

**DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS VARIABLES INFLUYENTES EN LA
RESISTENCIA AL *T-PEEL* DE LOS ABSORBENTES PARA ADULTOS FABRICADOS
EN FAMILIA SANCELA DEL PACIFICO**

LUIS CARLOS VILLAREJO RAMIREZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

**DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS VARIABLES INFLUYENTES EN LA
RESISTENCIA AL *T-PEEL* DE LOS ABSORBENTES PARA ADULTOS FABRICADOS
EN FAMILIA SANCELA DEL PACIFICO**

LUIS CARLOS VILLAREJO RAMIREZ

**Proyecto de grado para optar por el título de:
Ingeniero Mecánico**

**Director:
Argemiro Collazos Pino M.Sc**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

Nota de aceptación:

Firma del presidente de aprobadores

Firma del aprobador

Firma del aprobador

Santiago de Cali (06 de Noviembre de 2012)

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y por todo lo maravilloso que me ha dado; por darme las facultades para poder culminar este proyecto. A la Santísima Virgen María, por su intersección y protección. Un agradecimiento especial a mis padres; por el aprecio y apoyo incondicional. También a mi hermana, a mi abuela y demás familiares por su apoyo. A María Fernanda Idárraga por toda la colaboración prestada, por su paciencia y comprensión.

Quiero agradecer a la Universidad del Valle. En especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica. A mi director Argemiro Collazos M.sc; la atención recibida, por su colaboración prestada en la realización de este proyecto.

A Familia Sancela del Pacífico en gerencia del Ing. Andrés Gómez, por permitirme realizar éste proyecto en la empresa. Al Ing. Jaime Enrique Esguerra, por darme la oportunidad de realizar mi práctica profesional en Familia y por proponerme éste tema como proyecto de grado. A los compañeros de Familia; a los proveedores de Nordson y a HB. Fuller, por los resultados suministrados en las pruebas de laboratorio.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	16
OBJETIVOS.....	18
1. PRUEBA <i>T-PEEL</i> , TRABAJO DE ADHESION Y APLICACIÓN DE ADHESIVO	19
1.1 PRUEBA DE <i>T-PEEL</i>	19
1.2 TRABAJO DE ADHESION Y FALLA ADHESIVA	23
1.3 SISTEMA DE APLICACIÓN DE ADHESIVOS HOT MELT PSA.....	25
1.4 MÉTODO UTILIZADO EN FAMILIA SANCELA DEL PACÍFICO PARA LA PRUEBA DE <i>T-PEEL</i> EN ABSORBENTES	29
1.5 DOCUMENTACION DE LAS CONDICIONES ESTANDAR DE OPERACION	30
1.5.1 Máquina Principal	31
1.5.2 Sistema de dosificación de adhesivos	32
1.5.3 Acometida neumática	33
1.5.4 Rodillo tensor y laminación central	34
1.5.5 Adhesivo y substratos.....	36
1.5.5 Condiciones ambientales	36
1.6 RESULTADO DE LA RESISTENCIA AL <i>T-PEEL</i> EN CONDICIONES ESTANDAR.....	37
2. ADHESIVOS <i>HOT MELT PSA</i> Y SUS PROPIEDADES	45
2.1 GENERALIDAD SOBRE ADHESIVOS	45
2.2 ADHESIVO <i>HOT MELT</i> SENSIBLE A LA PRESION (HMPSA)	45
2.3 PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS HMPSA	46
2.3.1 Pegajosidad (<i>Tack</i>).....	46
2.3.2 Temperatura de transición vítrea (T_g).....	46
2.3.3 Temperatura de falla adhesiva en cortante (<i>SAFT</i>)	46
2.3.4 Resistencia al rasgado (<i>peel strenght</i>)	46
2.3.5 Viscosidad.....	46
2.3.6 Tiempo abierto del adhesivo (t_{op})	47

2.3.7 Tiempo de fijación (<i>set time</i>):	47
2.3.8 Temperatura de ablandamiento (<i>softening temperature</i>):	47
2.3.9 Estabilidad térmica	47
2.3.10 Energía superficial:	47
2.3.11 Propiedades viscoelásticas (reología)	47
2.3.12 Resistencia al cortante (<i>shear strength</i>):	48
2.3 COMPONENTES DE UN <i>HMP</i> SA Y SUS FUNCIONES	48
2.4 VISCOELASTICIDAD LINEAL	49
2.4.1 Prueba de análisis dinamomecánico (DMA)	50
2.4.2 Proceso de unión y desunión	54
2.5 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ANALISIS DINAMOMECANICO (DMA)	55
2.5.1 Fase fundida	56
2.5.2 Fase de meseta o <i>plateau</i>	58
2.5.3 Fase de transición vítrea	59
2.5.4 Proceso de unión y desunión	60
 3. TRANSFERENCIA DE CALOR DURANTE EL TIEMPO ABIERTO DE MÁQUINA	 62
3.1 PERFIL DE ENFRIAMIENTO DEL ADHESIVO DURANTE EL TIEMPO ABIERTO DE MÁQUINA	 63
3.2 ANALISIS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y PERFILES DE TEMPERATURA	68
3.2.1 Propiedades termofísicas de los materiales	68
3.2.3 Planteamiento, Cálculos y análisis de la transferencia de calor	73
 4. CURVA DE CURADO PARA EL ADHESIVO <i>HOT MELT PSA</i> EN LOS ABSORBENTES PARA ADULTOS	 82
4.1 PROCEDIMIENTO DE CURADO EN LOS <i>HOT MELT PSA</i>	82
4.2 RESULTADOS DE LA CURVA DE CURADO DEL ADHESIVO <i>NW-1094ZP</i>	83
 5. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LAS MEDICIONES DE LAS VARIABLES INFLUYENTES EN LA RESISTENCIA AL <i>T-PEEL</i>	 89
5.1 EXPERIMENTOS FACTORIALES	89
5.1.2 Análisis de la varianza con tres factores	89
5.2 LIMITES DE TOLERANCIA (CONTROL)	92
5.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	92
5.3.1 Formulación del problema	92

5.3.3 Diseño del experimento	100
5.3.4 Análisis de los datos obtenidos	110
5.4 CONDICIONES ÓPTIMAS DE UNION ADHESIVA.....	122
5.5 AHORRO ESTIMADO CON NUEVAS CONDICIONES.....	125
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	128
ANEXO A: Fichas técnicas de equipos de producción, sistemas de adhesivos y medición.....	130
ANEXO B: Fichas técnicas de las materias primas	141
ANEXO C: Resultados de pruebas y mediciones.....	144
ANEXO D: Figuras y tablas obtenidas de Libros.....	161
ANEXO E: Procedimientos	163
BIBLIOGRAFIA	164

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Desplazamiento volumétrico de bombas Versablue Nordson	27
Tabla 1.2 Especificaciones de la prueba de sellados extremos del absorbente <i>TENA</i>	30
Tabla 1.3 Ficha actual de operación en la línea principal.	32
Tabla 1.4 Ficha a condiciones estándar de los dosificadores de adhesivo	32
Tabla 1.5 Parámetros neumáticos para condiciones estándar de máquina	34
Tabla 1.6 Materias primas: Adhesivo, TNT de PP y TNT de PE. Utilizados actualmente en <i>TENA</i> SLIP.....	36
Tabla 1.7 Condiciones ambientales en la planta de producción.	37
Tabla 1.8 Ficha técnica para la prueba T-peel en condiciones estándar	37
Tabla 1.9 Resultado de la resistencia T-peel. Lado frontal y posterior.....	38
Tabla 1.10 Resultados descriptivos de las condiciones estándar de operación	41
Tabla 1.11 Resultados del Test de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk	44
Tabla 2.1 Principales componentes de un <i>HM</i> , y sus funciones	48
Tabla 2.2 Parámetros de la prueba <i>DMA</i> (barrido de temperatura)	55
Tabla 2.3 Parámetros de la prueba para medición de la viscosidad del adhesivo.....	57
Tabla 2.4 Parámetros de la prueba <i>DMA</i> (barrido de frecuencia)	60
Tabla 3.1 Resultados del calor específico del adhesivo en función de la temperatura	69
Tabla 3.2 Resumen, con los parámetros necesarios para realizar los cálculos.	75
Tabla 4.1 Condiciones de la prueba T-peel para la elaboración de la curva de curado.....	84
Tabla 4.2 Resultados de la curva de curado para el lado frontal	85
Tabla 4.3 Resultados de la curva de curado para el lado posterior	86
Tabla 5.1 ANOVA para experimento factorial con tres factores con <i>n</i> repeticiones	91
Tabla 5.2 Condiciones de temperatura para la experimentación.	103
Tabla 5.3 Medición de la temperatura superficial del adhesivo en reposo con la cámara termográfica.....	103

Tabla 5.4 Niveles del experimento para el rodillo tensor	104
Tabla 5.5 Cantidad de adhesivo dosificado para cada aplicación.....	106
Tabla 5.6 Resultados de la verificación del sistema impulsor de adhesivo y corrección del sistema	107
Tabla 5.7 Resumen del diseño experimental factorial	108
Tabla 5.8 Ficha técnica para la prueba <i>T-peel</i> en absorbentes para adultos de FSP.....	110
Tabla 5.9 Resultados completos de la fuerza máxima de la prueba experimental	111
Tabla 5.10 Resultados completos de la carga media entre límites de la prueba experimental	112
Tabla 5.11 Resultados promedios de la energía de fractura adhesiva máxima	113
Tabla 5.12 Resultados promedios de la energía de fractura adhesiva media entre límites	113
Tabla 5.13 Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas	114
Tabla 5.14 ANOVA de datos del ensayo T-peel	115
Tabla 5.15 Prueba de Duncan para la fuerza máxima	120
Tabla 5.16 Prueba de Duncan para la carga media	120
Tabla 5.17 Condiciones óptimas de operación para la unión adhesiva principal en absorbente para adultos TENA.....	123
Tabla 5.18 Ahorros estimados entre jun 2012 y jun 2013.....	125

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Esquema de la prueba <i>T-peel</i>	19
Figura 1.2 Esquema simple de la prueba <i>Peel</i>	20
Figura 1.3 Resultado típico de una prueba <i>T-peel</i>	23
Figura 1.4 Esquema del ángulo de contacto y componentes de las energías superficiales	23
Figura 1.5 a. Ejemplos de falla cohesiva y adhesiva, b. regiones de una junta adhesiva como similitud de una cadena.....	25
Figura 1.6 Diagrama de flujo del adhesivo en tanques Versablue	25
Figura 1.7 Algunas partes del sistema de aplicación de adhesivo <i>Hot melt</i>	26
Figura 1.8 Toma de muestras para evaluar el sellado de extremos de un absorbente (NTC 2882) 29	
Figura 1.9 . Laminación principal (<i>Marriage point</i>)	31
Figura 1.10 Acometida neumática de control y de proceso de los sistemas de adhesivos, para las aplicaciones de TNT y TBS	34
Figura 1.11 Esquema de la unión entre el <i>TNT-Núcleo-TBS</i> y rodillo tensor	35
Figura 1.12 Resultado gráfico de <i>T-peel</i> para algunas probetas de la tabla 1.9	39
Figura 1.13 Histograma de frecuencias y asignación de la normal	42
Figura 1.14 Q-Q normal de los resultados a condiciones iniciales	43
Figura 2.1 Esquema de microfases separadas de un adhesivo de copolímeros en bloque.....	49
Figura 2.2 Módulo elástico G' y tangente de pérdida $\tan \delta$, en función de la temperatura.....	51
Figura 2.3 Elementos de un reómetro rotacional de Bohlin Gemini (Malvern).....	51
Figura 2.4 Cuando el material responde a la aplicación de una deformación, el esfuerzo como respuesta está fuera de fase	53
Figura 2.5 Representación gráfica de la relación entre los módulos y el ángulo de desfase en la prueba dinámica oscilatoria.....	54
Figura 2.6 Resultado de <i>DMA</i> para <i>NW-1094ZP</i> , se observa G' y $\tan \delta$, como también las fases características.....	56
Figura 2.7 Viscosidad vs temperatura del adhesivo <i>NW-1094ZP</i>	57
Figura 2.8 Módulo complejo G^* en función de la temperatura en la prueba <i>DMA</i> (se resalta la condición de <i>Dahlquist</i>)	59
Figura 2.9 Gráfico Curva <i>DMA</i> de barrido de frecuencia para el adhesivo <i>NW-1094ZP</i>	60

Figura 3.1 Variación de la temperatura y de las propiedades viscoelásticas en el proceso de unión adhesiva. Tres relevantes parámetros durante este proceso, a saber: 1. El nivel de viscosidad, 2. El nivel del módulo (criterio de Dahlquist), 3. Nivel de la complianza.....	62
Figura 3.2 Vista isométrica de un esquema de laminación	64
Figura 3.3 Curvas de C_p para distintos polímeros dentro de tres categorías	67
Figura 3.4 Variación de la conductividad térmica con la porosidad del TNT.	70
Figura 3.5 Termografías en varias posiciones del proceso de la tela no tejida del PP.	71
Figura 3.6 Planteamiento del problema por el método de diferencias finitas, para los cálculos de la transferencia de calor durante el tiempo abierto	73
Figura 3.7 Perfil de la curva de temperatura contra distancia abierta de máquina del polipropileno a condiciones iniciales. Se compara las temperaturas medidas con los resultados dados por la metodología planteada.....	76
Figura 3.8 Variación del perfil de temperatura con diferentes <i>pesos base del substrato</i> manteniendo todas las demás condiciones intactas.....	78
Figura 3.9 Variación del perfil de temperatura con diferentes <i>pesos base de aplicación de adhesivo</i> , manteniendo todas las demás condiciones intactas.....	78
Figura 3.10 Variación del perfil de temperatura con diferentes <i>porcentajes de porosidad del substrato</i> manteniendo todas las demás condiciones intactas.	78
Figura 3.11 Variación del perfil de temperatura con diferentes <i>temperaturas iniciales de aplicación de adhesivo</i> manteniendo todas las demás condiciones intactas.....	79
Figura 3.12 Comparación de los cambios de temperatura del adhesivo y el substrato a diferentes porosidades	80
Figura 3.13 Perfil de temperatura vs distancia recorrida para el PP. Implementándose un sistema de resistencias para los finales 50 cm del punto de contacto, impartiendo un flujo de calor constante al PP, se muestran las curvas para el nodo 2 y nodo 0 en cada flujo.	81
 Figura 4.1 Copolímero en tribloque SBS	82
Figura 4.2 Curva de curado para el adhesivo NW-1094 lado frontal.....	87
Figura 4.3 Curva de curado para el adhesivo NW-1094 lado posterior.....	87
 Figura 5.1 Clasificación general de las variables involucradas en la resistencia adhesiva durante <i>T-peel</i>	93
Figura 5.2 Curvas de enfriamiento del adhesivo para ambos substratos, se compara con respecto a la velocidad de máquina.....	101
Figura 5.3 Esquema del rodillo tensor para el nivel de ajuste mínimo, ángulo de 57°	105

Figura 5.4 Esquema del rodillo tensor para el nivel de ajuste máximo, ángulo de 64°	105
Figura 5.5 Esquema experimental 2 ³ , para el diseño propuesto.....	109
Figura 5.6 Gráfica de interacción entre la temperatura y el rodillo para la carga media	117
Figura 5.7 Gráfica de interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la carga media.....	117
Figura 5.8 Perfil de temperatura en el tiempo abierto para el PP y PE; variando la cantidad y la temperatura del adhesivo	118
Figura 5.9 Gráfica de interacción entre la cantidad de adhesivo y el rodillo para la carga media .	119

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Tabla A.1 Ficha técnica de la línea principal (SSP)	130
Tabla A.2 Equipos dosificadores de adhesivo. Tanque de aplicación TBS y TNT	130
Tabla A.3 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TNT	131
Tabla A.4 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS Centro	131
Tabla A.5 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS lado máquina	132
Tabla A.6 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS lado operador	133
Tabla A.7 Acometida neumática: aplicador para TBS centro, lado máquina y operador	135
Tabla A.8 Acometida neumática para el aplicador de TNT	136
Tabla A.9 Tensiómetro INSTRON	137
Tabla A.10 Cámara termográfica FLUKE Ti25	137
Tabla A.11 Reómetro (<i>Flow performance</i>) Bohlin Gemini	138
Tabla A.12 Viscosímetro rotacional Brookfield con thermosel	139
Tabla A.13 Tacómetro Digital DT-205L Shimpo Instruments	140
Tabla B.1 TNT (Topsheet), (tela no tejida de cubierta) Hidrofílica & Hidrofóbica	141
Tabla B.2 TNT (tela no tejida de barreras) Hidrofóbica	141
Tabla B.3 TBS (Textil Backsheet), Hidrofóbica	142
Tabla B.4 Adhesivo <i>NW-1094ZP Hot Melt PSA</i>	142
Tabla C.1 Velocidad lineal de las bandas transportadoras de las telas TBS y TNT	144
Tabla C.2 Resultados históricos de la resistencia al sellado de extremos año 2012	145
Tabla C.3 Resultados de la prueba <i>DMA</i> con barrido de frecuencias, datos en tabla.	151
Tabla C.4 Resumen de estadísticos descriptivos del resultado de la experimentación	152
Figura C.1 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado Frontal en condiciones estándar.	146
Figura C. 2 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado Frontal en condiciones estándar	147

Figura C.3 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> ; para lado Posterior en condiciones estándar	148
Figura C.4 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> ; para lado posterior en condiciones estándar	149
Figura C.5 Gráfico de Curva reológica de barrido de temperatura para el adhesivo NW-1094ZP	150
Figura C.6 Gráfico de Curva reológica de barrido de frecuencia para el adhesivo NW-1094ZP...	150
Figura C.7 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> para la curva de curado. 1 ra parte. Lado frontal	153
Figura C.8 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> para la curva de curado. 2 da parte. Lado frontal	154
Figura C. 9 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> para la curva de curado. 1 ra parte. Lado posterior.....	155
Figura C. 10 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> para la curva de curado. 1 da parte. Lado posterior.....	156
Figura C. 11 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> del diseño experimental. Lado frontal. 1ra parte	157
Figura C.12 Resultados gráficos de la prueba <i>T-peel</i> del diseño experimental. Lado frontal. 2da parte	158
Figura C.13 Interacción entre la temperatura y el ángulo del rodillo para la fuerza máxima (SPSS)	159
Figura C. 14 Interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la fuerza máxima (SPSS).....	159
Figura C.15 Interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la fuerza máxima .	160
 Figura D.1 Comportamiento de algunas propiedades de los polímeros en función de la temperatura	161
Figura D.2 Factores de tolerancia para distribuciones normales	162
 Anexo E. 1 Procedimiento de aforo del adhesivo.....	163

RESUMEN

En este documento se estudian y analizan las variables influyentes en la resistencia al *T-peel*, en la unión adhesiva entre la tela no tejida de polietileno y la tela no tejida de polipropileno, adheridas con adhesivo *hot melt PSA*. Ésta unión se presenta como construcción principal en los absorbentes para adultos *TENA*. Para tal fin, se elige la máquina *SSP* de *Familia Sancela del Pacífico* y se obtienen las condiciones estándar de trabajo de la línea principal; también se realiza la prueba *T-peel* a condiciones estándar de operación.

El análisis inicia con el estudio de las propiedades del adhesivo *hot melt PSA*; realizando la prueba DMA y caracterizando el adhesivo de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba. Después se analiza la transferencia de calor del adhesivo durante su enfriamiento en el tiempo abierto de máquina, con ello se construyen perfiles de enfriamiento determinados por el método de diferencias finitas a condiciones diversas de aplicación de adhesivo. Con estos perfiles se puede observar cómo varía el tiempo abierto del adhesivo.

Para contrarrestar la variable del *tiempo de curado* sobre la respuesta, y para considerar ésta variable como técnica de control dentro del diseño experimental; se ejecuta éste ensayo en máquina, realizando la prueba *T-peel* durante los tiempos siguientes: 15 minutos, 1 hora, 2 horas 5 horas, 9 horas, 1 día, 2 días y 4 días.

Al final del documento se realiza el diseño experimental, primero formulando el problema. Para ello de acuerdo a la investigación realizada en los capítulos anteriores, se enlistan todas las variables que pueden tener influencia sobre la respuesta. Luego se seleccionan las variables más significativas, y se realiza el experimento factorial 2^3 ; con tres factores: Temperatura de aplicación de adhesivo; tensión en las telas generadas por el rodillo tensor; y la cantidad de adhesivo. Cada factor se hace a dos niveles (alto y bajo), se aplica la técnica de la ANOVA para los tres factores y también el análisis de clasificación unidireccional. De los resultados se obtiene que las tres variables son significativas sobre la resistencia final. Con lo anterior se obtiene una nueva condición de trabajo para la máquina *SSP*. Se aplican límites de tolerancia y dan resultados confiables; la nueva condición involucraría mejor utilización de los recursos disponibles.

PALABRAS CLAVES: Adhesivo *hot melt* sensible a la presión (HMPSA), tela no tejida, *T-peel*, análisis dinamomecánico (DMA), Tiempo abierto de máquina y de adhesivo, tiempo de curado, diseño de experimentos factorial, análisis de la varianza (ANOVA); curva de enfriamiento del adhesivo.

INTRODUCCION

La resistencia al *T-peel* o rasgado en T, es una prueba mecánica que se aplica en uniones adhesivas entre sustratos que son flexibles¹ como las telas no tejidas (TNT). Esta prueba, se utiliza para verificar que los absorbentes para adultos tengan un buen cierre o sellado sobre sus extremos, y no exista el riesgo de que se quiebre el núcleo absorbente o se separe cuando son saturados. El sellado o laminación se da entre la cubierta impermeable (tela no tejida en polietileno) y cubierta permeable (tela no tejida en polipropileno). Detrás de esta prueba están involucradas muchas variables que están desde el proceso de unión adhesiva en línea principal, hasta en la prueba destructiva, las cuales afectan significativamente sobre la respuesta final (resistencia al *T-peel*). Algunas de ellas se desconocen por parte de la industria manufacturera y/o no se consideran importantes, cuando de verdad si los son; generando un uso inapropiado del adhesivo o paradas de máquina que se pueden evitar. Para determinar esas variables, y determinar la significancia en ellas, se elige la máquina SSP de *Familia Sancela del Pacífico* como línea principal, la cual fabrica los absorbentes para adultos *TENA*. De la máquina SSP, en la fabricación de *TENA Slip L*; se obtienen todos los parámetros de trabajo a condiciones estándar de operación relacionado con la unión adhesiva entre el PE y PP; con el fin de conocer la resistencia al *T-peel* en esas condiciones de trabajo.

El diseño experimental para analizar los efectos de las variables, consta en alterar algunos factores a niveles fijos y evaluar la respuesta (resistencia al *T-peel*); pero antes, se realiza una clasificación de las variables que pueden estar fuertemente influenciadas. Para lograr encontrar estas variables, se debe realizar un análisis formal sobre las etapas y cambios que suceden cuando se forma la unión adhesiva, y también cuando se hace la prueba destructiva. Estas etapas cubren primero analizar las propiedades del adhesivo (*hot melt PSA*). Éstos adhesivos pasan de ser sólidos a líquidos para ser aplicados, y después vuelven y solidifican formando uniones no estructurales. Las propiedades del adhesivo pueden ser analizadas con la prueba dinamomecánica (DMA). Por otro lado, los perfiles de enfriamiento del adhesivo durante el tiempo abierto de máquina, muestran la velocidad con que se enfría estos pegantes, la eficacia del pegado depende de cómo se presenta ésta velocidad, el método de diferencias finitas se utiliza para encontrar esos perfiles.

Los adhesivos forman entrecruzamientos físicos en sus cadenas poliméricas durante el enfriamiento; generando así, su fuerza cohesiva; además, como son materiales viscoelásticos

¹ La característica de esta flexibilidad se explica en el capítulo 1

dependen también de la temperatura o presión con que estén sometidos. La velocidad con que se forma su estructura o se llega al equilibrio dependen de las condiciones del medio, esto se conoce como *tiempo de curado*. El tiempo de curado, se evalúa realizando un experimento en el cual se hace la prueba de resistencia al *T-peel* en diferentes tiempos; es decir, a diferentes horas o días desde el momento que se realizó la unión adhesiva. La curva que se obtenga caracteriza la velocidad de curado del adhesivo.

Con el análisis llevado a cabo, se realiza la clasificación de todas las variables, se seleccionan algunas de las más importantes de acuerdo a un criterio técnicamente sustentado y asequible. Se aplica el diseño experimental factorial 2^k ; a través, de la técnica de la varianza (ANOVA). Con los resultados se pueden encontrar los efectos principales y también las interacciones entre factores, además se pueden hallar condiciones diferentes de operación para realizar la unión adhesiva en la línea principal. Permitiendo incluso ahorro en la utilización de materia prima.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar las variables predominantes en la resistencia al *T-peel* de los absorbentes para adultos de Familia Sancela del Pacífico; con el fin de inferir las condiciones óptimas para la unión adhesiva entre el TBS y TNT del absorbente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- o Documentar y crear las fichas de las condiciones actuales de operación de las aplicaciones de adhesivo en *TBS* y *TNT* de la máquina *SSP* (productora de absorbentes *TENA*).
- o Caracterizar las principales propiedades mecánicas y térmicas del adhesivo *NW-1094ZP* por medio de la curva dinamomecánica (DMA).
- o Analizar la transferencia de calor existente entre el adhesivo y el sustrato durante el tiempo abierto de máquina en las aplicaciones de *TBS* y *TNT*.
- o Realizar experimentalmente la curva de resistencia al *T-Peel* vs tiempo de curado, para determinar el tiempo de fijación del adhesivo *NW-1094ZP*.
- o Categorizar las principales variables involucradas en el proceso de la unión adhesiva y realizar diseño de experimentos factorial 2^k .

