3</b>	227,7 ± 29,7	0,34 ± 0,04
<b>4</b>	1085,1 ± 214,2	0,08 ± 0,05

Tabla 33. Velocidades y tiempos de adquisición de C3.

<b>Tiempo total de adq. (s)</b>	<b>Líquido devuelto (g)</b>
1468,4 ± 233,5	0,245 ± 0,019

Tabla 34. Tiempo total de adquisición y líquido devuelto de C3.

Finalmente se tiene que para C3 se observó como era de esperarse la misma tendencia que presentaron todos los productos anteriormente analizados, en la que la capacidad de absorción disminuye evidentemente a través de la disminución de la velocidad de adquisición y el aumento de los tiempos de adquisición por descarga. Para este producto las diferencias entre la primera y la segunda descarga son de 73,8s y de 1,19ml/s en lo que a tiempo y velocidad se refiere, respectivamente; mientras que

por su parte en la tercera descarga las diferencias con respecto a la anterior son de 113,0s en cuanto al tiempo y de 0,32ml/s en cuanto a la velocidad. Finalmente para la cuarta descarga las diferencias con respecto a la descarga anterior son para el tiempo de adquisición 857,4s y para la velocidad de adquisición 0,26ml/s. Haciendo la comparación en términos de desempeño con los productos de las otras marcas analizadas se tiene que C3 mostró el más bajo desempeño en todas sus descargas con respecto a todos los productos de todas las marcas analizadas, incluso de su misma marca, al mostrar los mayores tiempos de adquisición, con los mayores intervalos entre ellos, y las menores velocidades de adquisición de todos los productos. En este producto la velocidad obtenida para la última descarga se encuentra 23 veces por debajo de la obtenida para la primera descarga.

En lo que respecta al tiempo total de absorción de todas las descargas realizadas, el mayor tiempo registrado lo tiene este producto, superando por tiempos entre 959,8s y 1185,7s a los demás tiempos totales de adquisición de los otros productos. Por su parte la cantidad de fluido devuelto en este caso es de 0,245g situándose por encima de todos los productos de las otras marcas, lo que se traduce en el menor desempeño de todos los productos analizados en términos de absorción y de retención.

Resumiendo el análisis por categorías se tiene que para la categoría más alta, el producto que mostró en general el mejor desempeño es el producto A1, ya que tuvo mejores tiempos y velocidades de adquisición en sus descargas a pesar de que los productos B1 y C1, que pertenecen a su misma categoría, lo superaran únicamente en la primera descarga. En el caso de la categoría intermedia, el producto A2 mostró en general mejores valores que los obtenidos en el producto B2. Por último para la categoría baja se tiene que el producto A3 posee un mejor desempeño que el obtenido para C3. Se puede ver entonces que para todas las categorías los productos de la



marca A tienden a mostrar un mejor desempeño que los demás productos. Por otro lado también se pudo observar la tendencia en la mayoría de los casos que mientras más alta sea la categoría a la que pertenece el producto, mejor será su desempeño en términos de absorción o adquisición y retención del fluido.

### 5.3 Análisis estructural del principal componente del centro absorbente

Una vez analizadas las dos primeras secciones en las que se dividió la investigación de este proyecto se pasa a la tercera y última sección del mismo en la cual se desarrolló un análisis estructural del principal componente del centro absorbente de un pañal que es el polímero superabsorbente. Este estudio se realizó como un complemento de las dos secciones anteriores para las mismas tres marcas del mercado latinoamericano, empleando un análisis de espectroscopia infrarroja, como el alcance adoptado para la caracterización óptica de dicho material. Este análisis fue realizado con un espectrofotómetro con Transformada de Fourier marca Thermo Nicolet modelo Nexus 470 ESP (UCV), corriendo en un rango de  $400\text{cm}^{-1}$  a  $4000\text{cm}^{-1}$ .

Para iniciar este análisis se debe primero conocer la estructura del polímero superabsorbente o poliacrilato de sodio, que se muestra a continuación (ver fig. 50)

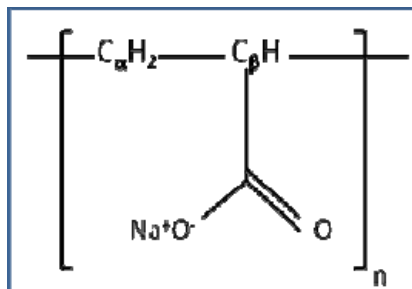
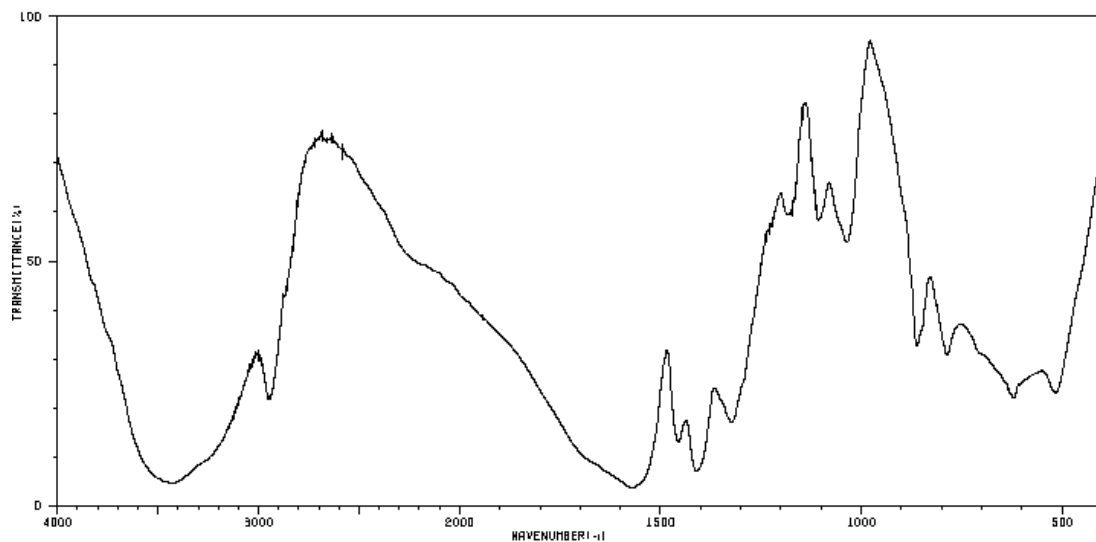


Fig. 50. Estructura del poliacrilato de sodio. (18)