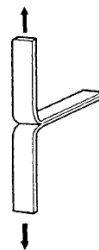
1. PRUEBA *T-PEEL*, TRABAJO DE ADHESION Y APLICACIÓN DE ADHESIVO

Este capítulo es una introducción a los conceptos relacionados a la adhesión y a la prueba *T-peel*. La teoría relacionada con la prueba *T-peel* se hace con el balance de energía adhesiva presente durante la prueba destructiva. Se describe además el *trabajo de adhesión* y las fallas más comunes que se dan en una junta adhesiva. Después de estos conceptos, se describe el sistema de aplicación de adhesivo utilizado en *Familia Sancela del Pacífico (FSP)*; la norma y la descripción utilizada en la prueba *T-Peel* para absorbentes *TENA*. Al final del capítulo se muestran las condiciones estándar de trabajo de la máquina *SSP* relacionado con la unión adhesiva entre el polietileno y el polipropileno, se dan los resultados iniciales de resistencia al *T-peel*. De los resultados se hace un análisis exploratorio de datos.

1.1 PRUEBA DE *T-PEEL*

Este ensayo consiste principalmente en determinar la resistencia al desprendimiento de la unión adhesiva entre sustratos flexibles por medio de un espécimen en forma de T [1]. La configuración de la prueba se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1 Esquema de la prueba *T-PEEL* [2]



Este método hace parte del conjunto de pruebas *PEEL*, que traduce “rasgado” o “pelado”, básicamente se basa en la medición del promedio de la fuerza requerida para separar progresivamente un miembro flexible de uno rígido o de otro miembro flexible por unidad de ancho. La flexibilidad referente aquí es la habilidad del sustrato a doblarse 90 grados sin que se rompa o se agriete.

La fuerza anterior mencionada, se puede dar en términos de la energía de *fractura crítica del adhesivo* G_c . La cual es independiente de los parámetros geométricos de la prueba; se determina mediante el enfoque del balance de energía de fractura; y se define como la energía necesaria para producir fractura por unidad de área a través de la unión adhesiva [3]. Ésta propagación de la fractura puede ocurrir en la adherencia (adhesivo-sustrato) o por medio del material (cohesivo).

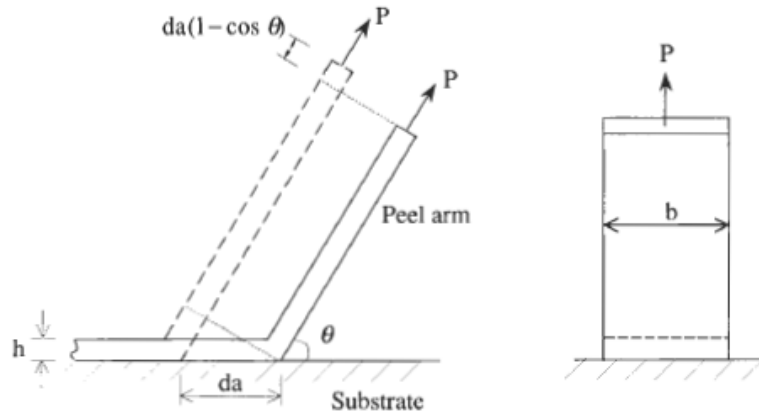
Es importante reconocer que el valor G_c incluye la energía disipada viscoelásticamente y plásticamente, la cual ocurre en la zona en que se produce la fractura. Estas energías están en función de la velocidad de *peel* y de la temperatura. Si las energías de pérdida (viscoelástica y plástica), son iguales a cero, y la falla de la fractura se presenta en la interface entre substrato-adhesivo; entonces, el valor G_c es igual al *trabajo de adhesión termodinámico* (W_a). Si no son iguales a cero estas energías de pérdida, entonces la relación es como se muestra en 1.1, la cual fue propuesta por *Gent - Schultz*, y *Andrews – Kinloch* [4]:

$$G_c = W_A[1 + \Phi(\vartheta, T)] \quad (1.1)$$

Donde Φ , es la energía de disipación en términos dependientes de la velocidad ϑ de desgarre y la temperatura de prueba T .

La forma más simple de la prueba de *Peel* se muestra en la figura 1.2.

Figura 1.2 Esquema simple de la prueba *PEEL* [3]



Considerando una delgada tira (*peel arm*) de espesor h , que es separada del substrato rígido a un ángulo θ , y una fuerza crítica P la cual rompe la unión. Si se asume que la tira no sufre deformación axialmente y que es completamente flexible en el doblado; entonces, un recorrido equivalente a da , debido a la fuerza P se mueve una distancia $da \cdot (1 - \cos \theta)$. Esto lleva a cabo un trabajo equivalente a $P \cdot da \cdot (1 - \cos \theta)$. Y se desplaza un área de $b \cdot da$, donde b es el ancho de aplicación de la cinta. Por lo tanto la energía de fractura adhesiva $G_c^{\infty E}$ por unidad de área es:

$$G_c^{\infty E} = \frac{P \cdot da \cdot (1 - \cos \theta)}{b \cdot da} = \frac{P}{b} (1 - \cos \theta) \quad (1.2)$$

Ésta es la ecuación base para el análisis de la prueba *peel*. El término ∞E , hace referencia a las consideraciones mencionadas anteriormente, las cuales son: la rigidez de la tira, ya que el módulo E tiende a infinito, y la flexibilidad al doblado de la tira.

Las consideraciones mencionadas, no siempre deben de aplicarse. Un análisis más complejo es aplicando la mecánica de la fractura; se debe tener en cuenta la energía de deformación de los materiales U .

En términos de la energía de la fractura de adhesión, sin tener en cuenta el *trabajo de adhesión termodinámico*, estas energías se resumen como:

$$G_c = \left(\frac{dU_{ext} - dU_s - dU_d - dU_k}{dA} \right) \quad (1.3)$$

Donde dA es el incremento del área dada por $b.da$. El término dU_{ext} , es el incremento de trabajo o energía externa para producir un desplazamiento de $da.(1-\cos \theta)$, dado por el equipo de prueba. El término dU_s , es la energía almacenada en la tira; dU_d , la energía de pérdida o disipación y dU_k , es el incremento al cambio de energía cinética. Las cargas presentes son la de tensión y flexión.

Considerando de nuevo la figura 1.2, y despreciando el cambio de energía cinética. Cuando la fuerza P se aplica, existe una deformación elástica normal en la tira con área $b.h$. De acuerdo a lo anterior, la tira tendrá una deformación ε , entonces habrá un incremento en el trabajo externo U_{ext} ; igual a:

$$\frac{dU_{ext}}{b.da} = \frac{P}{b} (1 + \varepsilon - \cos \theta) \quad (1.4)$$

Además, el cambio de *energía de almacenamiento* U_s y *perdida* U_d de la ecuación 1.3, no serán constantes, por lo que:

$$\frac{d}{b.da} (U_s + U_d) = h \int_0^\varepsilon \sigma.d\varepsilon \quad (1.5)$$

De acuerdo a las ecuaciones 1.4 y 1.5. Para la energía de fractura adhesiva G_c (ecuación 1.2), se puede escribir como:

$$G_c^{eb} = \frac{P}{b} (1 - \cos \theta) + h \left(\sigma \varepsilon - \int_0^\varepsilon \sigma.d\varepsilon \right) = \frac{P}{b} (1 - \cos \theta + 1/\sigma \int_0^\sigma \varepsilon.d\sigma) \quad (1.6)$$

Para el caso de materiales elástico-lineales, el término $1/\sigma \int_0^\sigma \varepsilon.d\sigma$, es igual a $\varepsilon/2$ [3].

Para la prueba *T-peel*; la ecuación 1.6 se convierte en:

$$G_c^{eb} = \left(2 + \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \right) P/b \quad (1.8)$$

La anterior considerando los substratos como materiales elástico lineales. Entonces los términos ε_1 y ε_2 serían iguales a: $\varepsilon_1 = \frac{P}{b \cdot h_1 \cdot E_1}$ y $\varepsilon_2 = \frac{P}{b \cdot h_2 \cdot E_2}$, los cuales son las deformaciones para ambas tiras.

Para el caso donde se considere cero la deformación en los substratos, es decir $\varepsilon = 0$, y además son elásticos para carga pequeñas. La ecuación anterior se transforma en:

$$G_c^{\infty E} = 2 \frac{P}{b} \quad (1.7)$$

De acuerdo al resultado anterior, la ecuación 1.1 se convierte en:

$$G_c \approx 2 \frac{P}{b} \approx W_A [1 + \Phi(\vartheta, T)] \quad (1.8)$$

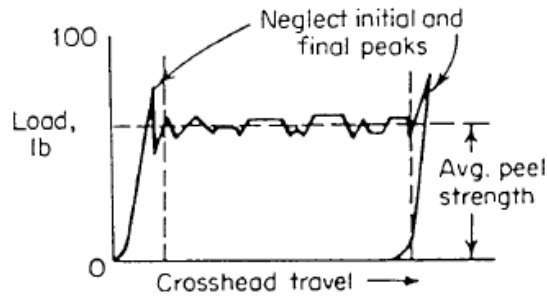
Los resultados de la prueba T-peel sería equivalente a la mitad de la *energía de fractura adhesiva*; la carga dependería solamente del *trabajo de adhesión* y del efecto viscoelástico del adhesivo.

La prueba de *Peel* es sensible a muchos factores, y es necesario tenerlos en cuenta en la prueba para tener resultados confiables. Las variables críticas incluyen [5]:

- Velocidad de *Peel* y ángulo.
- Temperatura del espécimen de prueba.
- La presión sometida en el pegue así como su velocidad. Y el número de pasadas.
- Tiempo de mora desde el pegue, antes de la prueba (tiempo de curado. Véase capítulo 4).
- Espesor del adhesivo (La fuerza de peel se incrementa al incrementar el grosor, como se verá en la experimentación).
- Espesor de los substratos, módulos, y elasticidad.
- Textura del substrato, energía de superficie, y limpieza.

El término P/b , de la ecuación 1.8, es la medida dada por el equipo de prueba. Sus unidades normalmente están en newton por el ancho de la probeta b . El resultado general es una gráfica como la que se muestra en la figura 1.3, donde el eje de las abscisas, es el recorrido de la unión adhesiva en unidades de mm, y el eje de las ordenadas, es la fuerza o carga medida para romper la unión adhesiva. Los datos de interés son la *fuerza crítica o máxima* y también la *carga media entre límites* como se muestra en la figura.

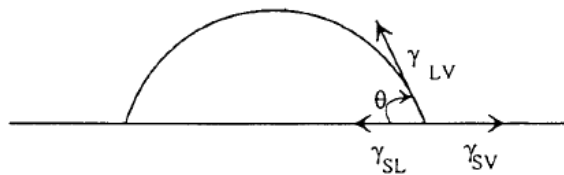
Figura 1.3 Resultado típico de una prueba *T-peel* [2]



1.2 TRABAJO DE ADHESION Y FALLA ADHESIVA

El trabajo de adhesión (W_a) de la ecuación 1.1, depende de la habilidad que tiene el adhesivo de tener un contacto continuo entre el sustrato, esto se conoce como *mojabilidad*. Es influenciado por las energías superficiales del sustrato y del adhesivo figura 1.4.

Figura 1.4 Esquema del ángulo de contacto y componentes de las energías superficiales [2]



En la teoría de la adsorción, las moléculas del adhesivo entran en la superficie del sustrato, generando la fuerza adhesiva; la cual es el resultado del contacto molecular entre dos materiales donde se encadenan fuerzas superficiales. Estas fuerzas son debidas generalmente a un enlace secundario o Van der Waals. Para ilustrar lo anterior de acuerdo a la figura 1.4, considerando una gota de líquido sobre una superficie solida, lisa y sin rugosidades. Al llegar al estado de equilibrio termodinámico se genera un ángulo θ de contacto. Al realizar un balance de fuerzas entre el líquido y el sólido; y despejando $\cos \theta$, se obtiene:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (1.9)$$

Donde γ_{LV} , γ_{SV} , γ_{SL} son las tensiones interfaciales entre *líquido-vapor*, *Sólido-Vapor* y *Sólido-líquido* respectivamente. La ecuación anterior se conoce como ecuación de Young. Para que exista mojabilidad en el sustrato el ángulo θ debe ser menor a 90° .

El trabajo de adhesión W_a , para separar un material homogéneo frágil que es sometido a fuerza de tensión, es $W_c = 2\gamma$. Cuando se presenta la falla se generan dos nuevas superficies, ésta falla se considera cohesiva, porque ha sido a través del mismo material y no desde una superficie entre dos materiales. Para el caso del contacto entre un adhesivo con el sustrato, el trabajo de

adhesión, es la suma de sus energías superficiales menos la energía interfacial entre adhesivo-substrato:

$$W_A = \gamma_{LV} + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (1.10)$$

La anterior es conocida como la ecuación de Dupré. Ahora sustituyendo la ecuación de 1.9 en la ecuación de Dupré, se obtiene:

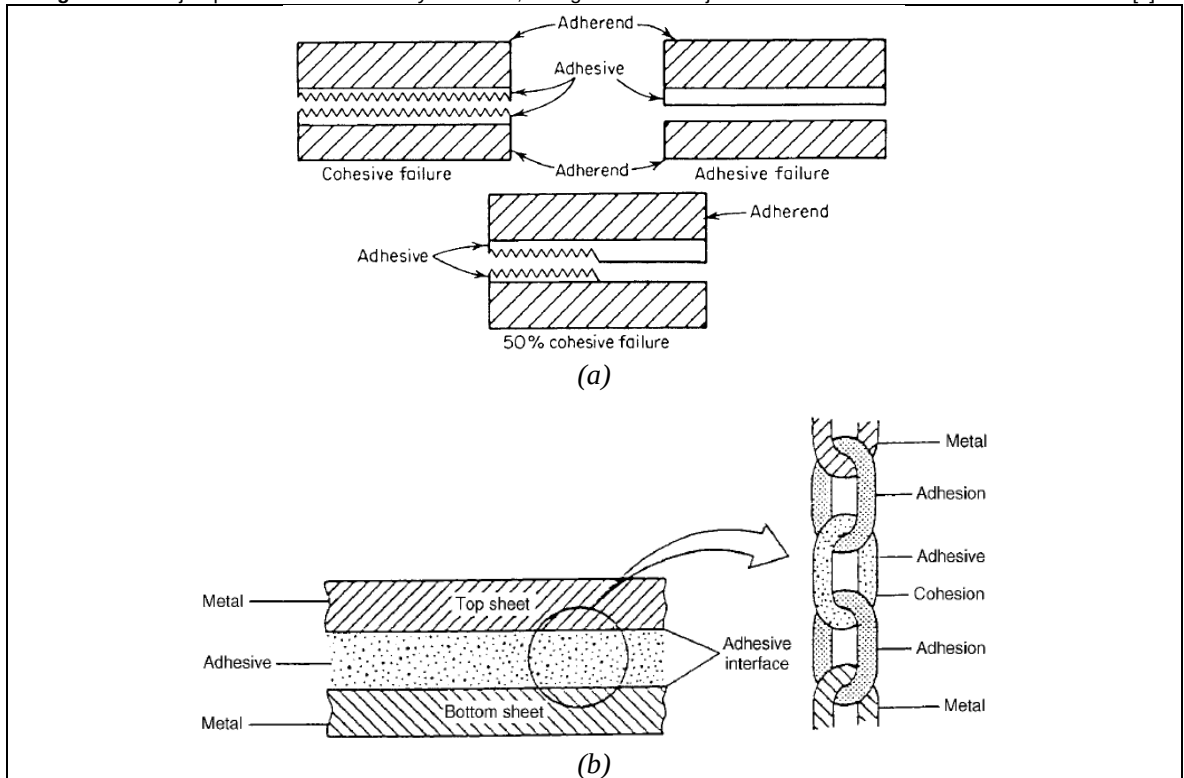
$$W_A = \gamma_{LV}(1 + \cos\theta) \quad (1.11)$$

Para que el trabajo de adhesión sea máximo, el adhesivo debe mojar toda la superficie del substrato ($\cos\theta \approx 1$), lo anterior con el fin de que exista una mayor área de contacto, y poder desencadenar mayor fuerza de adherencia. Si quedan espacios sin rellenar de adhesivo dentro del substrato, son factores de esfuerzos que disminuye la energía requerida para ocasionar fractura. Para los adhesivos sensibles a la presión (PSA), se requiere aplicar como su nombre lo señala una ligera presión sobre la unión, para que el adhesivo fluya a las concavidades del substrato.

Durante la prueba de *peel*, la falla en una unión adhesiva puede presentarse básicamente ya sea por la interface de los dos materiales (falla adhesiva), también a través de uno de los miembros del material (falla cohesiva), o puede haber falla combinada o mixta; esto se puede visualizar en la figura 1.5a, dentro de ésta falla se encuentra una fase de transición llamada falla de *stick-slip*, la cual se observa en el resultado gráfico picos y caídas regulares que corresponden a fallas tanto adhesivas como cohesivas. A “altas” velocidades y “bajas” temperaturas de prueba se puede presentar la falla frágil, es de notarse que el tipo de falla tiene mucha relación con la velocidad y la temperatura de prueba [6].

Las regiones de una junta adhesiva se pueden representar como una cadena, la cual cada eslabón corresponde a una fase respectiva, figura 1.5b. Lo más deseable desde luego para los absorbentes es que se presente falla cohesiva en uno de los substratos, pues indica que hay buena adherencia entre adhesivo y substrato.

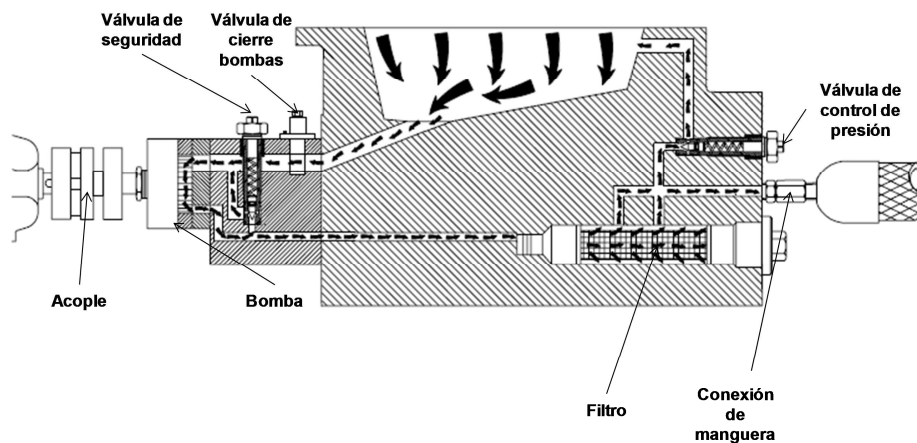
Figura 1.5 a. Ejemplos de falla cohesiva y adhesiva, b. regiones de una junta adhesiva como similitud de una cadena. [3]



1.3 SISTEMA DE APLICACIÓN DE ADHESIVOS HOT MELT PSA

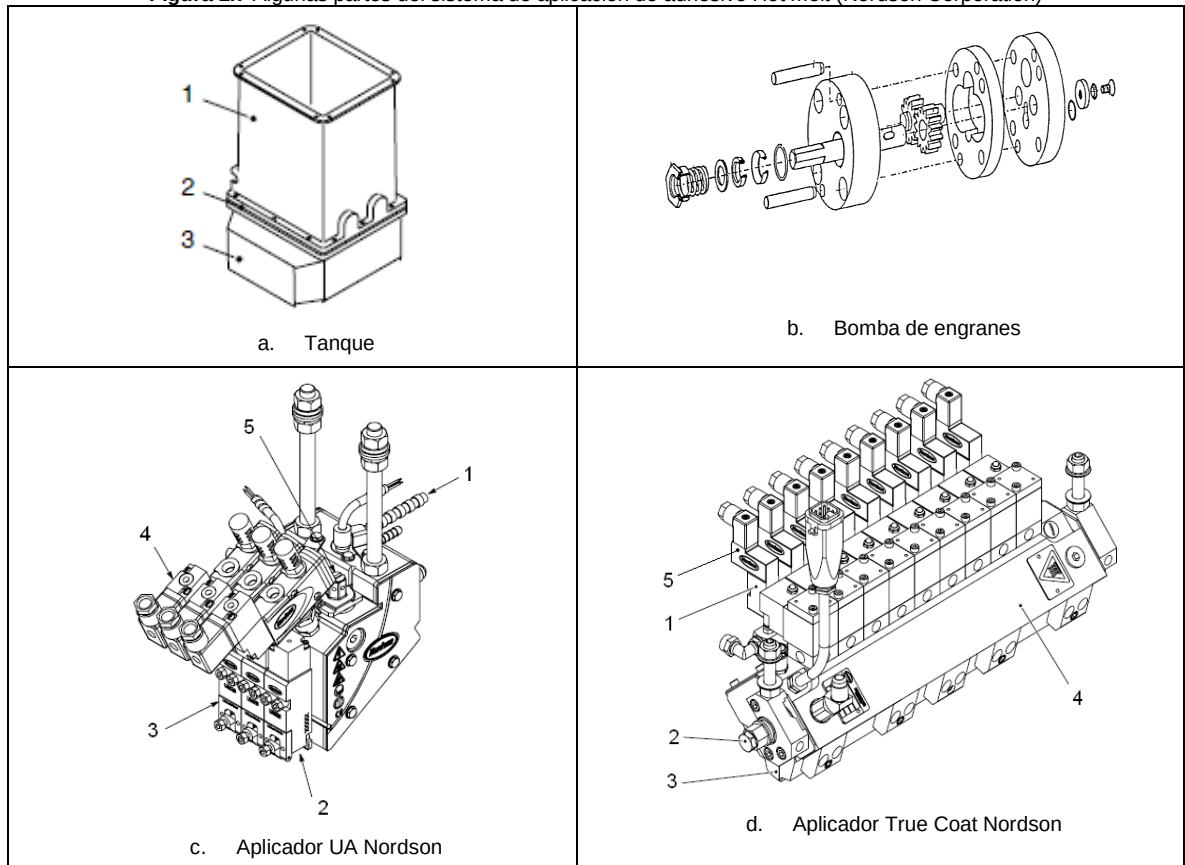
Los equipos utilizados actualmente en *Familia Sancela del Pacífico* (FSP), para la aplicación de adhesivo son de marca Nordson. El principio de funcionamiento se observa en la figura 1.6.

Figura 1.6 Diagrama de flujo del adhesivo en tanques Versablue (Nordson Corporation)



El adhesivo en su estado “sólido” es depositado en el tanque (solo se visualiza la parte inferior del tanque en la figura anterior), éste está subdividido en función previa (1) figura 1.7a, y función principal (3), un aislamiento (2), separa la temperatura entre ambas zonas, en (1) el adhesivo es precalentado y solo en (3), el adhesivo sube a la temperatura de procesamiento, el cual es calentado por una parrilla de calentamiento.

Figura 1.7 Algunas partes del sistema de aplicación de adhesivo Hot melt (Nordson Corporation)



El adhesivo en su estado fundido es impulsado por la bomba, figura 1.7b acoplada a un motor AC; la bomba de engranes es de desplazamiento positivo, su caudal o flujo másico puede ser calculado de acuerdo a tres parámetros: al tamaño de la bomba; a la densidad del adhesivo, y desde luego a la velocidad angular (en RPM). Asumiendo eficiencia $\eta = 1$, el gasto volumétrico o caudal es:

$$\dot{V} = n \left(\frac{V_{\text{cerrado}}}{n} \right) \quad (1.12)$$

Donde $\dot{n}$ es la velocidad de rotación en RPM, $\mathcal{V}_{cerrado}$ es el volumen que desplaza por cada rotación de la flecha. Muchas veces la propiedad en paréntesis es conocida como desplazamiento volumétrico en unidades de volumen por rotación. En la siguiente tabla se muestra el desplazamiento volumétrico o relación de desplazamiento en cc/rev, de varias bombas utilizadas comúnmente en los tanques de Nordson.

Tabla 1.1 Desplazamiento volumétrico de bombas *Versablu* Nordson (Nordson Corporation)

ANTERIOR NOMENCLATURA	BOMBA	CC/REV	NUEVA NOMENCLATURA
PR2m1	A	0,30	SN0030
PR3m1	B	0,46	SN0046
PR4m1	C	0,62	SN0062
PR6m1	D	0,93	SN0093
PR12m1	E	1,86	SN0186
PR12m2	F	3,71	SN0371
PR25m2	G	7,73	SN0773
PR100m3	H	17,10	SN1710

El flujo másico $\dot{m}$ puede ser fácilmente calculado, conociendo el caudal y la densidad del adhesivo como:

$$\dot{m} = \dot{\mathcal{V}}\rho \quad (1.13)$$

Donde ρ sería la densidad del adhesivo.

Conociendo el flujo másico se puede obtener la cantidad de adhesivo aplicado por producto m , y también el recubrimiento o peso por laminación en g/m^2 . Con las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$m = \frac{\dot{m}}{V_{maq}} \quad (1.14)$$

$$base = \frac{m}{A} \quad (1.15)$$

Donde, V_{maq} es la velocidad de máquina en productos por minuto, y A es el área aplicación de adhesivo por producto definido por la configuración de las boquillas y el largo del producto.