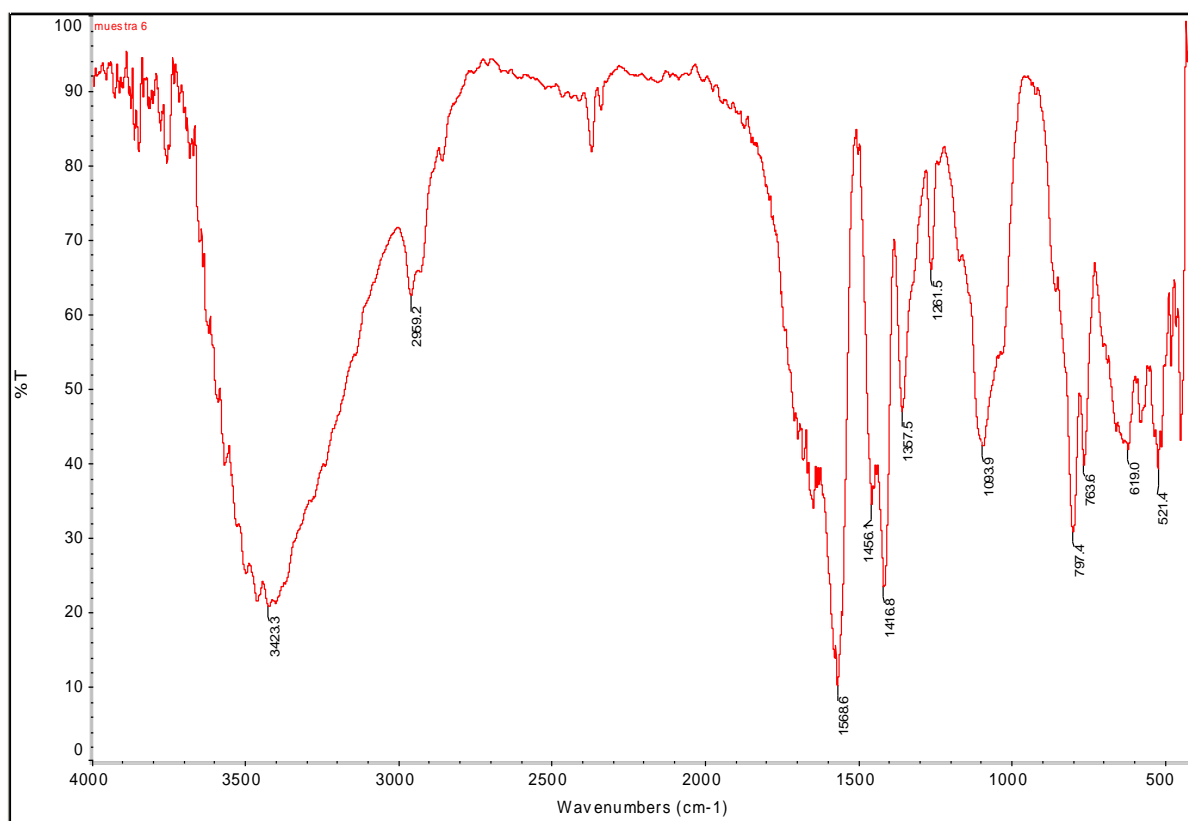
Acorde a lo previamente descrito en la introducción, este compuesto en su forma entrecruzada o reticulada actúa como un compuesto absorbente, por lo que el principio de la caracterización del mismo se basa en las posibles diferencias estructurales que estén relacionadas a los compuestos que realizan estos entrecruzamientos.

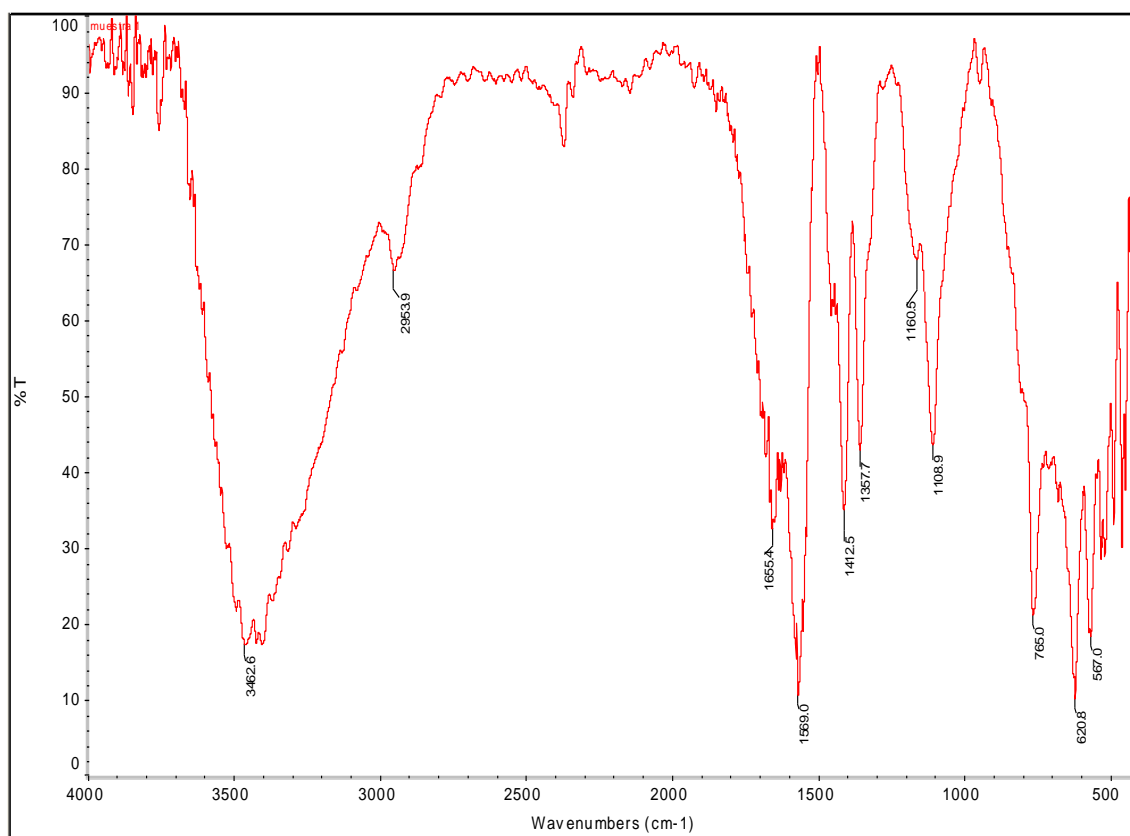
A continuación se muestra (ver fig. 51) el espectro del poliacrilato de sodio hallado en la literatura.

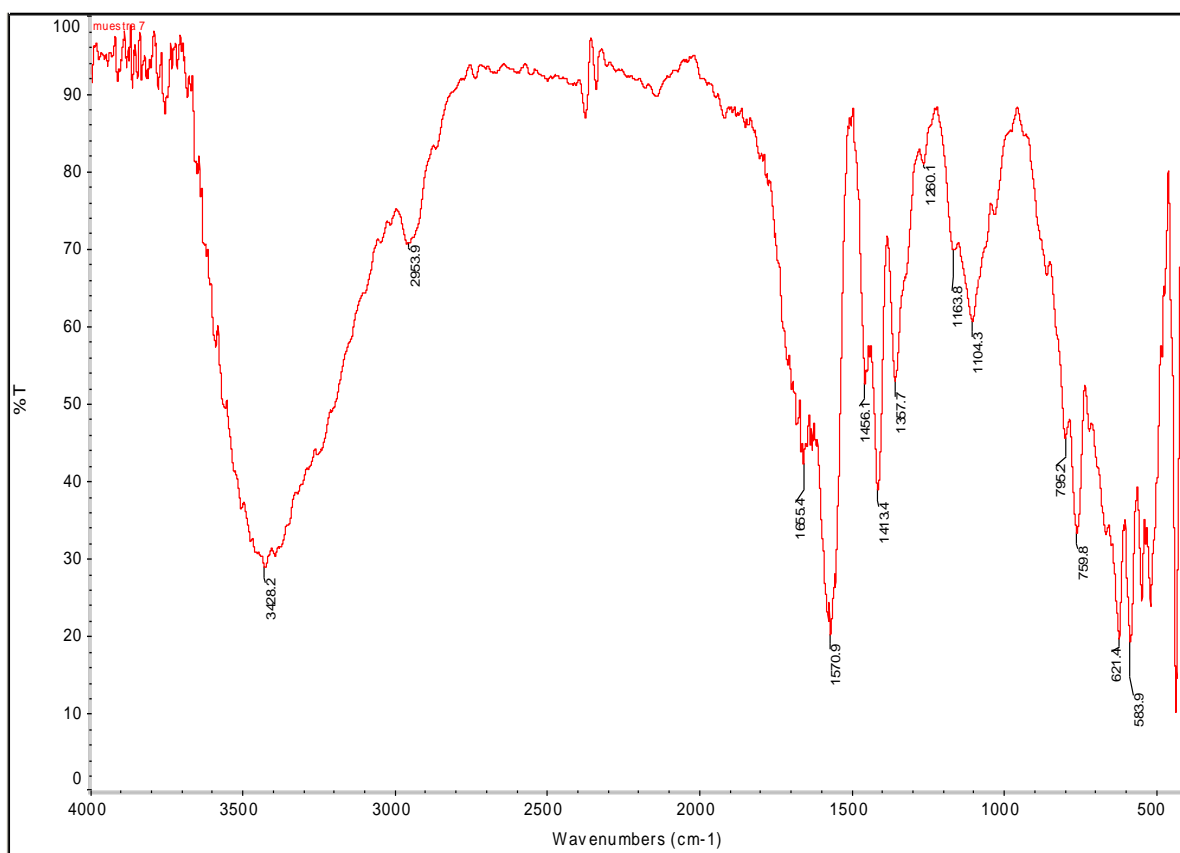


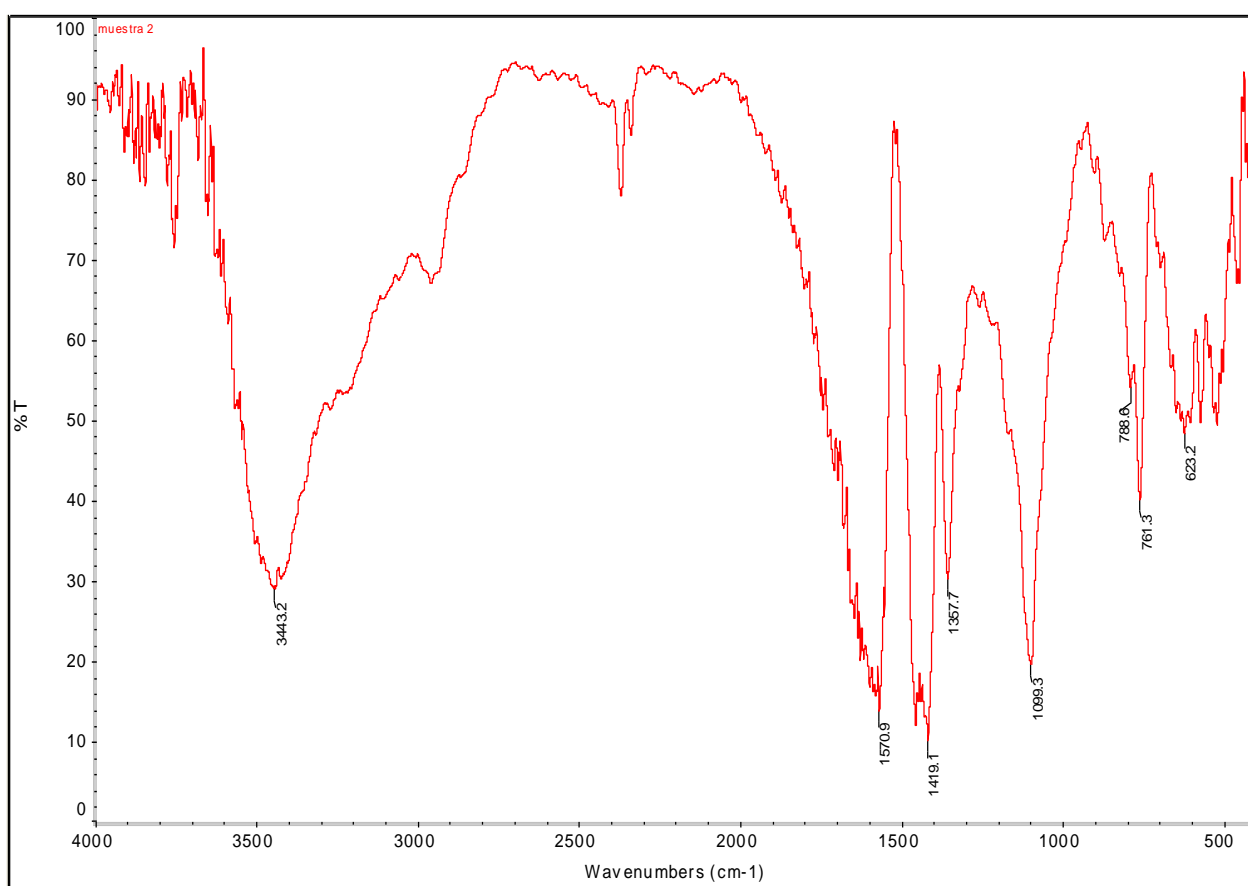
**Fig. 51. Espectro IR del poliacrilato de sodio.**