En la descarga de la bomba se genera una presión muy alta, alrededor de 500 psi en condiciones normales de trabajo, que al no ser controlada podría ocasionar daños severos en varios elementos mecánicos; ésta presión es controlada por la válvula de seguridad (presión ajustable de 5-90 bar¹). Después de la válvula, el adhesivo pasa por un filtro, para finalmente llegar a la manguera calefactora que lo transporta hasta el aplicador de adhesivo. En la figura 1.7c, se observa el

¹ Nordson Corporation manuals.nordson.com/

isométrico de un aplicador *Universal Nordson*, utilizado para las aplicaciones de *TBS* o *polietileno*. Véase tabla 1.4 más adelante. La manguera es conectada atrás del aplicador (no se ve en la figura). Dentro de este aplicador se encuentran unas resistencias que calientan el cabezal, y a su vez mantienen la temperatura del adhesivo; también contienen resistencias calefactoras para calentar el aire comprimido (1); el aire es necesario para esparcir y dar un patronamiento de aplicación al adhesivo ya que en estos sistemas el adhesivo se aplica a distancia del sustrato (sin contacto directo), por ende el aire debe ser más caliente que el adhesivo para que en el momento de acompañar al *hot melt*, éste no se enfríe. Los patrones de aplicación dados por las boquillas (2), pueden ser de varias formas algunos de ellos son en espiral, *signature* (aleatorio), *Summit* (pequeños espirales), *omega* (en forma de Ω), chorros y puntos (estos finales no requieren de aire caliente o de proceso). También es necesario el *aire de control* con una presión alrededor de 6 bar, estos activan los módulos (3), los cuales permiten o bloquean el paso del adhesivo a las boquillas mediante un sistema de *air-open spring-close*, (AOSC). El aire es controlado por las electroválvulas (4). Cada boquilla tiene un ancho teórico de 25mm¹; sin embargo existe la versatilidad de que cada boquilla pueda adaptarse a diferentes anchos de aplicación con la disponibilidad de agujeros presentes en la misma; dependiendo de la distribución de boquillas se sacan los anchos de aplicación comúnmente en mm. El aplicador también posee un filtro antes de llegar a los módulos (5). En la figura 1.7d se puede observar el aplicador para el TNT o polipropileno, el cual a diferencia del *universal*, este es *slot*, es decir la boquilla hace contacto con el sustrato, por lo anterior no requiere de aire de proceso, pero los demás elementos permanecen. En la figura se observa el cuerpo del aplicador (4); los módulos (1); el filtro (2); la boquilla² (3) y las electroválvulas (5), entre los principales.

Los parámetros principales que se programan en los tanques para la dosificación de adhesivo, son:

1. Las temperaturas del tanque superior, inferior o parrilla, manguera, aplicador y aire.
2. También se programa las RHI, las cuales de acuerdo a la curva de velocidad generan una velocidad angular a la bomba.

Como parámetro de respuesta está el voltaje de entrada para el control de velocidad mediante variadores AC, la presión hidráulica resultante, y las alarmas, entre las principales. Las presiones de aire se manejan por los reguladores neumáticos establecidos en la acometida neumática.

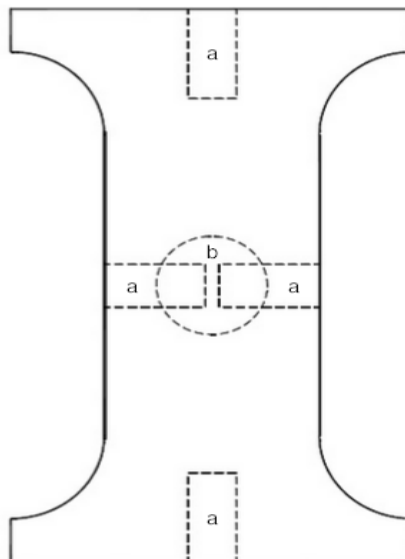
¹ Su ancho teórico es 25mm; Aunque este ancho de aplicación depende de muchos factores como la altura de aplicación, la presión del aire, la temperatura, el número de agujeros de la boquilla etc.

² Esta boquilla es una lamina delgada metálica donde se hace las aperturas deseadas para la anchura aplicación de adhesivo

1.4 MÉTODO UTILIZADO EN FAMILIA SANCELA DEL PACÍFICO PARA LA PRUEBA DE T-PEEL EN ABSORBENTES

Método basado en la Norma técnica colombiana (NTC) 2882, y manual de laboratorio interno de Familia, FAC-027 formato “Resistencia al selle”. Este procedimiento se utiliza para determinar la fuerza necesaria que se debe aplicar para despegar la *cubierta permeable*¹ de la *impermeable*² [norma NTC 2882]. Las probetas se toman de los extremos del absorbente indicadas con la letra *a* de la figura 1.8³. Se especifica la ubicación de la probeta dependiendo de su lado (frontal y posterior), la cantidad de probetas depende de la robustez estadística que se requiera dar. Una vez separada la probeta del absorbente se limpia del material absorbente y se realiza la prueba. Las especificaciones para la prueba se muestran en la tabla 1.2.

Figura 1.8 Toma de muestras para evaluar el sellado de extremos de un absorbente (NTC 2882)



El objetivo de esta prueba es prevenir que el *núcleo absorbente*, no se desplace hacia los extremos del pañal cuando éste esté saturado de fluido y por ende no falle su integridad, ahí su nombre de fuerzas de sellado. Las especificaciones son dadas por cada planta; véase tabla 1.2; de acuerdo a resultados del mercado o a pruebas realizadas experimentalmente⁴, donde determinan la fuerza mínima de selle al cual el núcleo no se desplaza.

¹ Cubierta Permeable, también llamada conocida como: Tela no tejida de cubierta, TNT, tela de cubierta, polipropileno o *top sheet*.

² Cubierta Impermeable, también llamada conocida como: Cubierta externa, TBS, textil back sheet, Poly, polietileno o Back sheet.

³ Actualmente la prueba no se realiza para las probetas de los laterales.

⁴ Las especificaciones de sellado de *FAMILIA* son otorgadas por la multinacional SCA

Tabla 1.2 Especificaciones de la prueba de sellados extremos del absorbente *TENA* (Método NTC 2882 y FAC-027)

RESISTENCIA AL SELLE (T-PEEL)	
Presentación	Incontinencia severa TENA
Equipos y materiales	
Equipo de medición	Tensiómetro INSTRON*
Corte de probeta	Guillotina u otro sistema de corte
Plantilla	Del tamaño de la probeta
Especificaciones	
Dimensión de la probeta (mm)	100 largo x 25 ancho
Velocidad de cruceta	300 mm/min
Distancia entre mordazas	50 mm
REPORTE	
1. Descripción de la prueba	
2. Fuerza máxima de ruptura en N/25mm durante el recorrido de la unión adhesiva.	
ESPECIFICACION	
Límite inferior resistencia al selle, Laboratorio (2,5N/25mm), Planta (1,6N/25mm)	



Montaje de probeta en el INSTRON

* Para ver la ficha técnica del equipo, ver anexo tabla A.9

Aunque en el reporte final no se tiene en cuenta la temperatura y la humedad relativa con cual se realiza la prueba, ni tampoco del lapso de tiempo entre producción y prueba. Las anteriores son factores, como se nombró al inicio, importantes a la hora de dar resultados confiables. La influencia del factor del lapso de tiempo conocido como curva de curado se verá en el capítulo 4.

1.5 DOCUMENTACION DE LAS CONDICIONES ESTANDAR DE OPERACION

La máquina actual productora de absorbentes para adultos *TENA*, conocida como *SSP* sigla perteneciente a la empresa origen o también llamada, máquina *COMBO*; realiza todo el portafolio para incontinencia severa de *Familia Sancela*. Referirse anexo tabla A.1, para ver su ficha técnica.

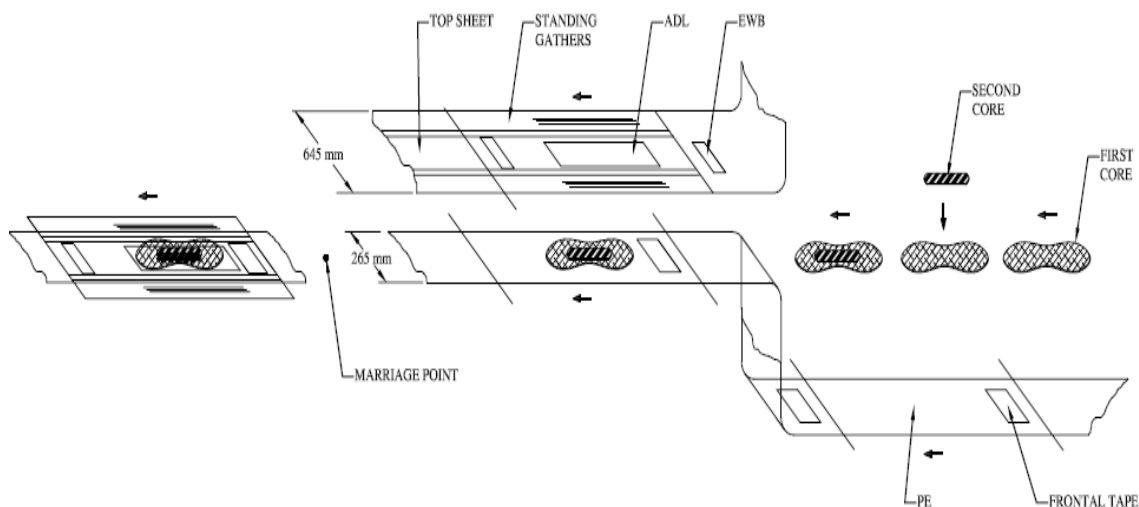
La laminación principal o la unión principal entre sus partes, en un absorbente¹ para incontinencia, se presenta entre la cubierta exterior – Núcleo – Cubierta interior. Esta unión se puede visualizar en la figura 1.9.

La cubierta exterior en *polietileno (PE)* en forma de *tela no tejida (TNT)*, se une por la parte inferior del proceso. La cubierta interior de *polipropileno en forma de tela no tejida*, se une por la parte superior; los núcleos absorbentes (cores) van en la parte del medio. La laminación principal se conoce en inglés como *Marriage Point*. Después de este punto el absorbente está listo para dar los últimos pasos que son el corte final², el doblado y empaque.

¹ El mismo principio se utiliza también para protección femenina y para pañales.

² Algunas máquinas después de la laminación principal, se unen las cintas laterales. La *SSP* incluye ésta tecnología.

Figura 1.9 . Laminación principal (*Marriage point*). (Documentos Familia)



Esta unión se realiza con adhesivo *Hot melt PSA* (HMPSA), también conocido como adhesivo termofusible sensible a la presión. Para ello se aplica adhesivo al polietileno y al polipropileno previo a la unión principal. Se presentan dos uniones adhesivas principales; una es la unión en la parte central del absorbente que consta de PE – Núcleo – PP y en los extremos del absorbente entre PE - PP.

Se toma el registro de los parámetros involucrados en la unión adhesiva para condiciones actuales de operación. Estos parámetros se pueden clasificar de muchas maneras. Una de acuerdo a sus principales sistemas, como:

- o Maquina principal.
- o Sistema de dosificación de adhesivos.
- o Acometida neumática.
- o Rodillo tensor y laminación central.
- o Adhesivo y substratos
- o Condiciones medio ambientales

1.5.1 Máquina Principal Los parámetros de interés para la línea principal son: la velocidad de máquina, para conocer de acuerdo a las dimensiones del producto las velocidades lineales de las bandas y hallar finalmente el tiempo abierto de máquina¹ tanto para el PE como para el PP. Los resultados se encuentran a continuación:

¹ Tiempo desde la aplicación del adhesivo hasta el punto de contacto (MP)

Tabla 1.3 Ficha actual de operación en la línea principal.

MAQUINA	SSP o Combo	
Presentación actual	Tena Slip Large	
Fecha	Abril 3 de 2012	
Velocidad de producción actual	200 prd /min	
	Aplicación de adhesivo	
Parámetros	PE	PP
Velocidad teórica de la banda (m/min)	198,4	198,4
Velocidad real de la banda* (m/min)	198,23	199,69
Longitud Lineal abierta (m)	3,225	2,680
Tiempo abierto de máquina (s)	0,98	0,81

* Velocidad medida con el tacómetro digital SHIMPO DT-205L; véase anexo A.13. Se saca promedio de tres mediciones tomadas a la banda a diferentes instantes de tiempo, véase anexo C.1.

1.5.2 Sistema de dosificación de adhesivos Son varios los parámetros de interés para este sistema general. En la siguiente tabla se resumen los parámetros de operación, de acuerdo a las condiciones dadas en la tabla 1.3. La ficha técnica de estos sistemas se pueden ver en los Anexos A desde la tabla A.2 a la A.6.

Tabla 1.4 Ficha a condiciones estándar de los dosificadores de adhesivo

		APLICACION			
		TBS CENTRO	TNT	TBS L.O	TBS L.M
TEMPERATURA ADHESIVO (°C)	Tolva (superior del tanque)	162	162	162	162
	Parrilla (inferior del tanque)	162	162	162	162
	Manguera	165	165	165	165
	Aplicador L.O/L.M	165/165	165/165	165	165
	Aire aplicación L.O/L.M	170/170	N.A	170	170
PRESION HIDRAULICA (bar)		15,7	17,2	14,5	13,8
BOMBA	Tipo	PR25m2	PR25m2	PR12m2	PR12m2
	Des. Volumétrico (cm³/rev)	7,73	7,73	3,71	3,71
	RPM @ VEL MAQ	24,9	27,3	25,9	25,9
	RHI programadas	31,1	34,1	32,4	32,4
MANGUERA	Tipo	TC-183-8-PT100	TC-150-8-PT100	TC-183-8-PT100	TC-183-8-PT100
	Longitud (m)	18,3	15,0	18,3	18,3
	Diámetro interno (mm)	8	8	8	8

Tabla 1.4 (Continuación)

		TBS CENTRO	TNT	TBS L.O	TBS L.M
TECNOLOGIA DE LA APLICACION	Aplicador	Universal Nordson	True Coat Nordson	Universal Nordson	Universal Nordson
	Boquilla	Signature flujo estable	Slot	Signature flujo estable	Signature flujo estable
	Módulos	UM50	DC-D5	UM50	UM50
DIMENSIONES DE LA APLICACION	Largo (mm)	992	992	992	992
	Ancho (mm)	350	350	175	175
	Distribución de boquillas	14 Tipo Full	Shim ancho 350 mm	6 tipo full; 2 tipo 1/2	6 tipo Full; 2 tipo 1/2
DOSIFICACION DE ADHESIVO*	Caudal (cm ³ /min)	192,5	211,0	96,1	96,1
	Flujo másico (g/min)	186,7	204,7	93,2	93,2
	Consumo (g/prd)	0,933	1,024	0,466	0,466
	Recubrimiento (g/m ²)	2,69	2,95	2,68	2,68
POSICION DEL APLICADOR	Altura entre boquilla y sustrato (mm)	50	(contacto)	50	50
	Angulo de boquilla respecto al sustrato	90°	90°	90°	90°
	Distancia del rodillo anterior de soporte del sustrato al punto de aplicación (mm)	330	10	330	330
	Distancia desde el punto de aplicación al contacto (mm)	3225	2680	3225	3225
CONSUMO DE ENERGIA	Potencia** (W)	3300	2800	2200	2200

* Los resultados indicados aquí son datos teóricos hallados en las ecuaciones de la 1.12 a la 1.15; posteriormente se realizará el proceso de aforo para corroborarlo con los resultados reales.

** Potencia requerida en la fase de calentamiento.

1.5.3 Acometida neumática El sistema neumático dentro del esquema de dosificación de adhesivo, cumple dos funciones muy importantes como se mencionó en el numeral 1.3: primero, es controlar el paso de adhesivo hacia las boquillas a través de los módulos de control (*aire de control*). Y lo segundo es impartir al adhesivo, el patronamiento de aplicación según la tecnología de la boquilla (*aire de proceso*), el aire es el acompañante del adhesivo cuando sale de la boquilla, el cual también sirve también como aislante para el adhesivo durante el recorrido boquilla - sustrato. En la figura 1.10 y en la tabla 1.5, se muestran las acometidas neumáticas estándar para el *aire de control*, como *de proceso*, es de notar que la acometida para el *aire de control* se usa para los cuatro aplicadores, mientras el *de proceso* solo es aplicable para TBS.

Figura 1.10 Acometida neumática de control y de proceso de los sistemas de adhesivos, para las aplicaciones de TNT y

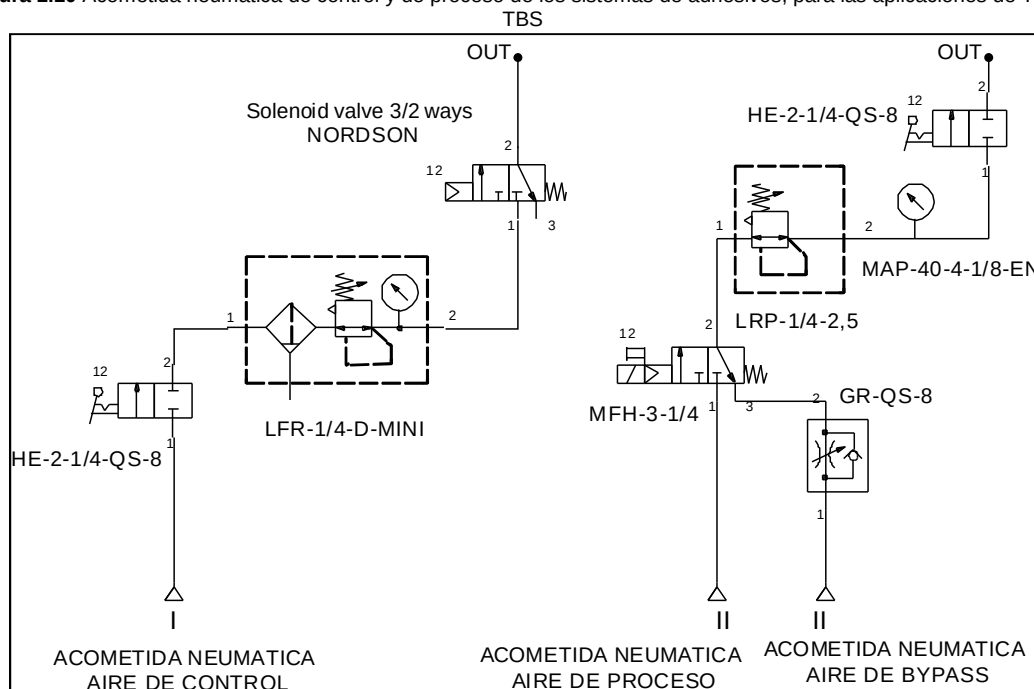


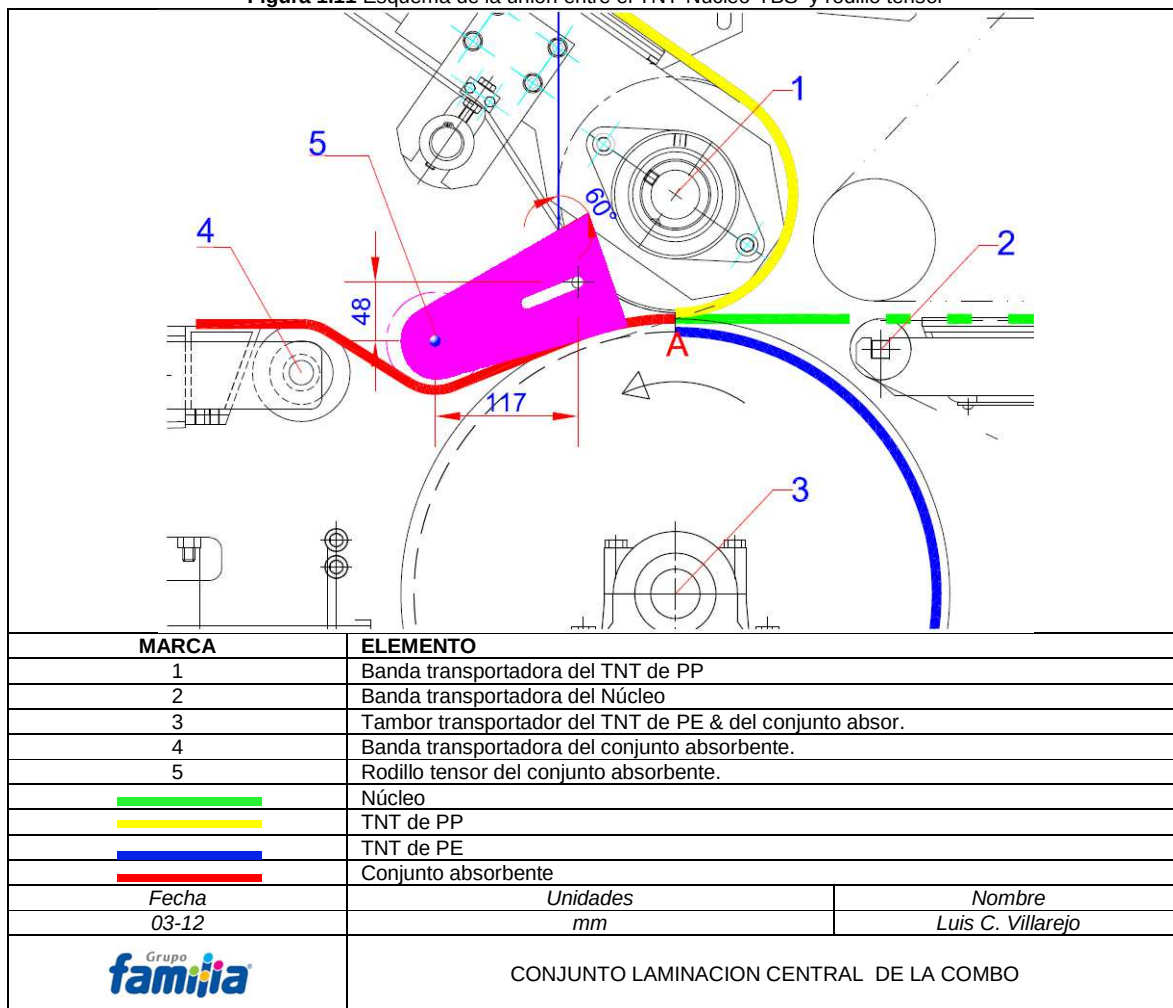
Tabla 1.5 Parámetros neumáticos para condiciones estándar de máquina

		APLICACION			
AIRE DE CONTROL	Electroválvula de control	TBS CENTRO	TNT	TBS L.O	TBS L.M
		Nordson, solenoid ,3/2 vías cerrada 24V	Nordson solenoid 3/2 vías cerrada 24 V	Nordson, solenoid ,3/2 vías cerrada 24V	Nordson, solenoid 3/2 vías cerrada 24V
	Regulador de presión	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI
	Presión de control (bar/psi)	5,5/80,3	6/87,6	5,2/75,9	5,2/75,9
AIRE DE PROCESO	Electroválvula de proceso	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada	N.A	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada
	Regulador de Presión de proceso	Festo LRP-1/4-2,5	N.A	Festo LRP-1/4-2,5	Festo LRP-1/4-2,5
	Presión de proceso (bar/psi)	2,4/35,0	N.A	2/29,2	2/29,2
	Regulador de Caudal	Festo GR-QS-8	N.A	Festo GR-QS-8	Festo GR-QS-8
	Presión de bypass (bar/psi)	2/29,2	N.A	1,8/26,3	1,8/26,3

1.5.4 Rodillo tensor y laminación central En la figura 1.11 se observa el esquema de la unión (punto A) entre la tela de PP, el núcleo (core) y la tela de PE de la máquina SSP. Se observa

también la barra que sostiene el rodillo tensor, como su nombre lo dice genera tensión en las telas lo que ayuda a comprimir la unión adhesiva; además permite que no haya desfase entre las telas y por lo tanto en producto.

Figura 1.11 Esquema de la unión entre el TNT-Núcleo-TBS y rodillo tensor



La posición del rodillo se puede ubicar por coordenadas polares (r , θ), o por coordenadas rectangulares (x , y), tomando como punto de inicio el pivote de la barra tensora (marcada con un + en la figura anterior), la posición estándar del rodillo se encuentra como se muestra en el esquema de la figura anterior. Es de notarse que se toma el ángulo (con el uso de un goniómetro), entre el bloque vertical (línea vertical azul) y la línea del bloque tensor, con el fin de posicionar el rodillo. Éste ángulo es de $\alpha_1 = 60^\circ$ en la posición estándar. Las medidas rectangulares dadas corresponden también a la estándar, (nota: la línea del radio del pivote al eje del rodillo no es paralela a la línea de la barra en la cual se toma el ángulo α_1). Las medidas anteriores, están

relacionadas con la posición donde está el pivote, pues éste puede ser movido dentro de la ranura. La geometría del elemento (barra y rodillo pivote) fue obtenida de los planos internos de *Familia*. La línea amarilla es donde viaja la TNT de PP, ésta es movida por una banda transportadora, la cual tiene orificios donde hay vacío para que la tela no se separe de su superficie y se mantenga estirada. La línea verde es donde viaja los núcleos absorbentes (*cores*), los cuales van en el medio de los substratos, la línea azul es la TNT de PE, es de notar que ambos substratos, es decir las telas ya presenta adhesivo en sus superficies, sus aplicaciones se da más atrás en el proceso.

1.5.5 Adhesivo y substratos Las materias primas utilizada para *SLIP L* se presentan en la tabla 1.6. La ficha técnica de estos materiales se encuentran en los anexos; tablas B.1 a la B.4

Tabla 1.6 Materias primas: Adhesivo, TNT de PP y TNT de PE. Utilizados actualmente en *TENA SLIP*

MATERIA PRIMA	
Adhesivo:	
Fabricante	H.B. Fuller Colombia
Tipo	Hot melt PSA
Producto	NW 1094ZP
Substratos:	
TNT Hidrofóbica:	
	Polipropileno
Fabricante	PGI Colombia
Producto	SMS 210 mm 13gsm
TNT Hidrofilica:	
	Polipropileno
Fabricante	PGI Colombia
Producto	SS 210 mm 14 gsm
Textil Back sheet (TBS):	
	Polietileno
Fabricante	FAMILIA SANCELA
Producto	Laminado TNT 645mm 25gsm

1.5.5 Condiciones ambientales

En la tabla 1.7 (hoja siguiente) se presentan las condiciones ambientales de la planta tomadas en abril 3 de 2012.

Tabla 1.7 Condiciones ambientales en la planta de producción.