Seguidamente se muestran los espectros obtenidos para las 7 muestras de polímero superabsorbente (poliacrilato de sodio)

**Producto A1****Fig. 52. Espectro IR Muestra A1.**

**Producto A2****Fig. 53. Espectro IR Muestra A2.**

**Producto A3****Fig. 54. Espectro IR Muestra A3.**

**Producto B1****Fig. 55. Espectro IR Muestra B1.**

## Producto B2

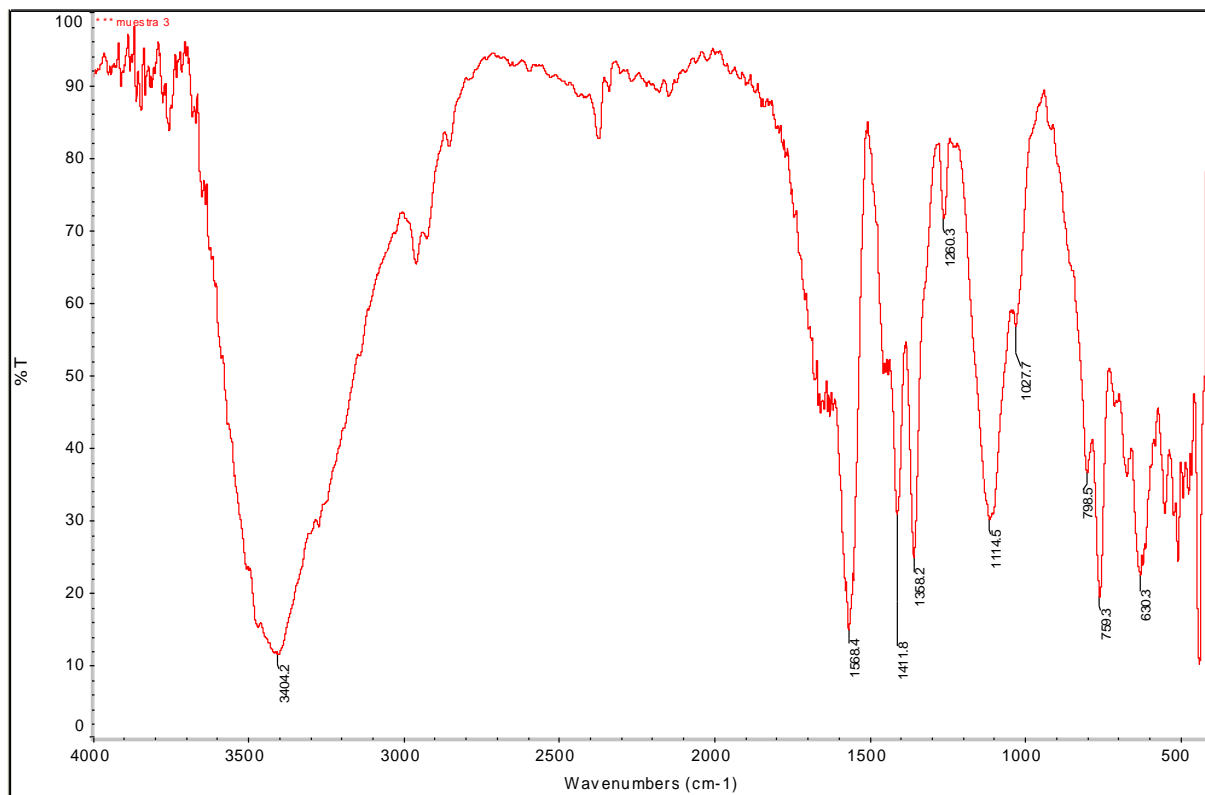
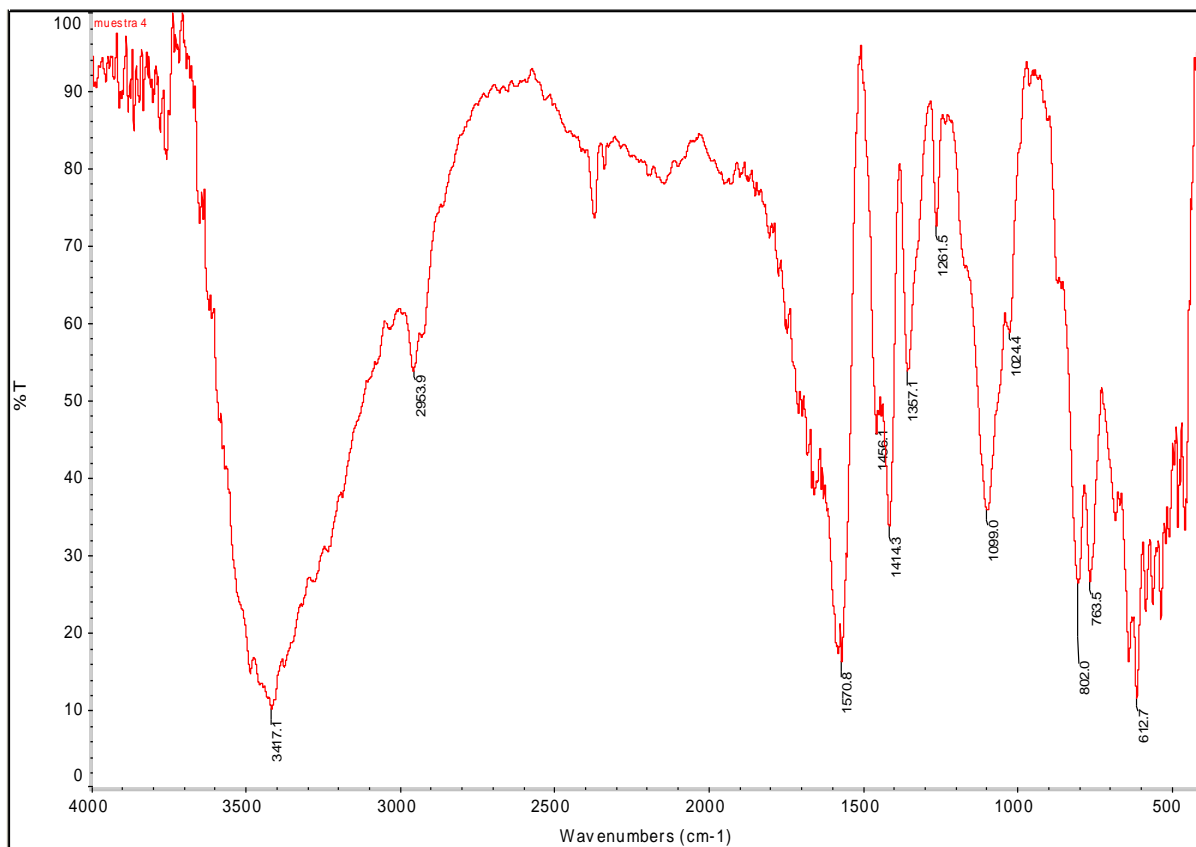
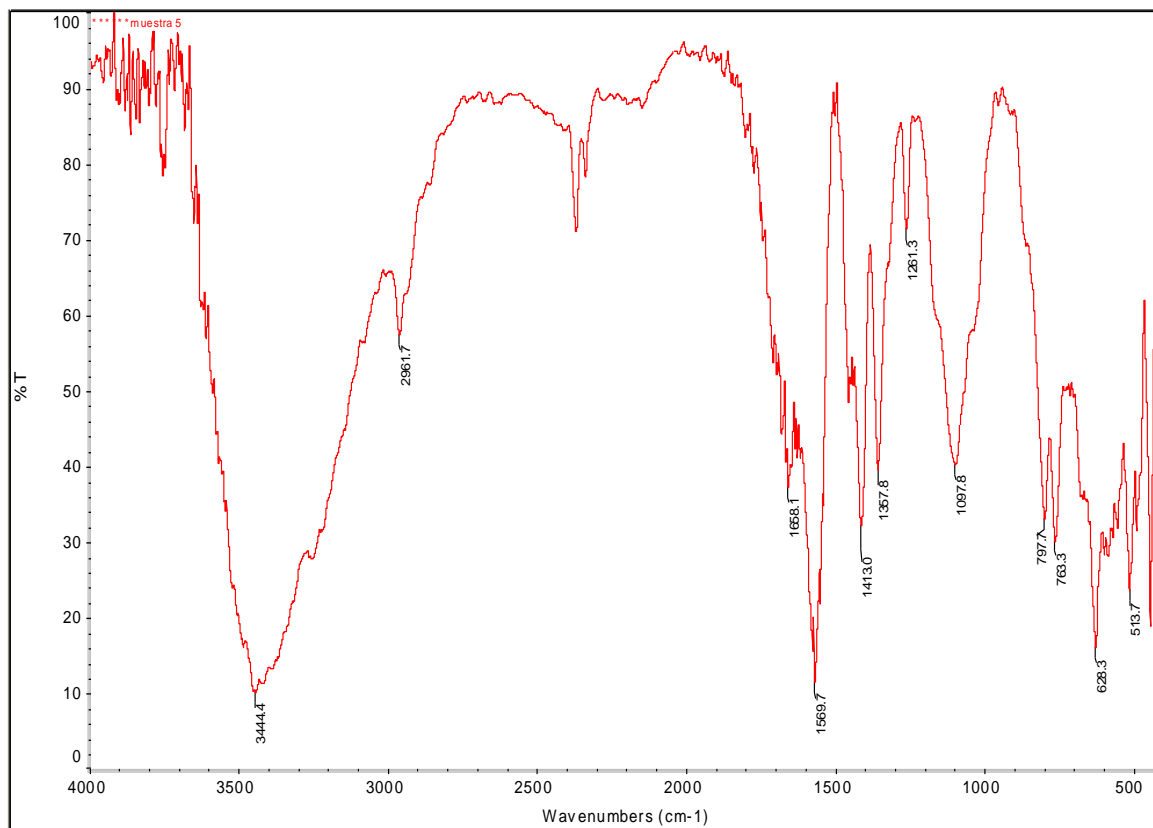


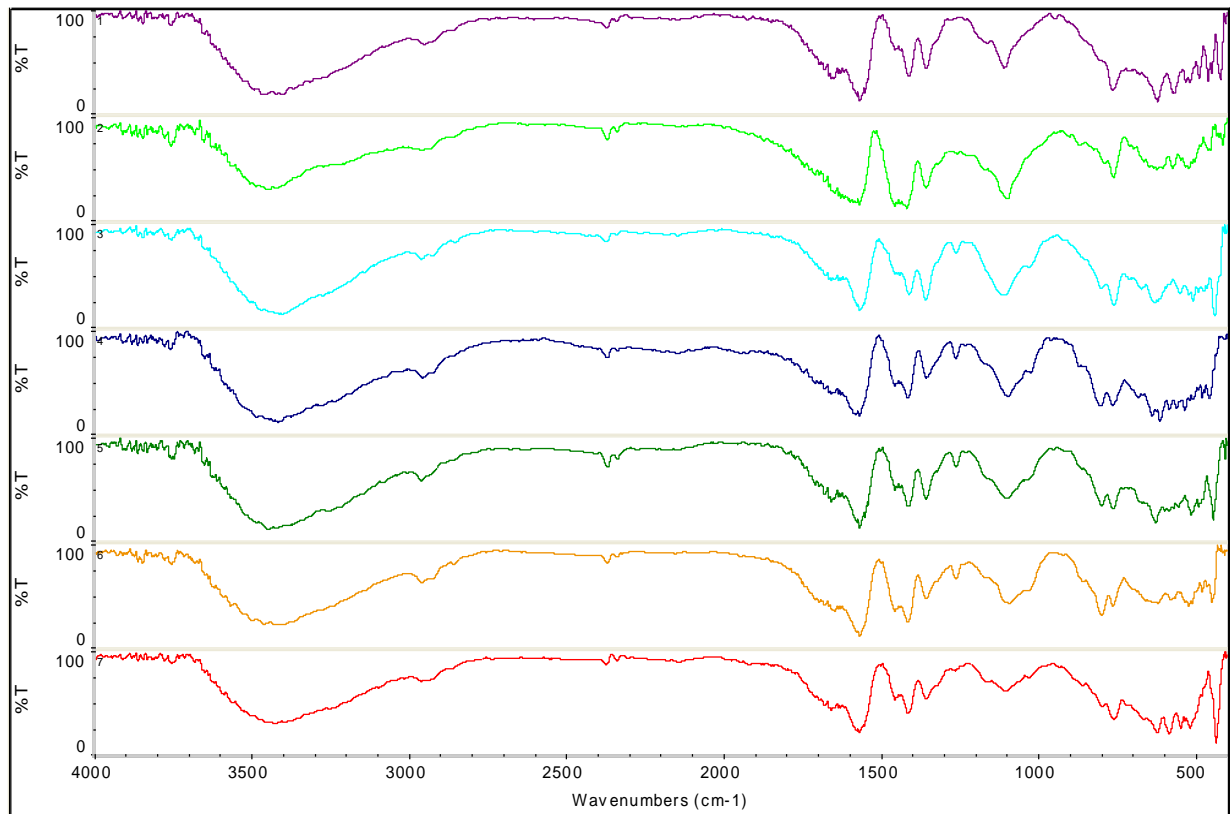
Fig. 56. Espectro IR Muestra B2.