CONDICION AMBIENTAL*	
Temperatura de bulbo seco (alejado de máquina)	29°C
Temperatura de bulbo seco (Cercano a la máquina)	38°C
Humedad relativa (%)	50
m.s.n.m	1000

* Medidas tomada dentro de la planta de producción.

1.6 RESULTADO DE LA RESISTENCIA AL T-PEEL EN CONDICIONES ESTANDAR

En la tabla siguiente, se encuentra la ficha técnica para la prueba de la resistencia al sellado (T-Peel), Posteriormente se muestran los resultados de las probetas.

Tabla 1.8 Ficha técnica para la prueba T-peel en condiciones estándar

Ficha técnica: Prueba de T-PEEL (sellados de extremos)	
Fecha de producción	Abril 3 de 2012 9:57AM
Fecha de ensayo	Abril 15 de 2012 (10:30 am Adelante; 12:40pm Posterior)
Producto	Slip Large TENA
Identificación del Ensayo	Condición estándar Archivo: INI-F e INI-B
Sentido	Adelante (frontal) / Posterior
Descripción de la muestra	Resultados en condiciones estándar de operación
Adhesivo	NW-1094ZP FULLER
Substrato A	Polietileno laminado TBS 25g/m ² (FAMILIA)
Substrato B	Polipropileno SS 14g/m ² (PGI COLOMBIA)
Dimensión de probetas	Adelante: 125 ± 5 mm x 25 mm. (de unión adhesiva) Posterior: 105 ± 5 mm x 25mm. (de unión adhesiva)
Probetas	32
Muestreo	Productos sacados aleatoriamente de 6 paquetes. Paquetes tomados cada minuto durante 6 minutos de producción estable.
Temperatura de ensayo	21 °C
Humedad relativa	55%
Equipo*	Instron 4411
Velocidad de cruceta	300 mm/min
Frecuencia de muestreo	6.6670 pts/s
Distancia entre mordazas	50 mm
Reporte de resultados	Fuerza máxima (N); Carga media entre Límites (N); Límites: Adelante 20 a 160 mm; Posterior 20 a 120 mm. Gráfica de Fuerza (KN) vs desplazamiento (mm)

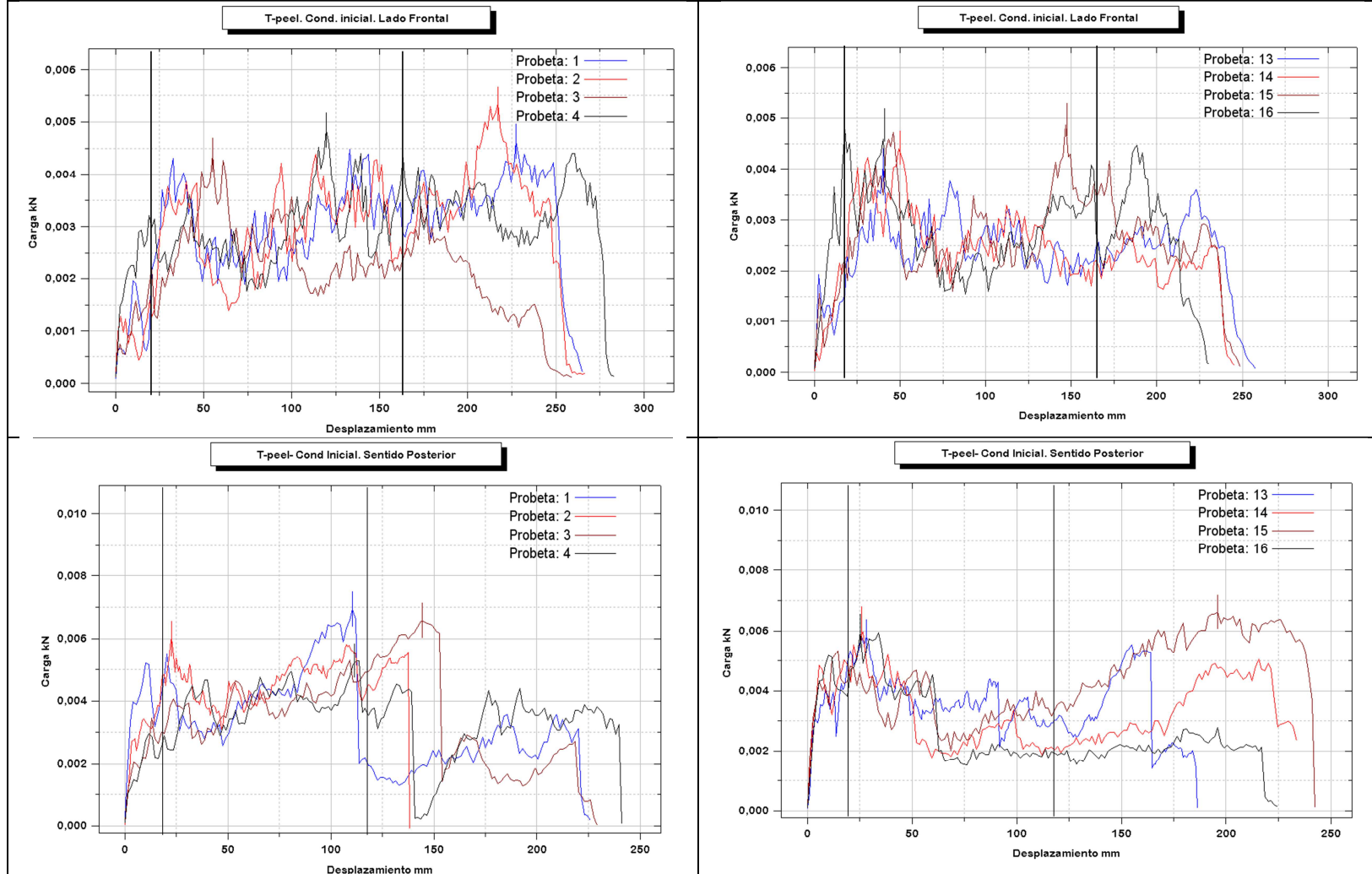
* La ficha técnica respectiva se encuentra en el anexo tabla A.9

Nota: Los resultados gráficos de las curvas *T-peel* Vs distancia de algunas de las probetas se muestran en la hoja siguiente, para ver todos los resultados; véase en anexos, figuras C.1, C.2, C.3 y C.4

Tabla 1.9 Resultado de la resistencia T-peel. Lado frontal y posterior				
CONDICION INICIAL DE OPERACIÓN*				
Probeta	FRONTAL		POSTERIOR	
	Fuerza máx. (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx. (N)	Carga media entre límites (N)
1	4,623	3,007	6,933	4,319
2	5,337	2,959	5,993	4,621
3	4,370	2,558	6,580	3,981
4	4,835	2,931	5,281	3,949
5	4,626	2,939	6,257	3,991
6	4,947	2,437	5,214	3,792
7	4,346	2,726	6,448	3,305
8	5,357	3,066	6,341	4,275
9	4,961	3,175	6,415	3,488
10	4,529	3,060	9,074	4,264
11	5,080	2,812	6,483	3,253
12	4,075	2,863	5,780	4,240
13	4,080	2,588	5,818	3,725
14	4,412	2,810	6,244	3,045
15	4,973	2,889	6,619	3,396
16	4,858	2,779	5,988	3,031
17	4,424	3,085	4,923	3,102
18	4,231	3,262	9,921	4,314
19	5,053	2,662	6,701	3,559
20	4,347	3,295	7,436	3,807
21	4,491	3,188	5,333	3,894
22	4,878	3,219	5,922	3,034
23	5,348	3,221	6,927	3,839
24	5,337	3,076	6,033	3,999
25	4,910	3,223	6,311	3,806
26	4,475	2,980	6,901	3,943
27	5,820	2,726	6,617	2,966
28	4,669	3,025	5,690	4,156
29	4,419	2,857	7,105	3,761
30	4,749	3,189	8,428	3,927
31	4,698	3,255	6,045	3,574
32	5,191	2,751	6,080	3,427

Nota: Los datos en color rojo fueron excluidos, debido a que salen de los límites permitidos de la prueba (la ruptura se debió al rompimiento del elástico de cintura y no entre la junta adhesiva)

Figura 1.12 Resultado gráfico de T-peel para algunas probetas de la tabla 1.9. Gráficos superiores lado frontal; gráficos inferiores lado posterior



De los gráficos anteriores se pueden ver los límites designados para medir la fuerza o carga media. La cual es de 20 a 160 mm para probetas frontales y de 20 a 120 mm para las posteriores. La pequeña línea vertical que se ve en cada curva, designa la carga pico o fuerza máxima determinada por el sistema.

Es de considerar como varía la fuerza a través del recorrido de la cruceta, así mismo varía la *energía crítica de fractura adhesiva* G_c . Lo que hace necesario realizar experimentaciones para poder interpretar los fenómenos complejos que ocurren dentro de un sistema de unión adhesiva. Se pueden identificar en las gráficas niveles altos y bajos; en la mayoría de las veces los niveles altos corresponden a fallas cohesivas ya sea en el adhesivo o en la superficie del sustrato; los niveles bajos corresponden a fallas adhesivas [33]. Por lo que las fallas en su mayoría son mixtas. La fuerza máxima indicadas en los resultados se debe interpretar como la carga máxima que fue necesaria para provocar la falla en la unión adhesiva en un instante durante todo el recorrido de la unión. Este valor no debe ser menor a la especificación dada por *Familia*.

Al observar los resultados de la tabla y los gráficos anteriores, se nota que existen diferencias entre la parte frontal y posterior en las fuerzas medidas tanto en la fuerza máxima como en la carga media. Esto casi siempre es así, y es inquietante este resultado ya que las condiciones se mantienen iguales; este resultado es debido al proceso, y específicamente a la diferencias de presión de contacto que existe entre lado frontal y posterior cercano al núcleo, posiblemente debido a que en la parte frontal existe una menor distancia entre el extremo del absorbente y el punto donde inicia el núcleo, por lo que existe menor área de cierre, desfavoreciendo el pegado. En los resultados de los ensayos experimentales, se verá que la presión ejercida sobre la junta adhesiva influye en la resistencia al *T-peel*.

Se realiza un análisis exploratorio de datos a los resultados medidos anteriormente, además se comprueba la normalidad para esta muestra. A continuación resultados descriptivos (hoja siguiente).

Tabla 1.10 Resultados descriptivos de las condiciones estándar de operación (software SPSS).

<i>Fuerza máx. Frontal</i>			<i>Carga media Frontal</i>		<i>Fuerza máx. posterior</i>		<i>Carga media posterior</i>	
ESTADISTICO	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.
Observaciones (validos)	32	-	32	-	29	-	29	-
Media	4,764	0,073	2,957	0,040	6,221	0,110	3,699	0,081
Intervalo de confianza para la media al 95%	Lím. Inf. 4,614	-	2,874	-	5,995	-	3,533	-
	Lím. Sup. 4,914	-	3,039	-	6,447	-	3,865	-
Media recortada al 5%	4,753	-	2,965	-	6,227	-	3,693	-
Mediana	4,724	-	2,970	-	6,257	-	3,792	-
Varianza	0,173	-	0,052	-	0,353	-	0,191	-
D.E	0,415	-	0,229	-	0,594	-	0,437	-
CV (%)	8,72%	-	7,73%	-	9,55%	-	11,8%	-
Mínimo	4,075	-	2,437	-	4,923	-	2,966	-
Máximo	5,820	-	3,295	-	7,436	-	4,621	-
Rango	1,745	-	0,858	-	2,513	-	1,655	-
Media + 2,00 D.E	5,595		3,414		7,409		4,573	
Media - 2,00 D.E	3,933		2,499		5,034		2,825	
Amplitud intercuartil	0,613	-	0,398	-	0,748	-	0,636	-
Asimetría	0,446	0,414	-0,389	0,414	-0,235	0,434	-0,050	0,434
Curtosis	-0,127	0,809	-0,638	0,809	-0,123	0,845	-0,663	0,845

Para comprobar la normalidad en la muestra, y por ende un comportamiento similar a la población, se utiliza cuatro métodos; dos gráficos y dos test de la bondad del ajuste. Primero se hace gráficamente; por medio del histograma de frecuencias (con la curva de normalidad) y la gráfica Q-Q llamada cuantil-cuantil de la normal; en las tablas 1.13 y 1.14 los resultados.

Figura 1.13 Histograma de frecuencias y asignación de la normal (Software SPSS)

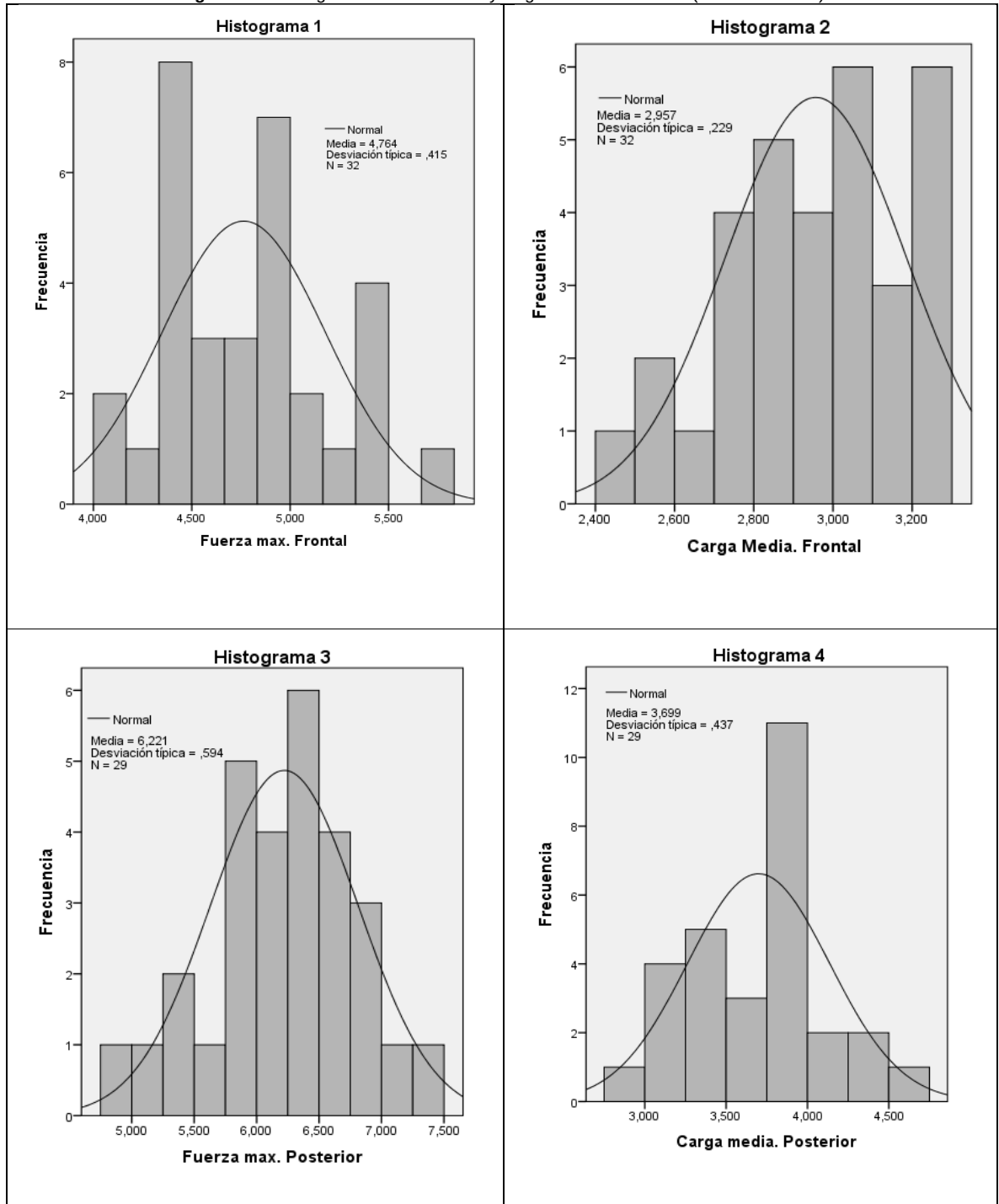
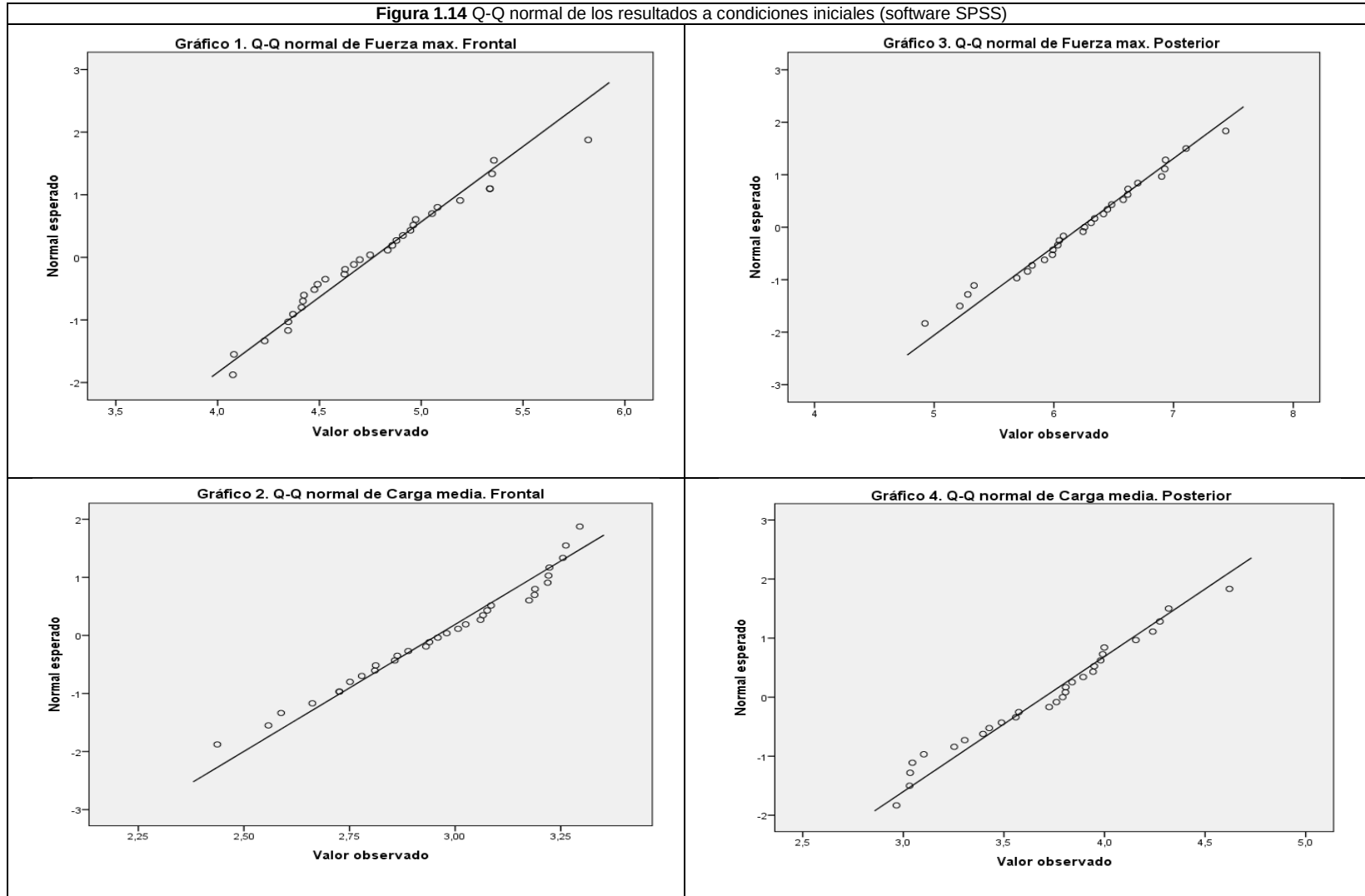


Figura 1.14 Q-Q normal de los resultados a condiciones iniciales (software SPSS)



Se puede observar de la figura 1.13 de acuerdo a la normal ajustada que existe un comportamiento normal. Para los histogramas 2 y 3 de acuerdo al valor de la asimetría, tabla 1.13; tienen una asimetría hacia la izquierda. Por lo que pueden existir resultados por debajo de la media con gran sesgo, que puede involucrar valores no deseados. Lo contrario sucede para el histograma 1, que es lo deseable; los resultados pocos frecuentes se darían hacia la cola derecha de la normal. Para el histograma 4 los resultados tienden a ser simétrico respecto a la media. Sin embargo, debido a que la asimetría tiene resultados tolerables no se consideran significativas estas diferencias. Se puede observar además que existe menos varianza en los resultados de las cargas medias que en la máxima.

De acuerdo a la curtosis los resultados presentan baja concentración respecto a la media por lo que presenta variada dispersión en los resultados.

Según los gráficos cuantil-cuantil, todos los resultados tienen comportamiento lineal. Por lo que se puede concluir gráficamente, que la muestra tiene una distribución normal.

Para corroborar lo anterior se realiza dos pruebas de la bondad del ajuste para la normalidad, conocidas como *Kolmogorov-Smirnov* y *Shapiro-Wilk*, los resultados son los siguientes:

Tabla 1.11 Resultados del Test de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk (SPSS)						
Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fuerza Max Frontal	,089	32	,200 [*]	,970	32	,486
Carga Media. Frontal	,111	32	,200 [*]	,961	32	,287
Fuerza Max Posterior	,071	29	,200 [*]	,986	29	,951
Carga Media Posterior	,110	29	,200 [*]	,965	29	,442
*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.				a. Corrección de la significación de Lilliefors		

Teniendo en cuenta un nivel de significancia de 0,05; y de acuerdo a los resultados anteriores para ambos test, las significancias son mayores al 5%, por lo que se existe suficiente evidencia, que la prueba *T-peel* en una junta adhesiva entre el Polietileno y el Polipropileno en los absorbentes para adultos *TENA*, presentan una *distribución normal*.

En el anexo tabla C.2, se presenta los resultados de la prueba de sellados (*T-peel*) dados por el área de calidad, para los extremos del absorbentes *SLIP*, correspondientes al año 2012. Las pruebas son realizadas de una a seis horas después de la hora de fabricación. Es de considerarse que estos valores no necesariamente corresponden a las condiciones estándar especificadas en las tablas 1.4 y 1.5. Debido a lo anterior se puede ver que existe considerable variación entre sus resultados (Coeficiente de variación alto comparado a los resultados de la experimentación anterior).

2. ADHESIVOS *HOT MELT* PSA Y SUS PROPIEDADES

2.1 GENERALIDAD SOBRE ADHESIVOS

Los adhesivos son sustancias empleadas para unir dos o más componentes mediante fuerzas de atracción que actúan a lo largo de las interfaces. A los componentes que se unirán suelen llamárseles adherentes o sustratos. Para que trabaje como adhesivo, un polímero deberá adoptar las características de un fluido y un sólido en momentos diferentes durante su utilización [8]. La adhesión es la atracción de dos materiales diferentes por el resultado de las fuerzas intermoleculares entre ellas. Estas fuerzas generalmente son debidas a las fuerzas de Van de Waals [2]. La adhesión se presenta cuando el adhesivo fluye como líquido y humedece las superficies de interés, proporcionando contacto íntimo entre el adhesivo y el sustrato. Para que la unión adhesiva tome resistencia; el adhesivo tendrá que adoptar propiedades de sólido, con el objetivo de soportar las cargas durante la vida de servicio.

Los adhesivos pueden ser clasificados de diversas maneras [2], por ejemplo en función de su curado o endurecimiento. Dentro de esta clasificación están, los polimerizables por U.V, o por calor (Acrílicos, Cianoacrilatos uretanos, epoxis), endurecibles por secado en caso de soluciones solventes; por enfriamiento (en caso de fusiones calientes), como los *Hot melt*; Los químicamente reactivos como los epoxis; los que se reactivan con la humedad como las, siliconas, Cianoacrilatos, uretanos; los polimerizables en ausencia de oxígenos (anaerobios), los sensibles a la presión, etc. Los adhesivos utilizados para los productos desechables, como los pañales y absorbentes, son los *Hot Melt* sensibles a la presión (HMPSA), los cuales requieren una ligera presión para mojar los sustratos y se solidifican o curan, durante el enfriamiento.

2.2 ADHESIVO *HOT MELT* SENSIBLE A LA PRESION (HMPSA) ¹

Los *Hot Melt* son materiales poliméricos del tipo elastómeros termoplásticos (pueden ser calentados varias veces sin cambios en su estructura química²); 100% sólidos, deben calentarse para ser aplicados (aproximadamente entre 100 – 180°C), solidifican por enfriamiento desarrollando uniones adhesivas fuertes (aunque no son considerados estructurales); no son reactivos. Son normalmente utilizados cuando la velocidad de producción es crítica, ya que la disipación de su vehículo (calor) es mucho más rápida que la evaporación del agua y cualquier otro solvente. Los *PSA* requieren una ligera presión sobre la unión adhesiva para realizar un pegue útil [5], por eso son conocidos como sensibles a la presión (PSA).

¹ También conocidos como termofusibles sensibles a la presión (HMPSA)

² Dependiendo de un buen equilibrio de las propiedades térmicas de sus componentes.

Los adhesivos *PSA* tiene ventajas importantes ya que poseen gran pegajosidad (*Tack*), buena resistencia al rasgado (*peel*); por la capacidad de mojar superficies porosas; resistente al agua y a microorganismos; versátiles; útiles para unir sustratos difíciles como el foil o laminados con poliolefinas; y tienen además un aceptable costo [9].

2.3 PROPIEDADES DE LOS ADHESIVOS HMPSA

Algunas de las propiedades características de los HMPSA nombradas anteriormente son explicadas a continuación, estas propiedades están estrechamente relacionadas con el desempeño final del adhesivo.

2.3.1 Pegajosidad (*Tack*) Es la habilidad de un PSA para crear un pegue rápido bajo una mínima presión externa aplicada [10] y proporcionar resistencia significativa al despegue o desunión. El *Tack* puede ser medido con pruebas estandarizadas. Uno en particular es el cilindro con cara plana o ligeramente convexo, el cual es interpuesto en contacto con la superficie del adhesivo, se mantiene durante un lapso de tiempo, y finalmente se separa. Aunque una prueba convencional mide la fuerza máxima para separar el cilindro del adhesivo; modernas técnicas permiten medir la curva de fuerza vs el desplazamiento durante el despegue, el cual se realiza normalmente en menos de un segundo. El área bajo la curva representaría el trabajo efectuado para despegar la unión [11].

2.3.2 Temperatura de transición vítrea (T_g) En general los polímeros son totalmente amorfos o tienen fases amorfas. Estos materiales son duros, o vítreos por debajo de la temperatura conocida como temperatura de transición vítrea o T_g . Arriba de esta temperatura, los polímeros amorfos son blandos y flexibles. HMPSA comparte junto con otros polímeros el fenómeno asociado con la temperatura de transición vítrea [12]. La gran mayoría de los HMPSA son blandos y flexibles a temperatura ambiente, mientras algunos epóxicos y acrílicos permanecen en la región vítrea a esta temperatura.

2.3.3 Temperatura de falla adhesiva en cortante (*SAFT*) Indica la temperatura a la cual se da la falla en la una unión adhesiva bajo esfuerzo cortante con una carga fija establecida. La carga generalmente es de 1 kg y se eleva la temperatura del adhesivo a una determinada velocidad (alrededor 0,4°C/min).

2.3.4 Resistencia al rasgado (*peel strenght*) Es la fuerza o carga promedio por unidad de ancho de una unión adhesiva requerida para separar progresivamente un miembro flexible de un miembro rígido o de otro miembro flexible [1]; véase numeral 1.1.

2.3.5 Viscosidad En estado fundido, representa la resistencia a fluir, expresado como la relación entre esfuerzo cortante aplicado y la resultante velocidad de deformación tangencial; se mide con

el viscosímetro de *Brookfield* en unidades de *cps* (centipoise 1 cps = mPa.s). (Ver anexo tabla A.12).

2.3.6 Tiempo abierto del adhesivo (t_{op}): Es el tiempo disponible para formar un pegue satisfactorio después que el *HMPSA* haya sido aplicado sobre uno de los sustratos. El tiempo abierto del adhesivo deber ser mayor al tiempo abierto de máquina. Es de notarse que el *HMPSA* tiene un tiempo abierto infinito; sin embargo, el tiempo abierto aquí mencionado se refiere a la cual se da un óptimo pegue. Depende de muchas variables, como la temperatura del adhesivo, la cantidad aplicada, la distancia abierta etc.

2.3.7 Tiempo de fijación (*set time*): Es el tiempo para formar una unión de resistencia adhesiva considerable, puede variar desde segundos a días dependiendo de la composición del adhesivo. En los *HMPSA* puede ser prolongado este tiempo debido al curado lento. Está relacionado con el tiempo de curado.

2.3.8 Temperatura de ablandamiento (*softening temperature*): Temperatura a la cual el HM se ablanda lo suficiente para permitir el flujo bajo un pequeño esfuerzo, puede ser determinado por la curva DMA.

2.3.9 Estabilidad térmica: Es la habilidad de un HM para mantenerse en estado fundido a su temperatura de aplicación por un largo periodo de tiempo sin que se produzcan cambios drásticos en sus propiedades.

2.3.10 Energía superficial: Este influye en el mojado o humedecimiento de los diferentes tipos de superficies. Dados generalmente en unidades de milijoules por metro (mJ/m), o Newton por metro (N/m); véase numeral 1.2.

2.3.11 Propiedades viscoelásticas (reología): La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales, combinando la mecánica de sólidos y la de fluidos. Para un elástico puro, el cual obedece a la ley de Hook, $\sigma = E\gamma$, el esfuerzo es proporcional a la deformación, y el módulo es independiente de la velocidad de prueba. Para un líquido viscoso puro, el cual obedece la ley de Newton, el esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad de deformación cortante, $\sigma = n \left(\frac{d\gamma}{dt} \right) = n\dot{\gamma}$. Pero los adhesivos generalmente no pueden categorizarse dentro de estos dos extremos. En los adhesivos el esfuerzo es dependiente de ambos, tanto de la deformación como de su velocidad de deformación. Estos son materiales viscoelásticos; el cual posee comportamiento tanto sólido como líquido. Para deformar materiales viscoelásticos involucra dos mecanismos, distorsión elástica y el flujo viscoso. El módulo de almacenamiento o elástico G' , mide la energía almacenada por el adhesivo¹; está directamente relacionada con la elasticidad. Y el flujo viscoso es reflejada con el módulo de perdidas o viscoso G'' ²; véase numeral 2.4

¹ Relacionado con el resorte en un elemento mecánico.

² Relacionado con el amortiguador en un elemento mecánico

2.3.12 Resistencia al cortante (*shear strength*): En una unión adhesiva es el esfuerzo promedio cuando una fuerza es aplicada paralelo al plano de la junta adhesiva. Puede ser a diferentes temperaturas. Y mide también el tiempo hasta la falla de la junta adhesiva.

2.3 COMPONENTES DE UN HMPSA Y SUS FUNCIONES

Los adhesivos HMPSA son generalmente formados a base de copolímeros en bloque. La mayoría de los copolímeros en bloque utilizados, son los copolímeros en bloque de estireno (SBC) y los copolímeros en bloque en acrílico (ABS)¹. Los copolímeros utilizados para la construcción de desechables como pañales son los de estireno, generalmente están agrupados por SIS, que son copolímeros en bloque estireno-isopreno-estireno. Y los SBS que son bloques formados por estireno-butadieno-estireno [15].

Los adhesivos requieren tener alta resistencia al *peel*. Para lograr ésta resistencia, el adhesivo debe primeramente impedir una fácil falla interfacial, a través de una buena mojabilidad; una adecuada adhesión específica; y un módulo suficientemente bajo para inducir la deformación de éste en los sustratos y formar la capa adhesiva. Lo segundo; el adhesivo debe tener altos niveles de trabajo irreversible (perdidas en calor) en el proceso de despegado. Para lograr estos requerimientos la T_g del adhesivo debe ser ajustado y también su morfología. Lo anterior se logra variando el peso molecular y la proporción en masa en la mezcla de materiales como las resinas, los plastificantes y estabilizadores. En la tabla siguiente se resumen las funciones de cada una de las materias primas utilizadas en un adhesivo HMPSA.

Tabla 2.1 Principales componentes de un HM, y sus funciones. [16]

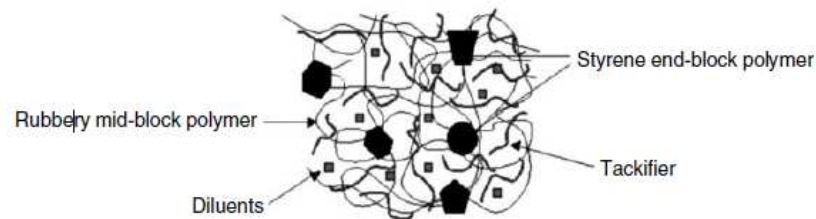
Principales materias primas de un HM		
Material	Propiedades físicas	Función
Polímero	Alto M_w (>10000) T_g normalmente < T_{amb} Físicamente entrecruzado en enfriamiento Fuerte	Fuerza, Resistencia Tack en caliente Pérdida de viscosidad – Fuerza de Peel
Resinas	Bajo M_w (<5000) T_g normalmente > T_{amb} Amorfo	Baja Viscosidad Mejora la mojabilidad Ajusta el T_g del sistema
Diluyentes	Bajo M_w (<1000) T_g < T_{amb} Amorfo	Baja viscosidad Mejora la mojabilidad Ajusta el T_g del sistema
Ceras Plastificantes	- Bajo M_w (<2000) T_g < T_{amb} Cristalino	Velocidad de fijación Resistencia al calor Baja viscosidad

En el tribloque A-B-A, el terminal A es rígido, el cual tiene una alta temperatura de transición vítrea T_g , muy por arriba de la temperatura ambiente; mientras la estructura del elastómero del bloque

¹ El adhesivo NW-1094ZP está conformado a base de una mezcla de SIS y SBS.

intermedio B es blando, con un T_g , mucho menor que la temperatura ambiente. El bloque rígido A y el bloque blando B, tienen parámetros de solubilidad muy diferentes, los cuales no son termodinámicamente compatibles. Como resultado los copolímeros de los adhesivos tienen microfases separadas morfológicamente, donde el bloque A forma una fase rígida dentro una matriz blanda de bloque B. El bloque intermedio B, dan propiedades viscoelásticas al adhesivo, mientras el bloque terminal A, tiene físicamente dominios de reticulaciones, dándole fuerza cohesiva a temperatura ambiente; el reticulado es termodinámicamente reversible. A temperaturas por encima de T_g del polímero del bloque terminal, su estructura ordenada desaparece y el polímero se convierte en un fluido viscoso. Para lograr un PSA con mejores desempeños, las resinas y los aceites o aditivos debe ser preferiblemente compatible con el bloque intermedio. Como se muestra en la figura.

Figura 2.1 Esquema de microfases separadas de un adhesivo de copolímeros en bloque. [15]



Las resinas causan baja resistencia al *creep* o fluencia lenta en cortante, (*shear creep resistance*) debido a la falta de entrecruzamientos entre moléculas; pero incrementa el *tack* y la resistencia al *peel* debido a la disipación de energía viscoelástica y un mayor contacto íntimo con el sustrato.

2.4 VISCOELASTICIDAD LINEAL

Como se nombró en el numeral 2.3; los materiales poliméricos más precisamente los adhesivos *HMPA*, exhiben un comportamiento viscoelástico, ya que su respuesta a la deformación elástica y plástica, depende tanto de la velocidad de deformación como de la temperatura y la presión aplicada. Dependiendo de estas condiciones las respuestas del material es diferente. A bajas temperaturas o a altas velocidades de deformación, el adhesivo se comporta como un material elástico. En la región elástica puede haber una relación directa entre el esfuerzo y la deformación. Sin embargo a altas temperaturas, o bajas velocidades, el material se comporta como un flujo viscoso [17].

La respuesta de un material viscoelástico está caracterizado por la ecuación constitutiva o ecuación reológica del estado; relaciona, el esfuerzo con la deformación, con el tiempo, y también con otras variables [18]. La ecuación constitutiva general se escribe:

$$\sigma = \sigma(\gamma, t) \quad (2.1)$$

La cual es la expresión general para un sólido con comportamiento viscoelástico no lineal, donde el esfuerzo es una función general de la deformación y del tiempo.

Para deformaciones pequeñas (típicamente <1%, cercas al equilibrio) las respuestas debidas al tiempo y a la deformación pueden separarse, dando lugar a la ecuación general para un material con comportamiento viscoelástico lineal como sigue [19]:

$$\sigma(t) = \gamma G(t) \quad (2.2)$$

Para ésta región lineal: $G(t)$ es el módulo del material dependiente del tiempo (o frecuencia) e independiente de la deformación; también existe relación directa proporcional entre esfuerzo y deformación.

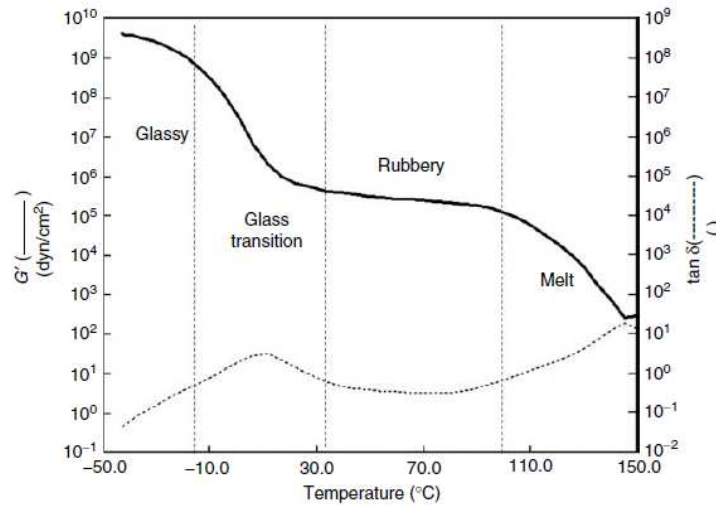
Manteniendo una deformación pequeña en el material a través de equipos de medición como los reómetros; se garantiza el régimen en la región de viscoelástica lineal. A este nivel, condiciones moleculares del material pueden ser caracterizadas.

A través de la viscoelasticidad lineal se puede “descifrar” el desempeño final de un adhesivo *HMPSA*, como por ejemplo *el Peel, el tack, el creep, etc.* Debido a su relación con los parámetros poliméricos (peso molecular, peso molecular en el reticulado, T_g , etc.) intrínsecos en su estructura [9]. Las propiedades viscoelásticas son evaluados usando un análisis dinamomecánico (DMA). La prueba DMA es una buena prueba para verificar la miscibilidad entre el polímero y la resina. Una buena mezcla puede afectar la T_g del estireno, o el T_g del isopreno o de ambas fases dependiendo de los resultados encontrados en la curva. La miscibilidad también puede afectar la región o el modulo de *plateau* [9, 14, 15].

2.4.1 Prueba de análisis dinamomecánico (DMA)¹ La prueba DMA es un método para determinar el módulo elástico G' (G debido a esfuerzos cortantes); y el módulo viscoso o de perdida G'' , como función de la temperatura, frecuencia (o tiempo), o de ambas. Una gráfica del módulo elástico y viscoso del material frente a la temperatura provee una representación gráfica de la elasticidad y de la perdida como una función de la temperatura y la frecuencia [20]. En la figura 2.2, se observa un perfil característico de una curva DMA, para un *HMPSA*; nótese las diferentes fases con que pasa el material al cambio de la temperatura, entre las principales, están la fase *rígida o vidriosa*, la de *transición vítrea*, fase *elástica*, *meseta o plateau*, y por último la fase *terminal viscosa*.

¹ También conocida como prueba mecánicas dinámicas.

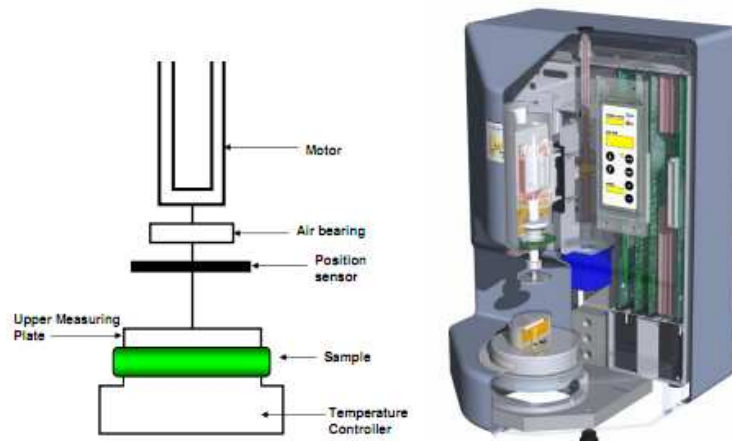
Figura 2.2 Módulo elástico G' y tangente de pérdida $\tan \delta$, en función de la temperatura, se observa diferentes fases al cambiar el perfil de la curva. [15]



Este procedimiento es utilizado para muchos fines, de los cuales están localizar las temperaturas de transición del material, es decir el cambio del movimiento molecular del material. En los intervalos de temperaturas donde se producen cambios significativos, el módulo elástico disminuye rápidamente con el incremento de temperatura (bajo una frecuencia constante) o al contrario incrementa con el aumento de la frecuencia (a temperaturas fijas). Un máximo se observa para el módulo de pérdida, así como para la curva de $\tan \delta$; en la región de transición.

Un reómetro rotacional de platos paralelos es como se observa en la figura siguiente:

Figura 2.3 Elementos de un reómetro rotacional de Bohlin Gemini (Malvern)



Para un movimiento oscilatorio en cortante, el principio de funcionamiento es la aplicación de una oscilación con amplitud pequeña, y constante para asegurar el régimen lineal. La frecuencia angular y el gap (distancia entre platos), son ajustados manualmente (o también existen reómetros

que se ajustan automáticamente de acuerdo a una fuerza normal establecida), con el fin de evitar efectos de inercia.

El espécimen es puesto en una cámara de temperatura controlada. El plato superior es conectado a través de un cojinete de aire a un rotor, el cual está conectado a un transductor que mide el desplazamiento angular; esto a su vez es conectado a una barra de torsión para medir el torque [21]. Cada reómetro está condicionado bajo una o varias ecuaciones constitucionales para establecer propiedades mecánicas del espécimen, esto depende del procedimiento de ensayo de cada reómetro. Por ejemplo, de la carga aplicada sobre el espécimen; el tipo de deformación; la geometría de la pieza, etc. La ecuación constitucional básica, para muestras sólidas y viscosas son respectivamente:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.3)$$

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.4)$$

Donde G es el modulo en cortante, τ es el esfuerzo cortante, γ la deformación en cortante, η la viscosidad y $\dot{\gamma}$ la velocidad de deformación.

Por ejemplo para el caso de platos paralelos donde el plato inferior es fijo y mide el torque, mientras el plato superior es el conductor, la viscosidad dinámica η' y la “viscosidad rígida” η'' , equivale:

$$\eta' = \left(\frac{2HT(\sin\delta)}{\pi R^4 \omega \theta_o} \right); \quad \eta'' = \left(\frac{2HT(\cos\delta)}{\pi R^4 \omega \theta_o} \right) \quad (2.5)$$

Donde, H representa el gap, δ equivale al ángulo de desfase; T el torque, R el radio del plato; ω la velocidad angular y θ la amplitud de oscilación. [21]

Para un experimento dinámico del cual las oscilaciones son sinusoidales, se puede impartir una deformación como aplicación y la resultante es el esfuerzo (prueba de relajación), por lo que:

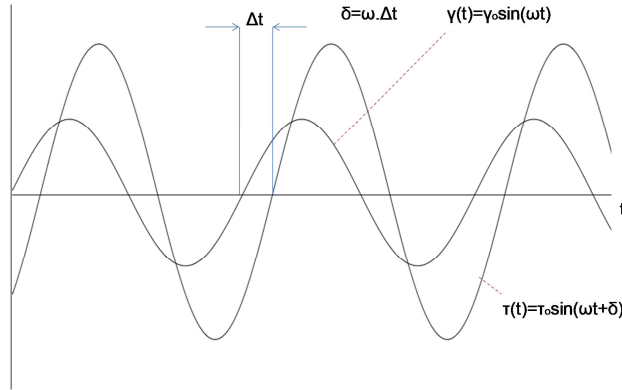
$$\gamma(t) = \gamma_o \sin \omega t \quad (2.6)$$

Que corresponde a la deformación en función del tiempo. El esfuerzo sería:

$$\tau(t) = \tau_o \sin(\omega t + \delta) \quad (2.7)$$

Donde δ es el ángulo de desfase, como se observa en la figura 2.4. δ es la diferencia entre la deformación aplicada y el esfuerzo. Para δ igual a cero corresponde a un material perfectamente elástico, mientras si el desfase está a 90 grados, el material es completamente viscoso. Para materiales viscoelásticos se encuentra entre estos dos comportamientos.

Figura 2.4 Cuando el material responde a la aplicación de una deformación, el esfuerzo como respuesta está fuera de fase



El esfuerzo dado en la ecuación 2.7 puede extenderse y se obtiene:

$$\tau(t) = (\tau_o \cos \delta) \sin \omega t + (\tau_o \sin \delta) \cos \omega t \quad (2.8)$$

De aquí se obtienen las magnitudes de cada módulo. Dentro del paréntesis del coseno se puede observar que está en fase con la curva origen, mientras el seno es la curva de desfase, por lo que la ecuación 2.8 se puede presentar como:

$$\tau(t) = \gamma_o (G' \sin \omega t + G'' \cos \omega t) \quad (2.9)$$

Por lo que el módulo elástico y el módulo viscoso son respectivamente:

$$G' = (\tau_o / \gamma_o) \cos \delta \quad (2.10)$$

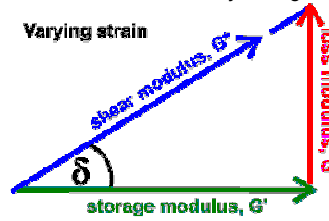
$$G'' = (\tau_o / \gamma_o) \sin \delta \quad (2.11)$$

La suma vectorial de estos componentes corresponde al módulo complejo o módulo dinámico G^* , que se puede entablar en forma compleja, como [21]:

$$G^* = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} = \left(\frac{\tau_o}{\gamma_o} \right) e^{i\delta} \equiv G' + iG'' \quad (2.12)$$

Donde la parte real (coseno) corresponde al módulo elástico, mientras la parte imaginaria (seno) al módulo viscoso, ésta relación se puede representar como la figura 2.5

Figura 2.5 Representación gráfica de la relación entre los módulos y el ángulo de desfase en la prueba dinámica oscilatoria



Del gráfico anterior se puede hallar la tangente de pérdida o coeficiente de amortiguación; el cual también puede escribirse en términos de la viscosidad y la complianza como sigue:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} = \frac{\eta'}{\eta''} = \frac{J''}{J'} \quad (2.13)$$

La tangente de pérdida es una medida de la pérdida de energía, representado en un número adimensional, valores altos (δ cercanos a 90), es indicativo de un material que no responde a la componente elástica. Para el caso contrario, para valores bajos (cercanos a cero) es el indicativo que tiene más elasticidad que pérdida.

Los parámetros de la ecuación 2.13 se relacionan con los módulos de la siguiente manera [19]:

$$J' = \frac{1}{G'}; \quad J'' = \frac{1}{G''}; \quad \eta' = \frac{G''}{\omega}; \quad \eta'' = \frac{G'}{\omega} \quad (2.14)$$

2.4.2 Proceso de unión y desunión

Todos los adhesivos deben obtener un buen contacto íntimo con el sustrato, es decir buena mojabilidad con el sustrato donde se va aplicar. El proceso de pegado se compone de esta etapa, para el caso particular de este proyecto primero el adhesivo es aplicado sobre cada sustrato, con valores de baja viscosidad para permitir fácil fluidez. Para un adhesivo PSA, la unión adhesiva debe hacerse aplicando una ligera presión. El adhesivo además debe formar una adhesión rápida con el sustrato (tack), para generar una pequeña resistencia entre sus partes unidas.

Para conocer si un adhesivo PSA, tiene buenas propiedades al pegado (tack), un buen método, es a través del criterio de Dahlquist. Él postuló unos valores a unos parámetros para caracterizarlo. Analizó los resultados de las propiedades reológicas del adhesivo, como función del tiempo y también de la temperatura, así como también, la pegajosidad (tack) como función del tiempo en la velocidad de desunión y la temperatura. Determinó que límites por debajo de un determinado valor de la complianza a una escala de tiempo de un segundo; no presentaba pegajosidad, los valores se resumen a continuación [11]:

$J(1s) \geq 3 \times 10^{-6} \text{Pa}$ Complianza en Creep.

$G(1s) \leq 3 \times 10^5 \text{Pa}$ Módulo del esfuerzo de relajación.

$|E^*|(1s^{-1}) \leq 1 \times 10^6 \text{Pa}$ Magnitud del módulo complejo (dinámico) en tensión.

$|G^*|(1s^{-1}) \leq 3 \times 10^5 \text{Pa}$ Magnitud del módulo complejo (dinámico) en cortante.

El tiempo de un segundo es un valor arbitrario, basado en el tiempo en el cual se forma típicamente un pegado en la prueba del *tack*; sin embargo, para procesos industriales como la fabricación de pañales, el proceso de pegado puede ser a decimas de segundo, aun así el adhesivo preferiblemente debe mantenerse dentro del rango valido dado por el criterio de Dahlquist. La resistencia al desgarre (*peel*) depende de dos procesos en diferentes tiempos; el de pegado y el de desunión. El proceso de pegado se realiza en la máquina, a unas condiciones establecidas y el proceso de rompimiento de la unión adhesiva (desunión) en el equipo de prueba. Ambos procesos están relacionados con el tiempo (o frecuencia). Para que haya una buena unión adhesiva se requiere que el adhesivo fluya y moje el sustrato, la formación del pegado es típicamente un comportamiento de baja frecuencia; baja viscosidad y baja elasticidad; a bajas frecuencia favorece el pegado. Por otra parte la desunión el cual está caracterizado a altas frecuencias de deformación, se requiere buena resistencia cohesiva (alto modulo), pero sobre todo alta disipación de energía.