**Producto C1****Fig. 57. Espectro IR Muestra C1.**



**Producto C3****Fig. 58. Espectro IR Muestra C3.**

En el análisis por IR de los diferentes polímeros se observa que existe mucha similitud entre los poliacrilatos analizados. Analizando cada espectro se tiene que los mismos muestran las bandas características del compuesto, observadas en el espectro obtenido de la literatura.



**Fig. 59. Comparación de espectros IR de las 7 muestras.**

En la tabla 35 se tienen descritos los picos característicos del espectro de este compuesto. Inicialmente se observó una banda en todos los espectros alrededor de los  $3430\text{cm}^{-1}$ , característica de la frecuencia de vibración del grupo O-H proveniente del agua en el polímero, la cual es absorbida del medio ambiente en períodos de tiempo

muy cortos, ya que el polímero es extremadamente sensible al agua. Seguidamente se observaron en todas las muestras analizadas unos pequeños picos alrededor de los  $2300\text{cm}^{-1}$  los cuales corresponden a la vibración de la deformación del grupo C-OH. Para todos los compuestos analizados se observaron señales por las vibraciones del grupo carboxílico  $\text{COO}^-$ , las cuales debido a las vibraciones de estiramientos simétricos de los aniones carboxilos se observaron muy claramente en la región de  $1570\text{cm}^{-1}$ . Más adelante se observaron igualmente para todos los espectros, un pequeño pico cerca de los  $1460\text{cm}^{-1}$  que viene dado por la deformación del grupo  $\text{CH}_2$ . Seguidamente se observaron en el rango de  $1357\text{cm}^{-1}$  a  $1360\text{cm}^{-1}$  los picos característicos del aleteo producido por el grupo  $\text{CH}_2$ . Más adelante se pudieron observar una o dos bandas alrededor de los  $1100\text{cm}^{-1}$  que corresponden a la flexión en el plano de los enlaces C-H. Finalmente se observó para todos los espectros un pico alrededor de los  $760\text{cm}^{-1}$  correspondiente al balanceo del grupo  $\text{CH}_2$ .

Frecuencias FTIR (cm <sup>-1</sup> )	Descripción
433	Flexión en el plano de C-C
449	Flexión en el plano de C-C
462	Flexión en el plano de C-C
470	Flexión en el plano de C-C
487	Flexión en el plano de C-C
760	Balaceo del CH <sub>2</sub>
1120	Flexión en el plano de C-H
1160	Flexión en el plano de C-H
1360	Aleteo de CH <sub>2</sub>
1460	Deformación de CH <sub>2</sub>
1575	Estiramiento simétrico de COO <sup>-</sup>
1616	Deformación de C-OH
1629	Deformación de C-OH
2360	Vibración de deformación de C-OH
3180	Estiramiento de C-H
3180-3860	Estiramiento de OH

**Tabla 35. Picos característicos IR Poliacrilato de sodio**

En general se pudo observar que las muestras analizadas mediante esta técnica de caracterización no presentaron diferencias que permitieran establecer rasgos característicos de grupos funcionales en su estructura, por lo que no se logró distinguir alguna variación estructural en los poliacrilatos de sodio empleados en cada centro absorbente estudiado.

Debido al desconocimiento de los agentes reticulantes empleados en el proceso de polimerización del poliacrilato de sodio (ya que los mismos son fabricados por

empresas que no dan a conocer esta información) la técnica de espectroscopia de IR no fue lo suficientemente robusta para dar algún tipo de información clave para la diferenciación de las muestras analizadas.

#### **5.4 Generalidades del análisis**

En general a lo largo del análisis se pudo apreciar que cada pañal tiene su diseño en función tanto de la marca a la que pertenece como de su categoría. Por ejemplo en lo que respecta a la dimensiones del pañal se pudo observar que las tres marcas poseen distribuciones de tamaño conforme al cuerpo del bebé, es decir, la forma en cuanto al largo y ancho del pañal se ajusta a la forma de las piernas y las entrepierna del bebé de manera tal de lograr una estructura anatómica, sin embargo la excepción está en el producto C3 el cual tiene una estructura prácticamente rectangular dada sus dimensiones, esto se debe a que esta marca muestra una diferencia en términos de calidad entre sus productos de alta y baja categoría. En el caso de la marca A se pudo observar que posee dimensiones mucho más similares entre sus productos a pesar de pertenecer a categorías diferentes, mientras que los productos de las marcas B y C tienen dimensiones que revelan productos menos anatómicos a medida que bajan de categoría. Por otro lado, nuevamente la marca A ofrece pañales más largos que las otras marcas.

Por su parte comparando con más detalle las dimensiones del pañal se tiene que en cuanto a los centros absorbentes nuevamente la marca A ofrece productos con centros más largos, con diferencias mayores a 50mm, incluso para productos de mejores categorías de las otras marcas. Del mismo modo el centro absorbente de los productos de esta marca también muestran forma de reloj de arena, siendo menos ancho en la

zona de la entrepierna del pañal y más ancho en la zona frontal y posterior, al contrario de los centros absorbentes de las otras dos marcas que son prácticamente rectangulares. En cuanto a la posición del centro absorbente a lo largo del pañal se tiene que a más baja categoría se posiciona el mismo cada vez más lejos del borde del pañal, mientras que se observa que al tener los productos de la marca A un centro absorbente más largo los mismo tienen un espacio más corto en la distancia hacia el borde posterior del pañal, con hasta 30mm menos que los productos de la marca B y C.

En lo que respecta a la capa de adquisición-distribución, se tiene que en todos los productos la misma viene en forma rectangular, siendo más pequeña en productos de más baja categoría para todas las marcas, ya que mejor categoría mayor era el ancho de la capa de adquisición.

Analizando los pesos del pañal se tiene que a mejor categoría mayor es el peso del pañal para todas las marcas, mientras que los pañales con menores pesos los tienen los productos de la marca A. Es importante mencionar que al realizar el análisis por zonas, las zonas 1 y 8 del pañal poseen mayores pesos lo que se atribuye al hecho de que en estas zonas es donde se encuentran los componentes de ajuste del pañal (orejas, teipes, banda de ajuste, etc.) por lo que se incrementa considerablemente su peso en comparación a las otras zonas intermedias. Para el resto de las zonas (de la 2 a la 7) la tendencia muestra que a medida que se avanza de zona en zona las mismas van disminuyendo en peso, excepto en el caso del producto C3, el cual tiene pesos muy similares entre todas sus zonas, quizás es por ser el producto de más baja categoría de una marca que se puede notar fácilmente que desmejora las condiciones de los productos a medida que disminuye su categoría.