2.5 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ANALISIS DINAMOMECANICO (DMA)

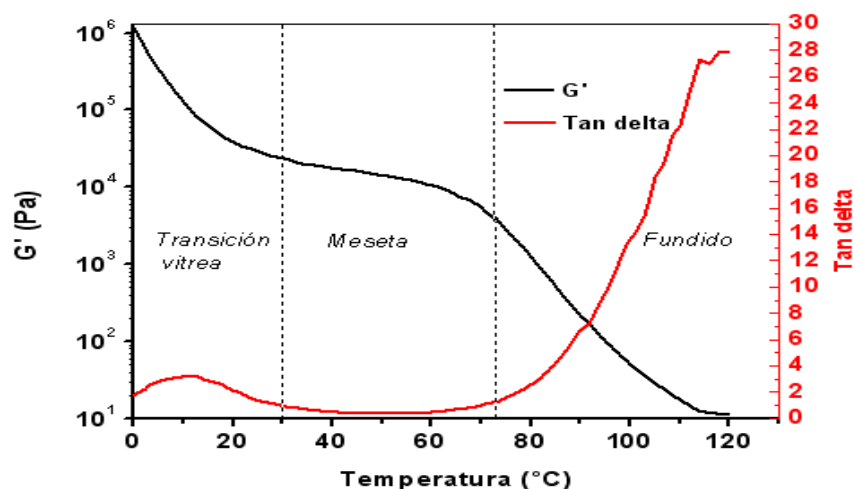
Se realiza prueba dinamomecánica con barrido de temperatura y frecuencia (éste resultado se muestra más adelante), al adhesivo utilizado en planta (NW-1094ZP). Los parámetros de la prueba fueron:

Tabla 2.2 Parámetros de la prueba DMA (barrido de temperatura)	
Ensayo Dinamomecánico (DMA)	
Muestra	Adhesive Hot Melt PSA NW-1094ZP HB FULLER
Equipo	Bohlin Gemini*
Cantidad de muestra	0,56 g
Barrido de temperatura**	
PP (platos paralelos)	20
Single Frequency	1,000 Hz
Strain (controlado)	0,05
GAP	1500 micrones
Temp Rate	3°C/min
Rango de temperatura	
Temp. Inicial (°C)	0
Temp. Final (°C)	120

Nota: * La ficha técnica del equipo se muestran en el anexo tabla A.11; ** el resultado gráfico original de esta prueba se encuentra en el anexo figura C.5. La Prueba fue realizada en el laboratorio de HBFULLER Argentina

El gráfica DMA, de barrido de temperatura, se muestra a continuación (hoja siguiente) se caracterizan las fases

Figura 2.6 Resultado de DMA para NW-1094ZP, se observa G' y $\tan \delta$, como también las fases características



En la gráfica anterior, se muestran los parámetros de una prueba DMA, los cuales son el módulo elástico G' y la tangente de pérdida, principalmente. El módulo viscoso G'' (que no se ve en la gráfica) se puede hallar por la ecuación 2.13. También se observan tres de las cuatro fases importantes que caracteriza un adhesivo *HMPSA* en función de su temperatura. La variación de la tangente de pérdida, caracteriza cada una de estas fases; por ejemplo, la transición del estado meseta a fundido se especifica cuando la tangente de pérdida es igual a uno; es decir en la *temperatura de ablandamiento* (72°C). Para valores de tangente de pérdida mayores a 1 la componente viscosa es dominante dentro del adhesivo, haciendo que este fluya más fácilmente. También se identifica la temperatura de transición vítrea aproximadamente a 12°C equivalente a la punta de la curva de tangente de pérdida en la fase de transición vítrea.

El *HMPSA*, debe ser derretido por calor a una temperatura por encima de su punto de fusión, Es decir, por arriba de 120°C, en este estado mantiene una baja viscosidad para fluir y cumplir con los criterios de adhesión. Al enfriarse se “recristaliza” y vuelve a convertirse en un sólido para que resista la deformación. Por ello se debe analizar cómo se comporta el adhesivo en sus diferentes fases a través de la reología [11].

2.5.1 Fase fundida Después de los 120°C, el adhesivo no mantiene una componente elástica considerable, por lo que el adhesivo es casi 100% viscoso, para evaluar la viscosidad después de esta temperatura se debe realizar la prueba de viscosidad, los parámetros de la prueba y los resultados se muestran en la tabla 2.3

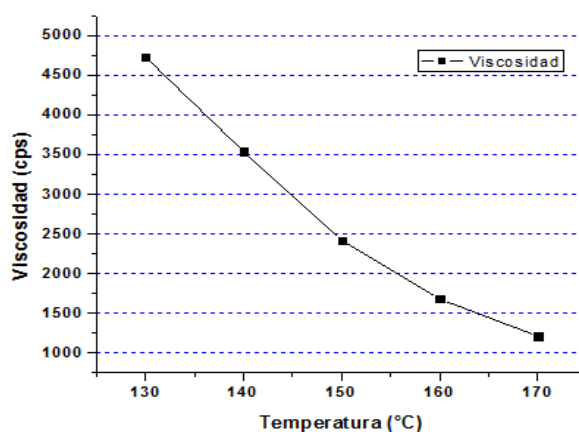
Tabla 2.3 Parámetros de la prueba para medición de la viscosidad del adhesivo	
Viscosidad del adhesivo NW-1094ZP, en estado fundido	
Equipo*	Viscosímetro Brookfield Thermosel System DVIII + pro
Husillo (spindle)	SC4-27
Velocidad (rpm)	50 RPM
Rango de temperatura	(130 – 170)°C
Puntos medidos	5

* La ficha técnica del equipo de medición se muestra en el anexo figura A.12

Temperatura (°C)	130	140	150	160	170
Viscosidad (cps)	4730	3540	2420	1680	1210

Es de considerarse que los parámetros de la viscosidad no están en función solo del tiempo-temperatura, sino también de la velocidad de deformación. Además en la prueba de viscosidad no se está considerando viscoelasticidad lineal. En la figura siguiente se muestra la viscosidad en función de la temperatura

Figura 2.7 Viscosidad vs temperatura del adhesivo NW-1094ZP



Según los resultados de la viscosidad, este valor es bastante dependiente a la temperatura, por aumento de un grado centígrado, la viscosidad disminuye promedio 80 cps. Se observa que no existe una linealidad en el cambio de viscosidad por la temperatura. Para el proceso de pegado, la interface adhesivo-substrato y las propiedades mecánicas o reológicas del adhesivo juegan un papel importante para que exista buena adhesión.

Las interacciones de las energías superficiales e interfaciales son las responsables de la mojabilidad así como también de la resistencia intermolecular actuando en la interface substrato-adhesivo [11].

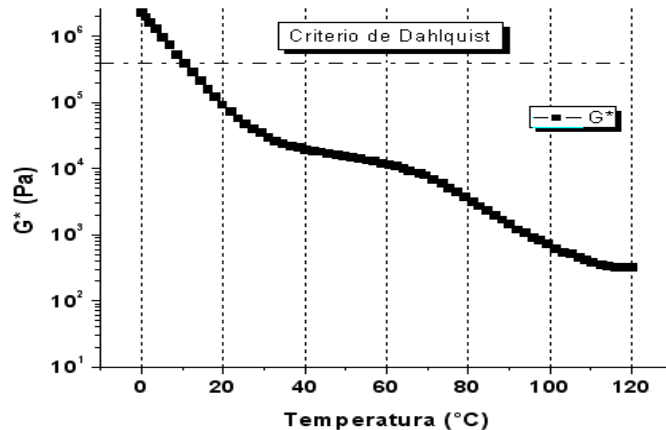
De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta la ecuación 1.9; para que exista buena mojabilidad del adhesivo al sustrato, el ángulo de contacto debe ser pequeño. Para que se lleve a cabo esto, la energía superficial o tensión superficial del líquido (adhesivo), denotado por (γ_{LV}), y la energía de interface solido-líquido (γ_{SL}), deben ser pequeñas comparado a la energía superficial del sustrato (γ_{SV}). La energía superficial del sustrato no cambia debido a su estructura "sólida". Pero la tensión superficial del adhesivo es dependiente de la temperatura, disminuye al aumentar y así como también la viscosidad, por lo que al aumentar la temperatura del adhesivo favorece la mojabilidad [11]. Aunque no existe una correlación clara entre viscosidad y tensión superficial para los polímeros. Ambas disminuyen al aumentar la temperatura para la mayoría de líquidos [7]; son condiciones que favorecen la esparsión y la mojabilidad para una unión adhesiva, como se indicó anteriormente.

2.5.2 Fase de meseta o plateau: Por debajo de la temperatura de ablandamiento ($\tan \delta = 1$), (cerca a los 70°C), se encuentra una fase donde los módulos no cambian considerablemente al cambio de la temperatura, esta región es conocida como plateau y el módulo en esta región se conoce como *módulo de plateau*; ésta región de meseta depende de la concentración de enlaces entrecruzados físicamente, existente en la fase rígida del dominio. También es afectado por la densidad de encadenamientos transversales (*entanglement*). A mayor peso molecular teóricamente mayor distancia entre cadenas lo que hace que disminuya el módulo de plateau, además las resinas y/o los diluyentes adicionados de bajo peso molecular provocan mayor espacio entre los reticulados, lo que hace que el módulo también disminuya. El módulo elástico es mayor al módulo viscoso en esta región, el adhesivo se comporta como un caucho; cuando se deforma el adhesivo vuelve a su posición original. Para los *HMPSA*, no necesariamente, deben estar en fase fundida para que la unión se produzca (se evalúa el criterio de *Dahlquist*), como es el caso necesario para otros adhesivos. Debido a sus propiedades viscoelásticas, él puede responder más como un líquido, durante el proceso de pegado a lentas deformaciones; mientras a rápidas deformaciones como un material rígido, lo cual es necesario durante proceso de fractura (como la prueba *peel*). El adhesivo entre más blando o flexible sea, favorece el proceso de pegado, puesto es más fácil deformar al aplicar una presión, lo que se traduce en que el módulo elástico entre más pequeño sea, mayor promueve la mojabilidad. Se observa en la figura 2.6, que el módulo aumenta paulatinamente al disminuir la temperatura en la región de meseta; por lo que sí se realiza la unión adhesiva a mayor temperatura existiría mejor contacto entre el adhesivo y los sustratos favoreciendo el pegado.

De acuerdo al criterio de *Dahlquist*, se examina el adhesivo para analizar su propiedad de pegajosidad (*tack*), el cual es un requisito básico en un *HMPSA*. Se calcula el módulo complejo (ecuación 2.12) y se halla la curva en función de la temperatura, Figura 2.8. Se observa que el

adhesivo por encima de los $\approx 12^{\circ}\text{C}$, presenta adherencia, por lo cual a temperaturas mayores se encuentra en condiciones de realizar pegado. Por debajo de los $\approx 12^{\circ}\text{C}$, el adhesivo no presenta facilidad de adherencia. Desde luego mientras el módulo sea más pequeño más fácil podrá mojar al sustrato y realizar la unión adhesiva. Debido a lo anterior el factor temperatura es una variable a considerar

Figura 2.8 Módulo complejo G^* en función de la temperatura en la prueba DMA, se resalta la condición de *Dahlquist*.



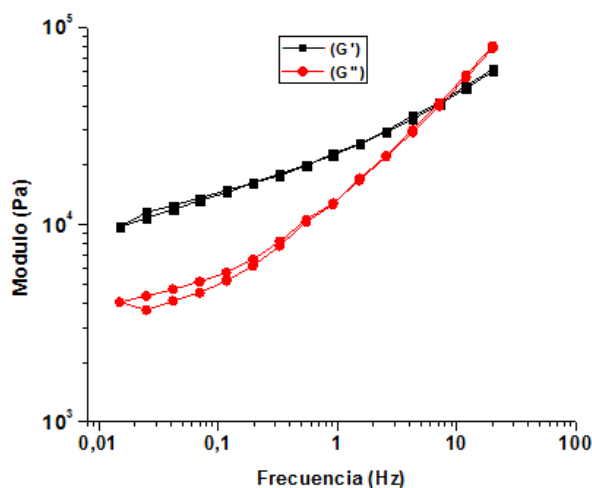
2.5.3 Fase de transición vítrea: Esta fase es caracterizada por la temperatura de transición vítrea T_g , en la cual el adhesivo pasa de ser blando o flexible a un estado rígido, de acuerdo a la figura 2.6; ésta transición se presenta donde $\tan \delta$ es más alto en esta zona, es decir aproximadamente a los 12°C . Por debajo de esta temperatura el adhesivo toma un comportamiento más rígido que blando, lo cual limita el pegado sobre el sustrato, ya que no presentaría propiedades de pegajosidad. A temperaturas menores, casi todos los polímeros convergen a una fase vítrea (la cual no se ve en la figura) que corresponde a módulos del orden de 10^9 Pa [11]. De acuerdo a la composición del material la localidad de esta zona se ubica a diferentes temperaturas lo cual es significativo para el desempeño final del adhesivo. Para los copolímeros en bloque; el bloque intermedio es decir el elastómero frecuentemente tiene temperatura de T_g , alrededor de -60°C , para el isopreno y -85°C , para el butadieno, por lo que a temperatura ambiente no tiene suficiente energía de disipación lo que afecta la resistencia en el proceso de desunión; la adición de resinas solubles en la fase del bloque intermedio hace que aumente la temperatura de transición vítrea del sistema. Para el adhesivo *NW-1094ZP*, la adición de estas resinas ha hecho que aumente la T_g a 12°C , la cual es favorable para el proceso de desunión. Temperaturas cercanas por encima de T_g , genera mayor resistencia al peel. [11]

2.5.4 Proceso de unión y desunión: Como se mencionó, estos procesos están caracterizados por la frecuencia o el tiempo. Se realiza la prueba de DMA con barrido de frecuencia, a una temperatura fija, la ficha técnica y los resultados se muestran en la tabla 2.4 y en la figura 2.9 respectivamente

Tabla 2.4 Parámetros de la prueba DMA (barrido de frecuencia)	
Ensayo Dinamomecánico (DMA)	
Muestra	Adhesive Hot Melt PSA NW-1094ZP HB FULLER*
Equipo	Bohlin Gemini*
Cantidad de muestra	0,56 g
Barrido de Frecuencia**	
PP (platos paralelos)	20
Temperatura	40°C
Modo cortante	Deformación controlada
GAP	1500 micrones
Strain (controlado)	0,05
Rango de Frecuencia	
Frec. Inicial (Hz)	0,015
Frec. Final (Hz)	20

* Las fichas técnicas del adhesivo (tabla B.4) y del equipo (tabla A.11) se muestran en los anexos; ** Los resultados originales se encuentran en tabla C.3 y en la figura C.6 del anexo. Nota: La prueba fue realizada en el laboratorio de HB. FULLER Argentina

Figura 2.9 Gráfico Curva DMA de barrido de frecuencia para el adhesivo NW-1094ZP



Para el proceso de pegado el cual se realiza a “bajas” frecuencias normalmente a 1 Hz o a un 1 s, tal como Dahlquist lo realizó para el tack; el módulo debe tener un valor por debajo de 3×10^{-5} Pa para que exista adhesividad o pegajosidad, fuera de esto, la viscosidad debe ser pequeña para la

fluidez del material, ésta viscosidad esta relacionada con el módulo viscoso G'' ; por lo que el G'' debe ser lo más bajo también. La condición de Dahlquist se cumple, sin embargo el proceso de pegue en la máquina se hace a un menor tiempo (tiempo en el cual el rodillo tensor presiona la junta adhesiva), por lo que es necesario que el módulo se mantenga a menos de 3×10^{-5} por encima de 1 Hz, para que el pegue inicial sea satisfactorio. El tiempo transcurrido desde la unión adhesiva hasta la prueba final de *Peel* es muy extenso desde horas hasta días, lo cual equilibra la unión adhesiva, y favorece el curado; esto se analizará más adelante en el capítulo 4.

Para el proceso de despegado, a diferente del proceso de pegado, la escala de tiempo es pequeña, éste tiempo está caracterizado por la deformación del adhesivo en el desgarre durante el *T-peel*, el tiempo es gobernado por la velocidad de desgarre de la prueba y el grosor del adhesivo. La medición del grosor del adhesivo es complejo para sustratos porosos como las telas no tejidas, ya que por la naturaleza del adhesivo, este fluye hacia las concavidades del sustrato, Por lo tanto el grosor que se mediría no sería el real. Para ilustrar el tiempo de desunión, considerando teóricamente el grosor del adhesivo para el caso del absorbente de acuerdo a la cantidad aplicada. Se tienen que para el lado central del absorbente (en el cual se realiza la prueba *T-peel*), equivale $5,65 \text{ g/m}^2$; véase tabla 1.4. El grosor entonces sería de aproximadamente 6 micrómetros. Se utiliza una velocidad de 300 mm/min en la prueba, por lo que la escala de tiempo en la deformación en *peel* es [11]:

$$t = \frac{6 \times 10^{-6} \text{ m}}{30 \times 10^{-2} \text{ m/min}} \times \left(\frac{60 \text{ s}}{\text{min}} \right) \approx 1,2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Este tiempo de rompimiento equivale a una frecuencia de 833 Hz, el cual es mucho menor que el tiempo típico de pegado. En la figura 2.9, ésta frecuencia no se ilustra en la gráfica debido a limitaciones del equipo, sin embargo se observa que necesariamente está por encima de la transición a estado vítreo. El módulo G'' debe ser alto para poder disipar mayor energía. Sin embargo en su estado vítreo el adhesivo es muy rígido y la adhesividad cae, por lo que a muy altas velocidades de desgarre o a espesores de adhesivo muy pequeños; el adhesivo no responde bien a la resistencia al *T-peel*.

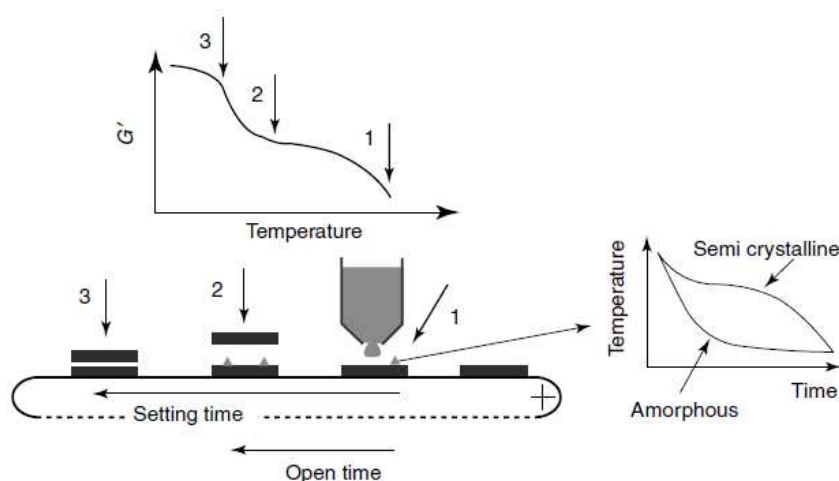
Es importante notar el rol que hace o como influye la velocidad (frecuencia) y la temperatura durante el proceso de unión y desunión; tal como se discutió aquí con el análisis DMA; esto es debido a las caracterizaciones viscoelásticas.

3. TRANSFERENCIA DE CALOR DURANTE EL TIEMPO ABIERTO DE MÁQUINA

Cuando el adhesivo es aplicado sobre el sustrato, los parámetros físicos pertinentes a la etapa de unión son importantes para establecer un buen enlace entre superficie y la capa de adhesivo. Como por ejemplo, el tiempo de contacto y la presión ejercida durante el pegado [22], pero sobre todo, es importante el tiempo abierto del adhesivo.

Para el caso de un *HMPSA* la aplicación de una capa es realizado a altas temperaturas (120°C-180°C), en estado líquido. Durante ésta etapa, la temperatura de la capa adhesiva disminuye y la variación en las propiedades viscoelásticas del adhesivo durante este proceso cambian, figura 3.1, como se analizó en el capítulo anterior en el estudio DMA, éste análisis permite visualizar la evolución del modulo elástico en función de la temperatura.

Figura 3.1 Variación de la temperatura y de las propiedades viscoelásticas en el proceso de unión adhesiva. Tres relevantes parámetros durante este proceso, a saber: 1. El nivel de viscosidad, 2. El nivel del módulo (criterio de Dahlquist), 3. Nivel de la complianza [23]



Es posible establecer una relación entre la curva DMA y la escala de tiempo de un proceso dado conociendo la evolución de la temperatura del adhesivo en función del tiempo durante el proceso de unión [23]. De acuerdo a la naturaleza del adhesivo la variación de la temperatura puede ser diferente, como se ve en el esquema adjunto de la figura anterior. La cristalización hace que el adhesivo permanezca con un mayor tiempo abierto que los polímeros amorfos. El esquema adjunto también se conoce como perfil de enfriamiento del adhesivo.

El parámetro relevante en (1) de la figura anterior, es la viscosidad a la temperatura de aplicación, debido a que el adhesivo está por encima de la temperatura de la cual el módulo elástico G' , es

muy pequeño; es decir, tiene un comportamiento viscoso. La viscosidad juega el rol de la mojabilidad en el sustrato; véase el numeral 2.5.1. Como se definió en el capítulo anterior, el tiempo abierto se refiere al tiempo en el cual el adhesivo permanece con una instantánea pegajosidad (*tack*). Para un HMPSA éste debe ser permanente; sin embargo, la variación de las propiedades viscoelásticas con la temperatura mejora o desmejora el pegado, según sea el caso; por ejemplo, entre más frío esté el adhesivo más difícil es realizar el pegado, aun permaneciendo el HM con pegajosidad, ya que el adhesivo no penetraría la tela.

El tiempo abierto debe ser mayor al tiempo operativo o de máquina, para generar un pegue satisfactorio. El tiempo abierto puede ser definido a través del criterio de Dahlquist, el módulo complejo, debe ser menor al valor estimado por Dahlquist para satisfacer el pegue inicial, esto ocurre en la etapa 2, de la figura 3.1. Para el caso de la etapa 3, donde se deforma el adhesivo bajo una pequeña presión constate, el adhesivo fluye hacia los sustratos. Esto depende del nivel de complianza, el cual es un parámetro inverso a la rigidez. La complianza depende de la viscosidad y de una función no decreciente llamada “función de *creep*” [21, 23]. Sin embargo en la producción de absorbentes, la presión ejercida a los sustratos en el rodillo tensor, es dada en un instante (tiempo corto), por lo que la presión ejercida no es constante. Finalmente, no existe deformación considerable en el adhesivo (fluencia al *creep*) durante esa etapa.

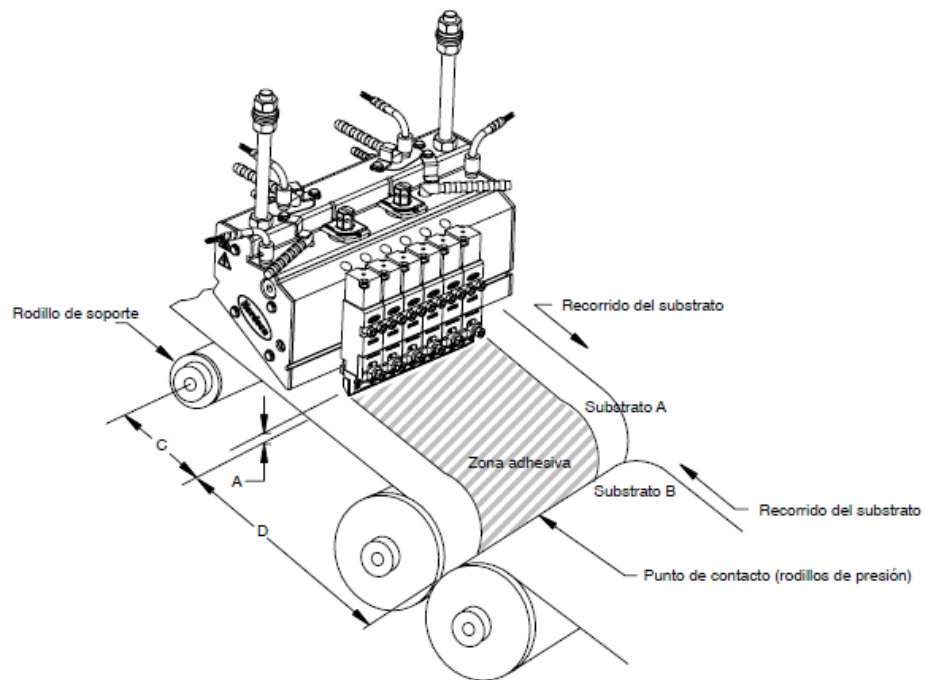
3.1 PERFIL DE ENFRIAMIENTO DEL ADHESIVO DURANTE EL TIEMPO ABIERTO DE MAQUINA

El adhesivo cuando sale de la boquilla, moja la superficie del sustrato. El tiempo en el cual recorre el adhesivo desde su aplicación a la unión con el otro sustrato es el tiempo abierto operativo. Este tiempo depende de la velocidad de la banda y su distancia al rodillo pisador, distancia *D* de la figura 3.2. La rapidez con que el adhesivo alcanza el estado “sólido”, proporciona una idea de la velocidad relativa de trabajo del producto [13].

La temperatura del adhesivo disminuye al momento de salir de la boquilla debido a la transferencia de calor del adhesivo al sustrato y al medio circundante. Una curva características de este efecto, se presentó en la figura 3.1. El perfil de ésta curva depende de muchas variables, por ejemplo:

- De la naturaleza del adhesivo.
- La posición del aplicador.
- La velocidad de máquina.
- De la temperatura de aplicación del adhesivo.
- De su volumen o masa aplicada.
- La temperatura del medio circundante y del sustrato.
- De las propiedades termodinámicas del sustrato y del adhesivo, entre otros.

Figura 3.2 Vista isométrica de un esquema de laminación (Nordson Corporation)



La transferencia de calor del adhesivo a sus fronteras se da a través del mecanismo de conducción al substrato; de convección hacia el aire y radiación hacia a sus alrededores; ignorando de lo anterior el flujo de calor por reacciones internas del adhesivo.

La conducción es la transferencia de calor de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las menos energéticas adyacentes, como resultado de la interacción entre ellas y es definido por la ayuda de la ley de Fourier de la conducción, para una conducción unidimensional la razón de la transferencia de calor es [26]:

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

Donde k , es la conductividad térmica del material, y $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura en la misma dirección del flujo. $\dot{Q}_x$ También puede estar indicado en término del flujo de calor desde una frontera $\dot{q}$; el cual es la transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de la conducción. Al comienzo del calentamiento, el adhesivo se comporta solamente como un pozo de calor, y la cantidad de energía por unidad de volumen, Q_v , que se almacena en el material antes de alcanzar condiciones de estado estable puede aproximarse así [24]:

$$Q_v = \rho C_p \Delta T \quad (3.2)$$

En donde ρ es la densidad del material, C_p es el calor específico, el cual se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia; y ΔT el cambio de temperatura que ha experimentado hasta el momento el adhesivo o el material. La convección es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido adyacente que se encuentra en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y del fluido en movimiento. La razón de transferencia de calor por convección se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como,

$$\dot{Q}_{cov} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3.3)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A_s el área superficial a través de la cual tiene lugar esa transferencia, T_s es la temperatura de la superficie y T_∞ es la temperatura del fluido suficientemente alejado de dicha superficie. Y por último la razón de la transferencia de calor en la frontera por radiación en forma de ondas electromagnética o fotones, se define como,

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{alrd}^4) \quad (3.4)$$

Donde, σ es la constante de *Stefan-Boltzmann*. Y ϵ es el coeficiente de emisividad del material. $\epsilon = 1$ Corresponde al cuerpo negro; varía entre 0 y 1 para los demás materiales. Para el caso de un adhesivo *hot melt* su emisividad varía desde 0,90 a 0,98 [25]; para el caucho entre 0.86-0.93 [26]; y El SBS tiene (compuesto del *HMPSA*) un valor de 0,92 [27]. Para la mayoría de los materiales no metálicos su ϵ se encuentra en alrededor de 0,90. Se define que la emisividad del adhesivo se encuentra en un rango alto y debe tenerse en cuenta.

La transferencia de calor por radiación hacia una superficie, o desde ésta; por lo general está rodeada por un gas como el aire, entonces ocurre paralelamente dos mecanismos de transferencia de calor desde aquella superficie, la convección y la radiación. Por lo tanto la transferencia total es la suma de estas dos contribuciones. Para facilidad de los cálculos se define un coeficiente combinado de transferencia de calor, $h_{combinado}$, que incluye ambos efectos, es decir [26]:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = h_{combinado}A_s(T_s - T_\infty) \quad (3.5)$$

La ecuación general de la conducción de calor en coordenadas rectangulares; considerando la conductividad térmica constante y para el estado transitorio, se define como [26]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.6)$$

Donde la propiedad α es la difusividad térmica del material; y $\dot{e}$ es la razón de generación de calor; la ecuación anterior se conoce como ecuación de *Fourier-Biot*. De acuerdo a la figura 3.2, la conducción de calor se considera unidimensional dado que el área A_s es bastante grande (tanto largo como por ancho), comparado al grosor o espesor del adhesivo (alrededor de $10\mu\text{m}$); además no existe generación de calor dentro del adhesivo, por lo que la ecuación 3.6 se reduce a:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.7)$$

Debido a la complejidad en la resolución analítica de la ecuación diferencial anterior; para solucionar el problema, se recurre a métodos numéricos, con diferencias finitas mediante el procedimiento del balance de energía, por la cual la ecuación 3.7 se puede expresar por el método explícito como:

$$\sum_{\text{lado izq y lado der}} \dot{Q}^i = \rho V_{\text{elem}} C_p \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (3.8)$$

Donde la razón de transferencia $\dot{Q}$, consta normalmente de los términos de conducción, pero en las fronteras se puede deber a efectos de convección y/o radiación, o conducción con otra superficie; los términos T_m^{i+1} y T_m^i , son las temperaturas del nodo m en los instantes $t_{i+1} = (i + 1)\Delta t$, y $t_i = i\Delta t$ respectivamente, y la diferencia de estas temperaturas representa el cambio de energía, en el cambio Δt (intervalo de tiempo) entre los intervalos i e $i + 1$.

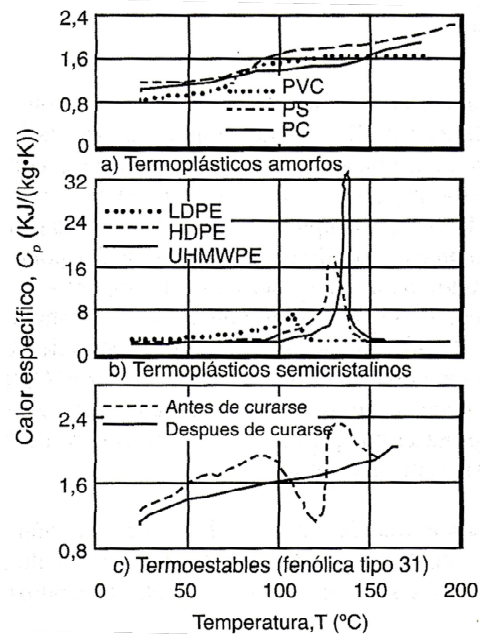
Las propiedades del material que se usan en las ecuaciones 3.1 y 3.2, se combinan a menudo como una sola propiedad, denominada difusividad térmica, α , la cual, para un material isotrópico se define como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (3.9)$$

Los parámetros termofísicos para los polímeros como el C_p , k , ε , ρ , h , etc. Cambian en función del tiempo, la presión o el cambio de fase [24]. Si no se consideran estos cambios pueden generarse grandes diferencias con los resultados reales. En la figura D.1 del anexo, se muestra un interesante resumen del comportamiento de algunas propiedades con la temperatura, la cual es obtenido del libro de “*properties of polymers*” de Krevelen [28]. Algunos de estos gráficos mostrados en el anexo, figura D.1, no se disponen para el adhesivo, debido a limitaciones de equipos de laboratorio, por lo que algunas propiedades se eligen de tablas y por lo tanto se consideran constantes con la temperatura. Más adelante se analiza como algunas propiedades influyen y otras no; en el perfil del decaimiento de temperatura del adhesivo.

El calor específico puede ser un parámetro crítico en los polímeros semicristalinos, ya que muestran una discontinuidad en el punto de fusión de las cristalitas. Este salto o discontinuidad es el calor requerido para fundir las cristalitas, el cual es usualmente llamado *calor de fusión*. Por lo tanto el C_p depende del grado de cristalinidad [24]. La figura 3.3, muestra el comportamiento del calor específico para tres categorías de polímeros. Debe notarse que para un polímero particular, dependiendo del resultado de la curva C_p vs Temperatura, se puede categorizar dentro de las tres categorías mostrada en la figura. El análisis de la transferencia de calor para la propiedad del calor específico en los semicristalinos requiere un estudio con mayor cuidado, debido a la discontinuidad presentada en la curva; mientras para los amorfos o los termoestables curados, no presentan este inconveniente.

Figura 3.3 Curvas de C_p para distintos polímeros dentro de tres categorías [24]



Las telas no tejidas (TNT), son una mezcla entre fibras y aire; son materiales porosos, por lo tanto la conductividad térmica para estos materiales no es la contribución total de las fibras, sino una contribución de ambas tanto del aire atrapado como de las fibras [29]. Además de lo anterior, la conductividad total es afectada por varios factores entre los principales se encuentran: la conductividad térmica del polímero sólido; la estructura del TNT; la temperatura ambiente y la convección interna (aire – fibra).

Por lo que k del TNT puede ser expresado por:

$$k = k_{cond\ aire} + k_{cond\ fibras} + k_{conveccion} + k_{radiación} + k_{fibra-aire} \quad (3.10)$$

Donde el calor transferido por conducción y radiación puede ser reducido por el incremento de la densidad de la tela ($k_{conveccion}$ y $k_{radiación}$, disminuyen). Mientras, por el contrario la conductividad térmica por las fibras puede aumentar simultáneamente.

Para entender la influencia de la estructura de la TNT sobre el calor transferido, *Schumeister* [29], ha obtenido una relación entre las conductividades térmicas del aire y las fibras para una estructura homogénea e isotrópica con un cierto k , como sigue:

$$k = \frac{1}{3}(k_1 v_1 + k_2 v_2) + \frac{2}{3} \left(\frac{k_1 k_2}{k_1 v_2 + k_2 v_1} \right) \quad (3.11)$$

Donde v_1 y v_2 son las fracciones de volumen del medio, con conductividades térmicas k_1 y k_2 respectivamente. Donde $v_1 + v_2 = 1$

La porosidad proporciona información sobre el *volumen total* del vacío o del espacio libre de un material poroso y se define como la relación del volumen no sólido (vacío) y el volumen total de la tela no tejida fabricada. La fracción de volumen del material sólido es definido como la relación entre el material de la fibra sólida con el volumen total de la tela no tejida. El porcentaje de porosidad puede ser calculado usando la densidad total y la densidad de la fibra como sigue [29]:

$$\phi(\%) = \frac{\rho_{fabric}}{\rho_{fibra}} \times 100\% \quad (3.12)$$

$$\varepsilon(\%) = (1 - \phi) \times 100\% \quad (3.13)$$

Donde ε es la porosidad en %, y ϕ es la fracción de volumen del material sólido. Se observa que la porosidad está relacionada con la fracción de volumen del aire.

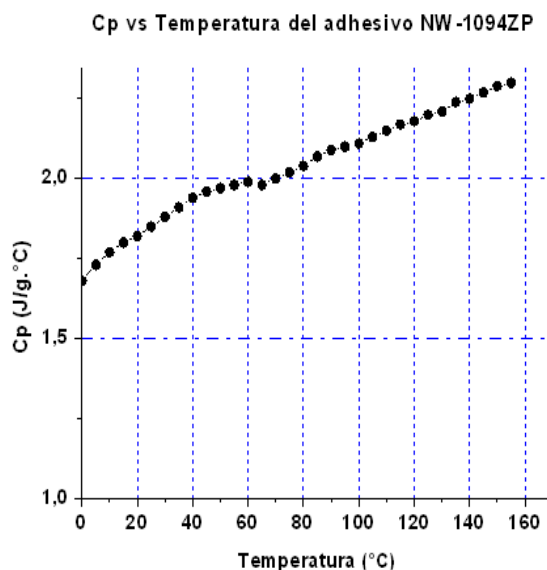
3.2 ANALISIS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y PERFILES DE TEMPERATURA

3.2.1 Propiedades termofísicas de los materiales

3.2.1.1 Adhesivo Se realiza prueba en el calorímetro, para medir la variación del calor específico C_p , del adhesivo *NW1094-ZP*, durante el rango de temperatura entre 0°C y 155°C, los resultados se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Resultados del calor específico del adhesivo en función de la temperatura (Laboratorio HB Fuller Argentina)

Temp (°C)	Cp (J/g.°C)	Temp (°C)	Cp (J/g.°C)
0	1,68	80	2,04
5	1,73	85	2,07
10	1,77	90	2,09
15	1,80	95	2,10
20	1,82	100	2,11
25	1,85	105	2,13
30	1,88	110	2,15
35	1,91	115	2,17
40	1,94	120	2,18
45	1,96	125	2,20
50	1,97	130	2,21
55	1,98	135	2,24
60	1,99	140	2,25
65	1,98	145	2,27
70	2,00	150	2,29
75	2,02	155	2,30



De acuerdo a la gráfica anexa de la tabla 3.1, no se presenta discontinuidades en el perfil de C_p , que son debidas principalmente a la fundición de las cristalitas, el rango de temperatura en la prueba fue amplio, el cual se incluye desde la fase de transición vítrea hasta el estado fundido de acuerdo a los resultados encontrados en la curva *DMA*... ver figura 2.6. Por lo tanto se puede concluir que tiene un perfil característico de un polímero amorfo.

El valor de la densidad o peso específico es dado por la ficha técnica de *HB. Fuller*...ver en anexo figura B.4. Ésta densidad equivale a $0,97 \text{ g/cm}^3$ a temperatura ambiente. Aunque la densidad varía un poco con la temperatura, ésta se considerará constante para los cálculos.

La conductividad térmica disminuye para los polímeros generalmente por encima de T_g , al incrementarse la temperatura, como se observó en la figura del anexo D.1. Sin embargo, no se dispone de ésta variación térmica k del adhesivo por limitación de experimentación, por lo tanto el resultado se toma de tablas y equivale a $0,18 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, correspondiente a copolímeros en bloque estireno-butadieno a 300 grados Kelvin [24]. Es de notarse que el adhesivo no solo son copolímeros en bloque si no una mezcla de otros componentes como resinas, antioxidantes, etc. sin embargo el copolímero se encuentra con alto porcentaje en la mezcla; por lo tanto, se define la anterior conductividad.

3.2.1.2 Substratos Las telas no tejidas, son materiales porosos con un porcentaje de porosidad mayores del 50% y menor al 99% [29]; las TNT están compuestas de fibras y de aire principalmente. De acuerdo al calor específico, debido a que la masa de aire atrapada es pequeña

respecto a las fibras, solo se considerará el calor específico de ésta. Para el TNT de polipropileno (PP) se encuentra entre 1925 y 1930 J/kg.K a 300 grados kelvin [24 y 26]. Para el TNT de polietileno (PE) de baja densidad equivale a 2300 J/kg.K [24].

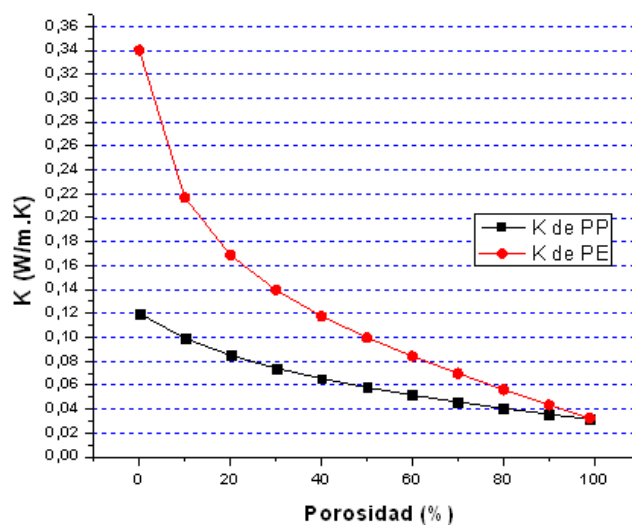
La densidad de las fibras de PP y PE son respectivamente 910 y 920 kg/m³ [29]. Sin embargo la TNT fabricada es menor a los valores anteriores y es afectada principalmente por su estructura, es decir por la orientación de la fibras, por su peso base y por la porosidad.

Para una porosidad del 50% las densidades de cada tela equivalen a la mitad de sus densidades de fibra de acuerdo con las ecuaciones 3.12 y 3.13, por lo tanto son 455 y 460 kg/m³ para el PP y PE respectivamente. La porosidad no afecta considerablemente el perfil de decaimiento de temperatura durante la distancia abierta; salvo para porosidades del margen del 95%, esto se verá más adelante en los cálculos de la variación de la temperatura con la distancia abierta.

La conductividad térmica del TNT es afectado considerablemente por su porosidad, por lo cual es un parámetro que debe tenerse en cuenta para la transferencia de calor.

Las conductividades térmicas de las fibras de PP y PE son respectivamente 0,12 W/m.K y 0.34 W/m.K [29]; mientras para el aire, para un promedio entre 30°C y 180°C es de 0.03117 W/m.K [26]. De acuerdo a la expresión hallada por Schumeister ecuación 3.11; en la figura 3.4 se visualiza el cambio de la conductividad térmica con respecto a la porosidad. Para efectos de los cálculos térmicos se considerará una porosidad del 50%, por lo tanto la conductividad térmica para los materiales de PP y PE son respectivamente 0,058 W/m.K y 0,100 W/m.K. Entre mayor es la conductividad térmica del sólido más rápido cambia ésta con la porosidad, las curvas convergen hacia la conductividad térmica del aire cuando el material es muy poroso 98% como por ejemplo la tela del *High loft* utilizado para una mejor distribución del fluido en los absorbentes desechables.

Figura 3.4 Variación de la conductividad térmica con la porosidad del TNT.



3.2.2 Radiación térmica La emisividad del adhesivo HM es alta (0,90 – 0,98); se mide la temperatura del adhesivo en diferentes instantes del proceso. El equipo utilizado es una cámara termográfica FLUKE Ti25...ver anexo A.10; la frecuencia de actualización de imagen es de 9Hz, la cual detecta cambios de temperaturas a una velocidad considerable.

A continuación se presentan las termografías tomadas en la distancia abierta del PP, con la medición de las temperaturas; a lado de cada imagen se da la descripción de la termografía, la *emisividad* utilizada fue 0,92, el cual coincide satisfactoriamente con las temperaturas superficiales del adhesivo en los tanques (ésta temperatura se compara con la medida por los RTDs y son indicadas en la pantalla del tanque).

Figura 3.5 Termografías en varias posiciones del proceso de la tela no tejida del PP.

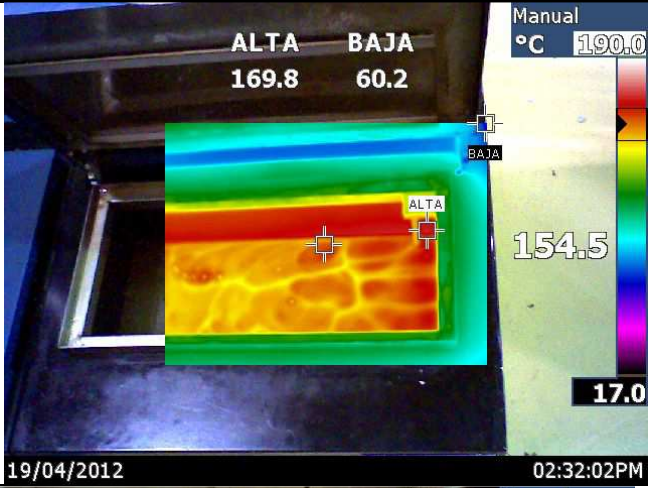
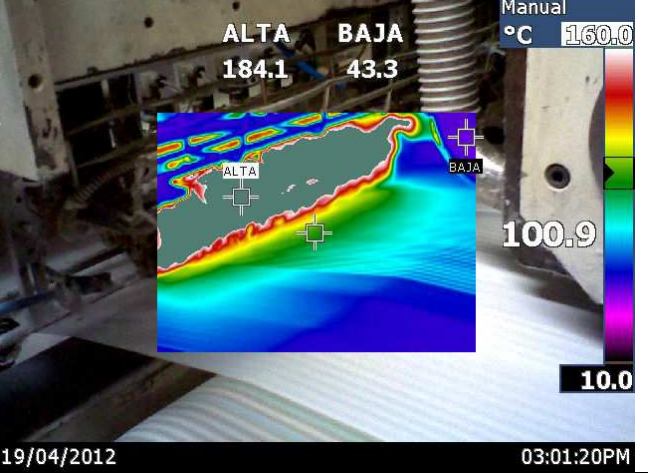
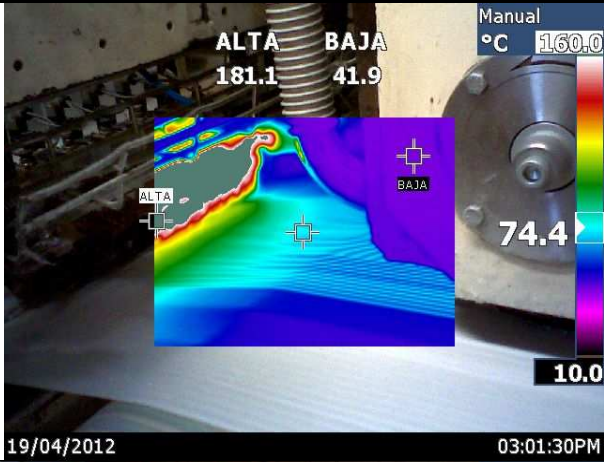
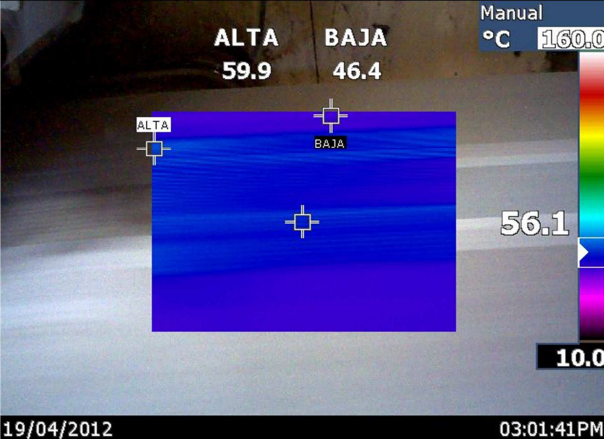
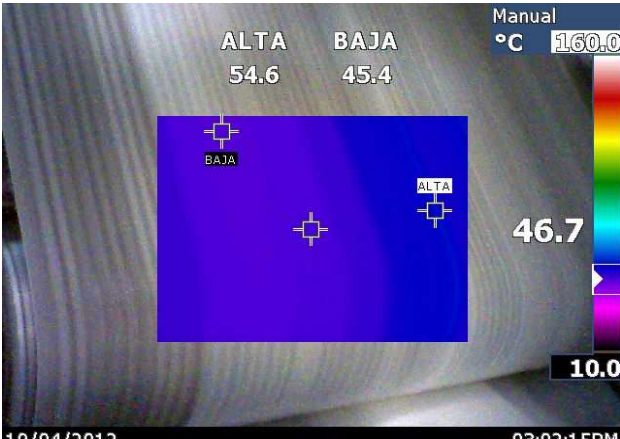
Termografía	Tanque número 1 de la SSP; aplicaciones del TNT y Frontal	
Descripción	Depósito de adhesivo (estado fundido en reposo)	
Setting Temperatura	160 °C	
Temperatura Enfocada	154.5°C	
Observaciones	1. Temperatura no homogénea en la superficie, zona del rojo intenso a 160 °C aproximadamente. 2. Temperatura alta y baja no coinciden con el adhesivo	
Termografía	Aplicador TNT	
Descripción	Mapa térmico cerca al aplicador de contacto de adhesivo.	
Temperatura enfocada	100,9 °C	
Observaciones	1. visualización de la temperatura saliente del aplicador a 146°C aproximadamente. 2. Distancia desde el aplicador al enfoque aproximadamente de 25 mm; a un tiempo abierto de 0,01s. 3. Temperatura alta y baja no coincidentes con el adhesivo.	

Tabla 3.2 (Continuación)

Termografía	Aplicador TNT	
Descripción	Mapa térmico más alejado del aplicador de adhesivo	
Temperatura enfocada	74.4°C	
Observaciones	1. Temperatura enfocada a una distancia de 270 mm del aplicador a 0,08 s del tiempo abierto. 2. Temperatura alta y baja no coinciden con el adhesivo. 3. Se observan franjas frías y cálidas debido al patrón de la boquilla del aplicador.	
Termografía	TNT de PP con el adhesivo aplicado	
Descripción	Temperaturas en la tela a una distancia de 850 mm del aplicador aproximadamente	
Temperatura enfocada	56,1°C	
Observaciones	1. temperaturas a una distancia de 850mm del aplicador, tiempo abierto de 0,26 s. 2. Hay rangos de temperaturas, la baja no necesariamente coincide con el adhesivo. La alta son franjas que tienen mayor concentración de adhesivo.	
Termografía	TNT de PP cerca a la unión adhesiva	
Descripción	Temperaturas del adhesivo a una distancia de 2300 mm	
Temperatura enfocada	46,7°C	
Observaciones	1. En el centro de la tela hay una franja que concentra mayor temperatura que los laterales. Sin embargo una mayor área se encuentra alrededor de 46°C	

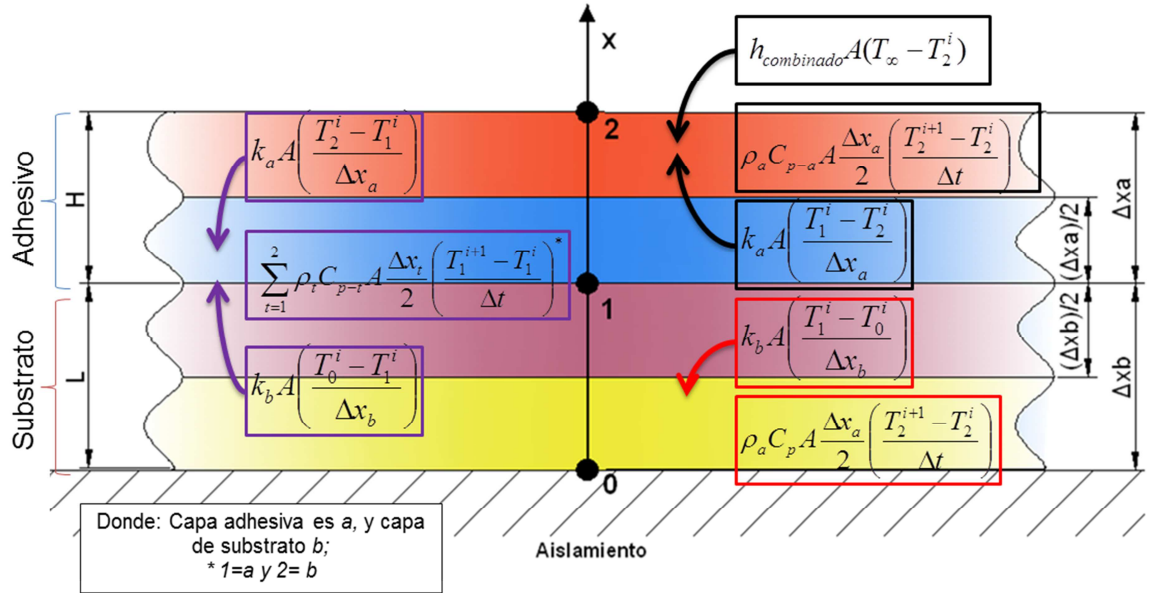
Nota: Los tiempos y las distancias indicadas en la tabla anterior se calcularon de acuerdo a la tabla 1.3 y al plano de la máquina.

De las termografías anteriores se puede observar que la temperatura del adhesivo decae muy rápido al salir del aplicador, no es sorprendente ya que las cantidades aplicadas son de alrededor de 3,00 g/m². Sin embargo, después de cierta distancia se puede observar, con las últimas dos termografías que las temperaturas del adhesivo se mantienen estables por mayor tiempo. Este comportamiento se analiza a través del procedimiento de diferencias finitas como sigue.

3.2.3 Planteamiento, Cálculos y análisis de la transferencia de calor

En la figura siguiente se plantea el problema propuesto.