Comparando los pesos del chasis se observó que a mejor categoría mayor es el peso del chasis para todas las marcas, mientras que al comparar entre productos de la misma categoría se observó en todos los casos que los productos de la marca A son quienes tienen los mayores pesos en sus chasis. Comparando a su vez el chasis por zona, se tiene que nuevamente en las zonas 1 y 8 del chasis poseen mayor peso, lo que previamente se justificó con el hecho de que en estas dos zonas es donde se encuentran los componentes del pañal que permiten el ajuste del mismo.

En lo que respecta a la capa de adquisición en general se pudo observar que no todos los productos tienen capa de adquisición-distribución cubriendo las mismas zonas, es decir, las capas cubren en cada producto longitudes diferentes, incluso para productos de la misma marca. Para la marca A, los productos A1 y A3 tienen una capa de adquisición-distribución desde la zona 1 hasta la zona 5 del centro absorbente, mientras que en el producto A2 la capa cubre desde la zona 1 hasta la zona 6. Por su parte ambos productos de la marca B tienen una capa de adquisición-distribución que cubre desde la zona 2 hasta la zona 6, mientras que el producto C1 tiene la capa de adquisición-distribución desde la zona 2 hasta la zona 6, y el producto C3 tiene la capa desde la zona 2 hasta la zona 7. De esta manera se pudo observar que no importa a que marca o a que categoría pertenezcan los productos, sus capas de adquisición-distribución cubren un número distinto de zonas del centro absorbente. En general se pudo observar que los productos de la marca A mostraron una diferencia notable de sus pesos con respecto a los productos de las otras dos marcas, lo que se justificó con el hecho de que la capa en esta marca posee la particularidad de tener en su superficie una capa de pulpa de celulosa tratada que permite un mejor desempeño en términos de absorción para sus centros absorbentes, lo que genera un incremento en el peso. Es importante tomar en cuenta que al momento del diseño se considera que la unión de esta pulpa de celulosa a la capa de adquisición-distribución sea considerado como dos veces la capa de los productos de las otras dos marcas, sin embargo los pesos de

las capas de los productos A1, A2 y A3 superan en más de 3 veces el peso de las otras marcas, incluso para los productos de una misma categoría.

Pasando al polímero superabsorbente (PSA) se tiene que para todas las marcas a mejor categoría mayor cantidad de PSA tiene el centro absorbente, mientras que para todas las categorías los productos con mayor cantidad de PSA son los de la marca A. Analizando por zonas se pudo observar que los productos de la marca A en la mayoría de las zonas posee la mayor cantidad de polímero superabsorbente.

Por su parte la pulpa de celulosa mostró una diferencia muy marcada entre los productos de la marca A y los productos de las marcas B y C, ya que los valores de estas últimas dos marcas son incluso dos veces mayores a los obtenidos para la marca A. En este caso se pudo apreciar que contrario a lo observado con los otros componentes analizados, en este caso a más baja categoría mayor es la cantidad de pulpa de celulosa. Este comportamiento es opuesto al observado para el PSA en todos los productos, demostrando una proporción inversa de ambos compuestos a lo largo del centro absorbente.

La cantidad de PSA y su distribución a lo largo de las zonas del centro absorbente permitió determinar el tipo de centro absorbente que analizado, teniendo en el caso de los productos de la marca A centros absorbentes una distribución diferente a lo largo de las zonas del pañal sugiriendo que el tipo de centro es perfilado, mientras que para los productos de las marcas B y C la distribución de PSA fue prácticamente uniforme sugiriendo que los mismos productos son de centros planos.



En cuanto a la relación de los componentes del centro absorbente (polímero superabsorbente y pulpa de celulosa) se pudo observar que para los productos de la marca A la mayoría de las zonas tiene una relación por encima de 1, la cual viene determinada por una mayor cantidad de PSA en el centro absorbente que de pulpa de celulosa, mientras que por el contrario para los productos de las marcas B y C la relación en todas las zonas de sus centros absorbentes se encuentran por debajo de 1, lo cual demuestra una mayor cantidad de pulpa de celulosa que de PSA a lo largo del centro absorbente. De esta manera se puede ver que las marcas además de poseer perfiles diferentes de distribución de PSA a lo largo del centro absorbente, también tienen diferencias evidentes en términos de distribución del núcleo. Estas relaciones mostraron la tendencia que a menor categoría la relación PSA/Pulpa disminuye, debido al aumento de la cantidad de pulpa y la disminución de la cantidad de PSA previamente comentada. De igual modo en las zonas intermedias (zonas 4 y 5) de los productos de la marca A la relación muestra relaciones mayores que el resto de las zonas, debido a que en estas zonas aumenta la cantidad de PSA en esta marca. Por último también se pudo observar que en los productos de las marcas B y C las relaciones entre las zonas tienen valores más cercanos entre sí a lo largo del centro absorbente, que los de la marca A, y esto se debe al tipo de perfil de distribución de estos productos, previamente descritos

Por su parte el análisis de bromocresol permitió visualizar de una manera mucho más sencilla la distribución de los componentes en el centro absorbente, ya que al colorear de púrpura las zonas con PSA y de amarillo las zonas con pulpa de celulosa permitió observar la forma de construcción del centro. Se observó que los productos de la marca A son quienes muestran menos zonas con pulpa de celulosa concentrada, mientras que estas zonas aumentan visualmente en los productos de la marca B y C, siendo incluso mucho más numerosas y notables en el producto C3, comportamiento que era de esperarse, ya que al analizar previamente los porcentajes de estos dos

componentes en el pañal, la pulpa de celulosa fue significativamente mayor en los productos de las marcas B y C. En el caso de los productos de la marca A el color púrpura era predominante, observándose que el centro absorbente venia dado por una mezcla entre ambos componentes, mientras que en el caso de las marcas B y C, el color predominante era amarillo, observándose también una mezcla de ambos componentes, pero en este caso en particular la superficie del centro absorbente venia totalmente recubierta con una capa compacta de pulpa de celulosa, a la cual se le atribuye el efecto de compactar y darle estabilidad al centro absorbente, evitando posibilidades de deformación del mismo al momento de la absorción.

En lo que se refiere al desempeño se observó la tendencia que a mejor categoría mejor es el desempeño del producto, para todas las marcas, mostrando un mejor desempeño total los productos de la marca A en todas las categorías, a pesar que en la primera de las cuatro descargas los productos de las marcas B y C mostraron un desempeño mejor en términos de tiempo y velocidad de absorción, pero desmejoraron notablemente su capacidad en las tres descargas siguientes. Esta diferencia en desempeño se puede atribuir principalmente a la distribución de los componentes en el centro absorbente y a sus cantidades, ya que se puede notar que evidentemente el hecho de que los productos de la marca A tengan mayor cantidad de PSA en sus centros absorbentes hace que los mismos tengan una mayor capacidad de absorción en menos tiempo y una retención mayor del líquido absorbido, mientras que por su parte la capa de pulpa de celulosa en los productos de las marcas B y C hacen que en la primera descarga la absorción sea más rápida, pero una vez que esta capa absorbe líquido pierde su capacidad de rápida absorción y retención en las siguientes descargas, pero mantiene estructuralmente la estabilidad y firmeza del núcleo al resistir las fuerzas de deformación causadas por la absorción y consecuente hinchazón del PSA.

Finalmente en lo que se refiere al análisis estructural del PSA mediante la técnica de FTIR, no se pudieron determinar diferencias estructurales notables entre los 7 tipos de PSA analizados, por lo que esta técnica no es lo suficientemente robusta para analizar este polímero en particular, sin conocer previamente los compuestos que forman parte de la fabricación del mismo, para tener una base acerca de los agentes reticulantes que son quienes marcan diferencias en términos de capacidad de absorción del poliacrilato de sodio.

## VI. CONCLUSIONES

- La cantidad y propiedades absorbentes de los materiales de los centros absorbentes de pañales desechables, impactan directamente el desempeño del pañal.
- Los productos de la marca A poseen una mayor cantidad de PSA que sugiere una mejor capacidad para el desempeño del pañal en términos de absorción y devolución del líquido.
- En los productos de la marca A la relación PSA/pulpa evidencia una disminución crítica de la cantidad de pulpa de celulosa en el centro absorbente, que pudiese estar afectando la caída y el abultamiento observado en los pañales.
- Los centros absorbentes de los productos de las marcas B y C tienen un comportamiento de centros no perfilados debido a la distribución prácticamente equitativa entre las 8 zonas del core.
- La capa de celulosa que envuelve los centros absorbentes de los productos de las marcas B y C podrían estar influenciando directamente la manera en que se hincha el centro absorbente, al conformar una estructura más compacta y menos propensa a deformaciones.

- En los productos de las marcas B y C se evidencian diferencias en el diseño y construcción de sus productos de diferentes categorías, mientras que los productos de la marca A mantienen un estándar de calidad equitativa en todas sus categorías.
  
- La técnica de espectrofotometría de IR sugiere que no existen diferencias estructurales entre los PSA que puedan estar afectando su comportamiento de hinchamiento, por lo que se presume que la técnica no es la adecuada para lograr diferenciar estructuralmente estos compuestos.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Leverich L. Google books. [En línea].; 2011 [Consultado en Febrero 2011]. Disponible en: [http://books.google.co.ve/books/about/Cloth\\_Diapers.html?id=Nz4J9oSJT4IC&redir\\_esc=y](http://books.google.co.ve/books/about/Cloth_Diapers.html?id=Nz4J9oSJT4IC&redir_esc=y).
2. Richer C. The Disposable Diaper Industry Source. [En línea]. [Consultado en Noviembre 2010]. Disponible en: <http://disposablediaper.net/general-information/disposable-diaper-history/>.
3. Goellner M, Ziegler E, Fomon S. Urination during the first three years of life. *Nephron*. 1981; 28: p. 174-178.
4. Kosemunda K, Schlattera JL, Ochsenhirtb EL, Krausea MDS. Safety evaluation of superabsorbent baby diapers. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Marzo 2009; 53(81-89).
5. Borgatta MA. Desarrollo de un modelo de distribución de fluidos para los sistemas de centro perfilado y centro plano en pañales tipo bikini. Tesis Pregrado. Caracas: Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería química; 2005.
6. EDANA. [En línea]. [Consultado en Noviembre 2011]. Disponible en: <http://www.edana.org/discover-nonwovens/what-are-nonwovens->.
7. Pine SH, Hendrickson JB, Cram DJ, Hammond GS. Química orgánica. In Pine SH, Hendrickson JB, Cram DJ, Hammond GS. Química orgánica. México: McGraw-Hill; 1994. p. 985.
8. Cáceres LC. Caracterización de materiales de toallas sanitarias para determinar sus costos de fabricación. Tesis de pregrado. Caracas: Universidad Simón Bolívar,

Coordinación de Ingeniería química; 2004.

9. Wikipedia. [En línea]. [Consultado en Noviembre 2011]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Celulosa>.
- 10 Buchholz FL. Structural representation of polymers. In John Wiley & Sons I. . Encyclopedia of polymer science and technology.; 2002. p. 106-121.
- 11 Malone LJ, Dolter T. Basic concepts of chemistry. 8th ed.; 2008.  
.
- 12 Junwu C, Yaoming Z. An efficient preparation method for superabsorbent polymers. . Journal of applied polymer science. Octubre 1999; 74(119-124).
- 13 Kots JC, Treichel PM, Townsend JR. Chemistry and chemical reactivity. 8th ed. . Belmont, USA: Cengage Learning; 2011.
- 14 Katime I. Hidrogeles inteligentes. Universidad del País Vasco, Departamento de . Química Física.
- 15 Liu ZL, Rempel GL. Preparation of superabsorbent polymers by crosslinking acrylic . acid and acrilamide copolymers. Journal of applied polymer science. Mayo 1997; 64(7): p. 1345-1353.
- 16 Bell CL, Peppas NA. Equilibrium and dynamic swelling of polyacrylates. Polymer . Engineering & Science. Julio 1996; 36(14): p. 1856-1861.
- 17 Sohn O, Dukjoon K. Theoretical and experimental investigation of the swelling . behavior of sodium polyacrylate superabsorbent particles. Journal of applied polymer science. Enero 2003; 87(2): p. 252-257.
- 18 Giri N, Natarajan R, Gunasekaran S, Shreemathi S. <sup>13</sup>C NMR and FTIR

. spectroscopic study of blend behavior of PVP and nano silver particles. Archives of Applied Science Research. Octubre 2011; 3(5): p. 624-631.

19 Anbudayanidhi S, Nayak S, Mohanty S. Synthesis and water state characterization . of polysodium acrylate/cellulose microfibril hydrogels. Journal of Thermoplastic Composite Materials. Enero 2013;: p. 1-13.