Figura 3.6 Planteamiento del problema por el método de diferencias finitas, para los cálculos de la transferencia de calor durante el tiempo abierto



En la figura anterior se ha utilizado el método de diferencias finitas por el procedimiento de balance de energía. Se ha dividido cada capa en dos volúmenes de $A \left(\frac{\Delta x_b}{2} \right)$ y $A \left(\frac{\Delta x_a}{2} \right)$, correspondientes al sustrato y al adhesivo, por lo tanto se dan tres nodos (0, 1 y 2) para realizar los cálculos. L y H son los grosores o espesores del sustrato y del adhesivo respectivamente. $h_{combinado}$ Es el coeficiente combinado de transferencia de calor que incluye el efecto radiactivo y convectivo...ecuación 3.5. T_0^i, T_1^i y T_2^i Corresponden a las temperaturas en los nodos 0, 1 y 2 respectivamente. El parámetro i , se refiere al instante i donde el tiempo es $t_i = \Delta t \cdot i$; Δt es el intervalo de tiempo propuesto para realizar los cálculos; desde luego, entre más pequeño sea éste intervalo más preciso serán los resultados, pero involucraría un número mayor de cálculos. En el nodo 0 se ha asumido un aislamiento entre sustrato – frontera; ya que su proximidad es la banda

transportadora el cual tiene un ancho mucho mayor al grosor de la tela. En el plano del nodo **1** se encuentra la interface adhesivo-substrato, se asume contacto perfecto.

En la tabla 3.2, se resumen todos los parámetros pertinentes y se describe algunos resultados, el cuadro se encuentra en el sistema internacional de unidades (S.I), siguiente hoja.

Para realizar los cálculos se harán las siguientes suposiciones.

1. Las conductividades térmicas, las densidades y los calores específicos; del adhesivo y del substrato permanecen constantes. Así como también el coeficiente combinado de transferencia de calor.
2. La transferencia de calor es unidimensional, ya que el espesor del adhesivo y de las telas son pequeñas comparado a sus largos y anchos.
3. Se asume aislamiento en la frontera del nodo 0, ya que debajo de la tela se encuentra la banda transportadora con dimensiones muy superiores a las de las telas, además son materiales compuestos con baja difusividad térmica.
4. Se asume contacto perfecto a pesar de la rugosidad de los substratos; sin embargo debido a la naturaleza blanda del adhesivo éste cubre los espacios sin rellenar. Además de lo anterior se está considerando la influencia del aire en la conductividad térmica del substrato.
5. Se desprecia cualquier transferencia de calor por radiación o convección, dentro del substrato debido al aire atrapado dentro de éste.
6. Se desprecia cualquier calor de cristalización o de fusión durante el enfriamiento del adhesivo debido a cambios de fase microestructurales. (Para los polímeros amorfos no se define una temperatura discreta de solidificación ya que no exhiben una transición aguda entre el estado sólido y líquido) [24].
7. Se considera la temperatura de la interface (T_1^0) igual a la del adhesivo en el estado inicial.
8. Se considerará los substratos como materiales isotrópicos.

Ahora se especifican las condiciones iniciales y de frontera,

1. Se conoce las temperaturas iniciales en el instante cero, para la laminación del polipropileno: $T_0^0 = 40^\circ\text{C}$; $T_1^0 = 146^\circ\text{C}$; $T_0^2 = 146^\circ\text{C}$.
Para el polietileno: $T_0^0 = 40^\circ\text{C}$; $T_1^0 = 165^\circ\text{C}$; $T_0^2 = 165^\circ\text{C}$.
2. en la frontera del nodo 0 existe superficie aislada, por lo tanto:

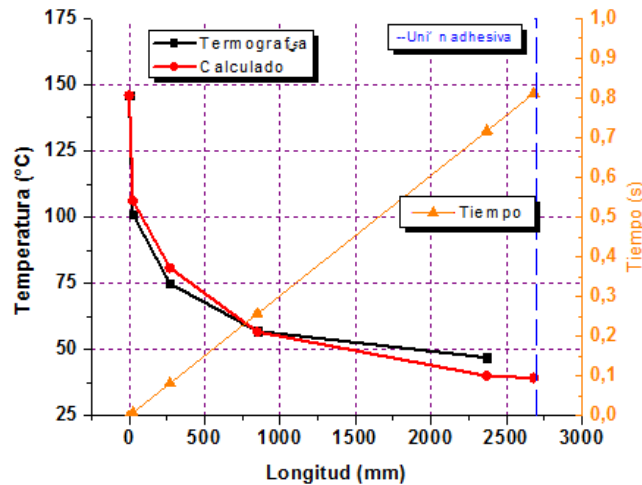
$$k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = 0$$

3.2.3.1 Variación de la temperatura durante tiempo abierto de máquina Se analiza los resultados de acuerdo a:

1. Las propiedades dadas en la tabla 3.2.
2. Las condiciones iniciales y de frontera; y
3. Las suposiciones mencionadas.

Se realiza más de 20000 cálculos para el PP y más de 24000 para el PE. Se comparan los resultados con las temperaturas dadas por el sistema termográfico, el resultado es el siguiente para el Polipropileno.

Figura 3.7 Perfil de la curva de temperatura contra distancia abierta de máquina del polipropileno a condiciones iniciales. Se compara las temperaturas medidas con los resultados dados por la metodología planteada

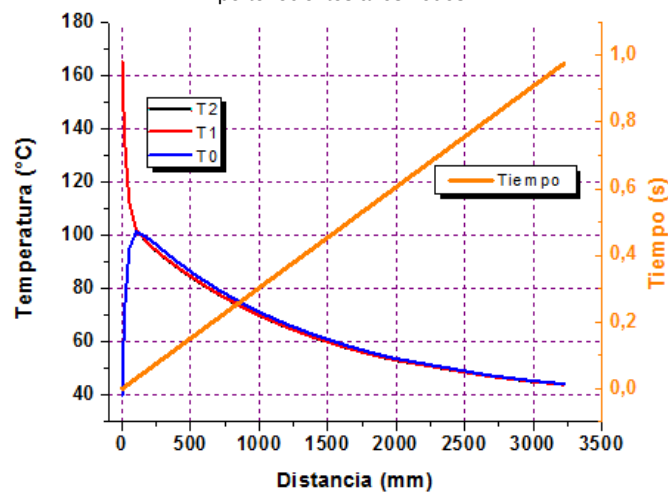


En la gráfica anterior se visualiza el perfil de temperatura para distancias discretas tomadas por la cámara termográfica, además se visualiza la línea de tiempo. Se puede observar que la metodología propuesta sigue un perfil satisfactorio muy similar a lo medido realmente. La temperatura cae muy rápidamente al principio (de 146°C a 100°C en milésimas de segundo); aunque después de los 100°C , se observa un decaimiento más lento, que en verdad no lo es; el adhesivo se enfría en menos de un segundo. Siguiendo ésta metodología el adhesivo llegaría a su

punto de unión casi a la temperatura de convección ($\approx 38^{\circ}\text{C}$), lo que indica que todo el calor se ha “perdido” durante el tiempo abierto de máquina. Es una condición no favorable para el adhesivo *NW-1094ZP* de acuerdo a lo discutido en el análisis de la curva de DMA; el adhesivo debe llegar a su punto de unión a una temperatura cercana al punto de ablandamiento, para mejorar el contacto en la interface.

Ahora se verá el caso para el polietileno, el resultado es el siguiente:

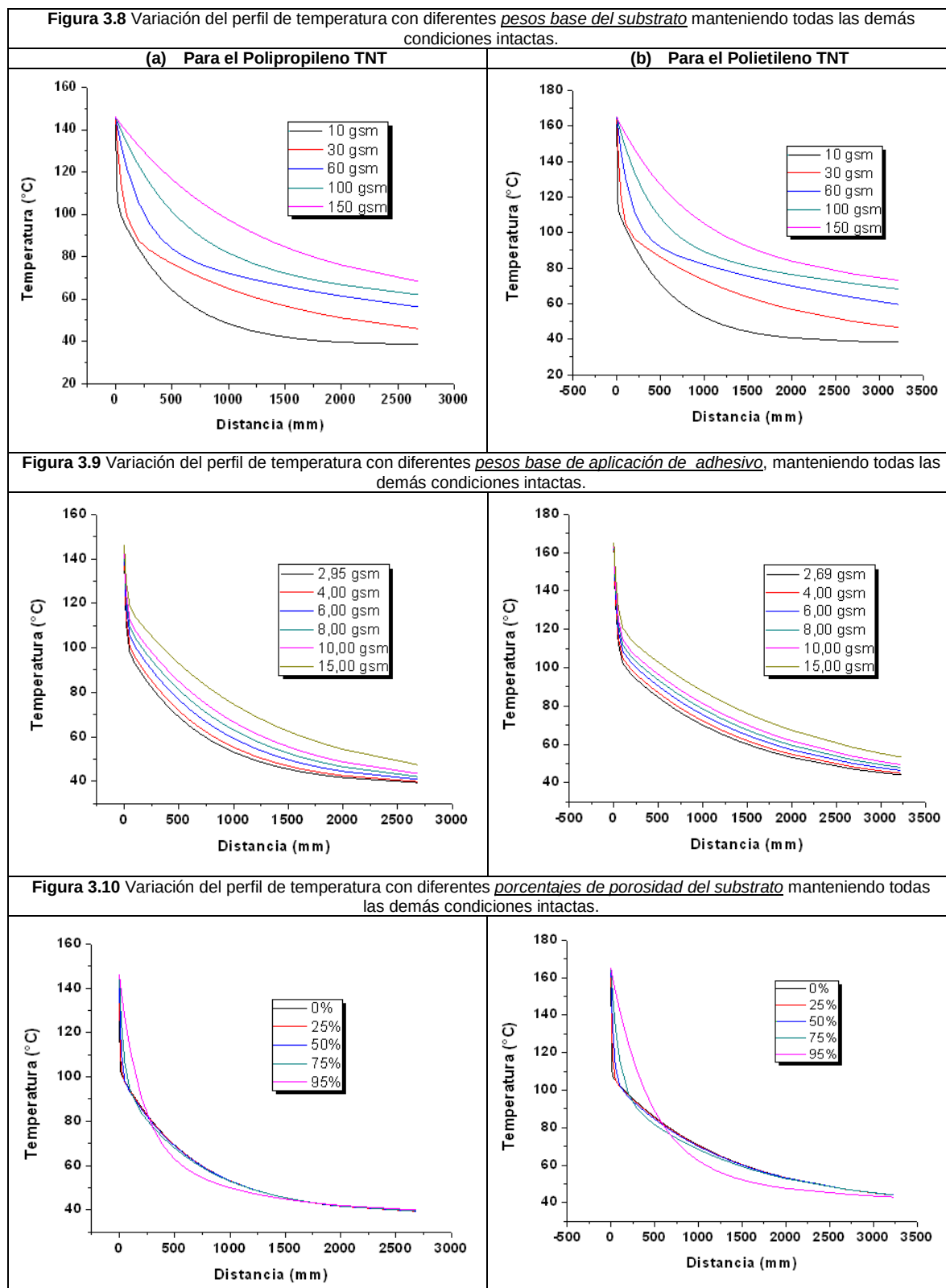
Figura 3.7 Perfil de temperatura en el tiempo abierto de máquina del Polietileno. Se observa las curvas de temperaturas pertenecientes a los nodos.

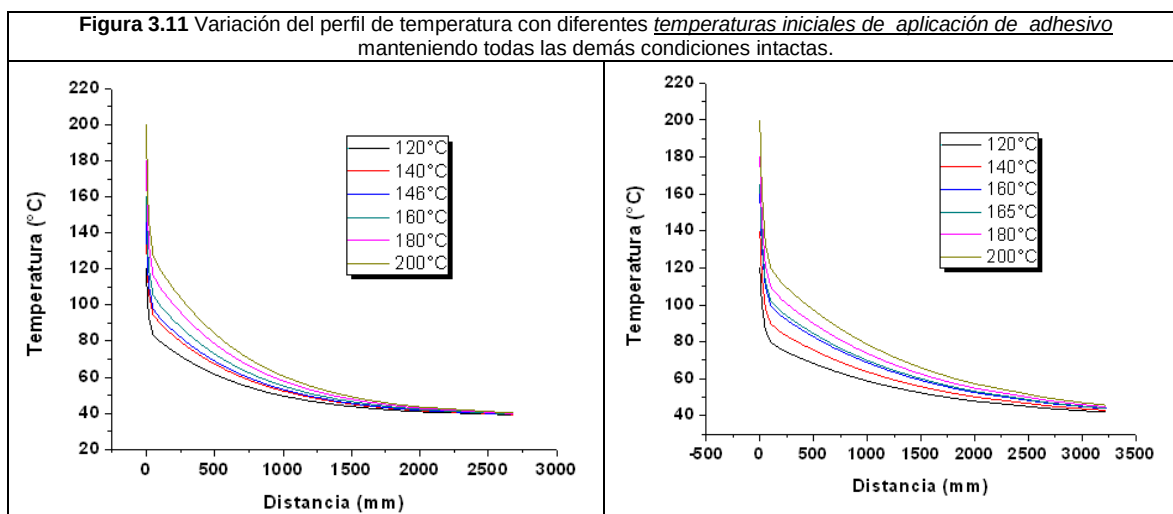


En este caso se presentan las tres curvas pertenecientes a los nodos propuestos, además se ve la línea de tiempo. Existe una mayor distancia abierta de máquina desde la aplicación hasta al punto de contacto que el polipropileno (2680mm); la cual es aproximadamente 3250 mm; véase tabla 1.3. La temperatura del substrato y la tela en PE, llegan un poco más alta (44°C) que la de polipropileno al punto de contacto. Sin embargo la temperatura puede ser aun más alta para favorece la mojabilidad.

De la gráfica se puede observar que la temperatura del adhesivo cae muy rápidamente al principio, mientras la tela en PE aumenta rápidamente. El decaimiento de temperatura mutuo solo se da cuando la temperatura de estos materiales llega a ser iguales, es cuando la curva muestra un decaimiento más suave. Es interesante ver como el substrato se calienta a una velocidad muy rápida y luego del equilibrio, la temperatura decae lentamente, se verá más adelante que el peso base del substrato influye sobre éste decaimiento de temperatura.

Ahora se verificará con la teoría como influyen diferentes variables en el perfil de temperatura T_2 (temperatura superficial del adhesivo) y como afecta la temperatura final del adhesivo, es decir en el punto de contacto.



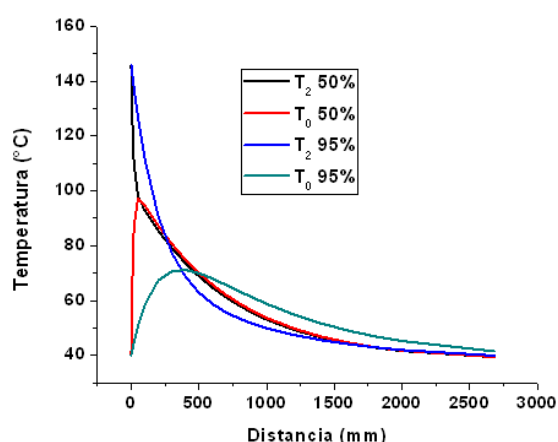


El punto de contacto se da a 2680 mm en el recorrido del polipropileno, y a 3225 mm en el polietileno. Es deseable como se nombró anteriormente que el adhesivo llegue “tibio” al momento de la unión. Por ejemplo se observa en la figura 3.8 que el perfil de temperatura o mejor el tiempo abierto del adhesivo es dependiente del peso base del sustrato (TNT), entre mayor es el peso base, mayor acumulación de energía, y por supuesto el espesor de la tela es mayor (manteniendo la porosidad intacta); por lo tanto el gradiente de temperatura es menor en el proceso de conducción. Para la fabricación de absorbentes se busca que este peso base sea muy bajo, sobretodo por costo de producción, pero también para no afectar la absorción de las telas de cubierta hacia el núcleo pues entre mayor peso base exista se afecta así la absorción de fluidos. Otra alternativa para cambiar el perfil de temperatura y favorecer el pegado es aumentar la cantidad de adhesivo, en la figura 3.9, se observa esto. Se resalta que la temperatura al final del recorrido no cambia mucho, ya que el recorrido es muy largo y el adhesivo se enfría a pesar de haber mayor masa. Se observa además que la pendiente de caída de temperatura al inicio es la misma para todas las cantidades. Per se suaviza a mayor temperatura, cuando hay mayor cantidad de adhesivo aplicado. Se concluye que la cantidad de adhesivo mejora la resistencia al *T-peel* como se verá en la experimentación, aunque la temperatura al final de recorrido no cambia mucho, respecto a las otras condiciones; sí cambia el tiempo abierto, por lo que provee mayor tiempo para la mojabilidad. Sin embargo lo más acertado es que el dispositivo aplicador se traslade a una posición más cercana al punto de contacto, puesto como se observa en la figura las curvas son más separadas a distancias menores.

Como se nombró anteriormente la porosidad no afecta considerablemente el perfil de temperatura para porcentajes de porosidad media (50% – 80%) figura 3.10; sin embargo, para el caso particular a 95%, la curva toma otro comportamiento, ver figura 3.11. Debido a que el volumen de la tela,

aumenta rápidamente por cada porcentaje de porosidad que crezca. De acuerdo a la teoría y a las suposiciones realizadas, estos volúmenes “grandes”¹, funcionan como reservorios de energía. Al principio (cuando se aplica el adhesivo), como el espesor es “grande” el gradiente de temperatura dT/dx se hace pequeño, por ende la transferencia de calor por conducción es lenta. Una vez se cruzan la temperatura del adhesivo y la tela; ésta última empieza enfriarse pero a un ritmo más lento que el adhesivo, pues éste último está expuesto a la convección y a la radiación. Este comportamiento se puede visualizar en la figura siguiente para el caso del PP.

Figura 3.12 Comparación de los cambios de temperatura del adhesivo y el sustrato a diferentes porosidades



Otra forma de mejorar el pegado puede ser aumentando la temperatura de aplicación de adhesivo. Los perfiles de temperatura para este caso se observa en la figura 3.11. Sin embargo para distancias abierta como las indicadas al inicio, el adhesivo se enfría y no logra llegar al punto de unión aun con temperaturas elevadas. Sin embargo se insiste que si la posición del aplicador es más cerca al punto de contacto esta propiedad si puede favorecerlo. En los resultados de experimentos, se verá que al aumentar la temperatura mejora la resistencia al *T-Peel* debido principalmente al efecto de mojabilidad ya que la viscosidad y la tensión superficial del adhesivo cambian.

Casi siempre es complejo cambiar la posición del aplicador a un punto más cercano de la unión para máquinas como la de absorbentes para adultos; generalmente por las dimensiones de los equipos y la falta de espacio. Otra forma ingeniosa es disponer de una red de resistencias debajo de la tela, de tal manera que se pueda aplicar un flujo de calor para calentarla. Ya que es poco práctico disponer de ésta red para todo el trayecto se puede hacer para longitudes más cortas, sobre todo para el final de la trayectoria. Asumiendo que se pueda realizar para los últimos 500 mm de trayecto; entonces para el PP sería a partir de los 2180mm, y para el PE a partir de los

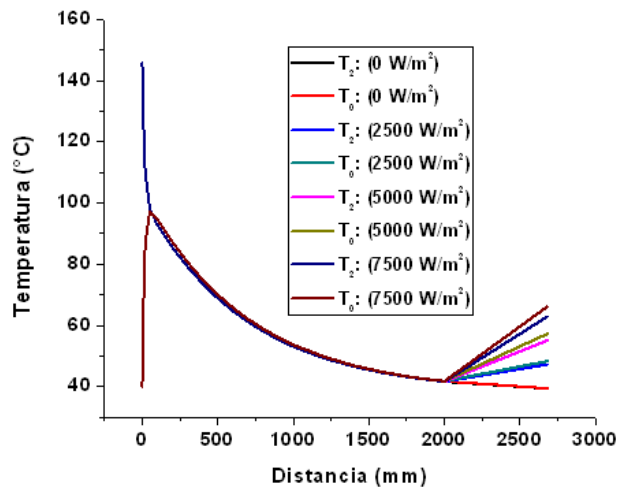
¹ Comparado al volumen del adhesivo.

2725 mm. Desde estas distancias se aplicaría el factor del flujo de calor $\dot{q}_0$; para el balance de energía en el nodo cero, esto sería superponer el siguiente término:

$$\frac{2\dot{q}_0\Delta t}{\rho_2 C_{p2}\Delta x_2} \quad (3.14)$$

De acuerdo al término anterior, para que el flujo de calor se aproveche mejor, el espesor de la tela debe ser muy pequeño¹, así como también el calor específico y la densidad. Caso no favorable para las telas muy porosas. Dependiendo del nivel del flujo de calor impartido, es la respuesta. En la siguiente figura se observa para el caso del PP los perfiles de temperatura T_2 y T_0 para diferentes flujos de calor. No se muestran las curvas del PE ya que serían muy similares a los de PP.

Figura 3.13 Perfil de temperatura vs distancia recorrida para el PP. Implementándose un sistema de resistencias para los finales 50 cm del punto de contacto, impartiendo un flujo de calor constante al PP, se muestran las curvas para el nodo 2 y nodo 0 en cada flujo.



Estas curvas muestran dos puntos interesantes los cuales son ideales en el proceso de pegado; uno es que se conserva la temperatura y las cantidades de adhesivo de aplicación, y lo otro es la temperatura de la unión el cual se encuentra más elevada que en las condiciones estándar.

Desde luego existiría un consumo de energía para mejorar el proceso de pegado, por ejemplo es necesario instalar un sistema con potencia de 1313 W para dar un flujo de calor de 7500 W/m². El cual no es significativo, para lo que se lograría en cambio, aumentando la resistencia al T-peel y desde luego en el uso apropiado del adhesivo, que puede significar un ahorro significativo.

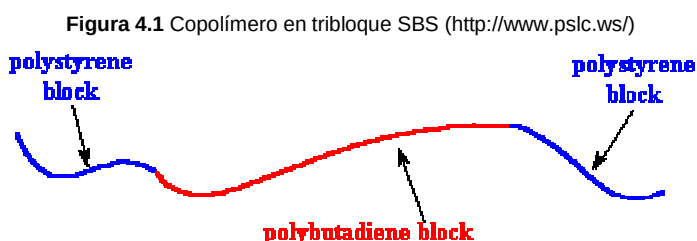
¹ Teniendo en cuenta que para el problema Δx_2 , es igual al espesor del sustrato

4. CURVA DE CURADO PARA EL ADHESIVO *HOT MELT* PSA EN LOS ABSORBENTES PARA ADULTOS

4.1 PROCEDIMIENTO DE CURADO EN LOS *HOT MELT* PSA

Como se especificó en el capítulo 2 sobre la generalidad de los adhesivos. Los adhesivos pueden clasificarse en función de su curado, es decir curan de diferentes formas; por ejemplo: por UV, calor, secado, enfriamiento, reacciones químicas entre materiales, reacción anaeróbica, entre otros [2], entendiéndose curado como el proceso debido a reacciones químicas o por cambios físicos, en el que el adhesivo en su forma viscosa o líquida toma resistencia cohesiva al solidificarse; muchos de ellos requieren de mucho tiempo, generalmente los que necesitan de la evaporación de un solvente, el curado se da lento; para otros, es más rápido como en el caso de los *HMPSA*; los cuales, requieren activarse por calor para fundirlos y posteriormente someterlos a presión con los sustratos para que se ligen con los mismos. Durante el enfriamiento se desarrolla en su microestructura la reorganización de las cadenas para tomar la resistencia adecuada. Inicialmente el adhesivo tiene una resistencia cohesiva (debido al módulo elástico G' presente en el pegue); sin embargo, la evolución de la resistencia cohesiva depende de que tan rápido sus cadenas se organizan, y desde luego de su morfología.

Como se nombró en el capítulo 2, los *HMPSA* en base de copolímeros estirénicos (SBC), pueden estar formados por cadenas en tribloque como estireno-elastómero-estireno, o dibloques Estireno-elastómero; estos presentan en su morfología, una fase con dominio estirénico rígido y en su bloque intermedio una fase blanda elastomérica de butadieno o isopreno, en la figura siguiente se observa el tribloque SBS



La obtención de copolímeros conlleva a conseguir estructuras con propiedades específicas, que cada homopolímero (cadena con un mismo monómero) por separado no es capaz de ofrecer. La fase rígida de estireno y la fase elastomérica, tienen diferencias sustanciales en sus solubilidades [15], las cuales las hace incompatibles termodinámicamente una con la otra, por lo que en su

morfología presentan microfases separadas que son de poliestireno; el mecanismo de entrecruzamiento físico que presenta esta estructura es termorreversible, es decir emplea enlaces secundarios no covalentes las cuales pueden ser iónicas o de Van Der Waals, como los puentes de hidrógenos. Por encima de la temperatura de transición vítrea del estireno, su estructura ordenada desaparece (se rompen las reticulaciones) y el polímero se torna en un líquido viscoso, sin embargo, al enfriarse éste puede volver a tomar una estructura ordenada como lo era inicialmente. Lo que quiere decir que los elastómeros termoplásticos como el adhesivo *HMPSA* en base SBS o SIS se comportan como termoplásticos ordinarios a temperaturas elevadas y como elastómeros a temperaturas bajas (Lo que los hace ser reciclables) [17]. La temperatura puede favorecer la cinética del curado y también lo favorece según la velocidad de enfriamiento. Es decir, si el adhesivo está a una mayor temperatura se encuentra entonces en un estado de mayor energía interna, el volumen libre es mayor, lo que facilita el movimiento de las cadenas y estas pueden organizarse mejor y formar los entrecruzamientos físicos [24]. También favorece el curado cuando la velocidad de enfriamiento es lenta. Debido a que la mayoría de los *HMPSA* en la temperatura ambiente, se encuentran por encima de la temperatura de transición vítrea T_g , éstos son blandos; véase figura 2.6; por lo tanto, las moléculas del adhesivo sub-enfriado todavía pueden moverse mientras haya espacio disponible, entonces después de haberse realizado la unión adhesiva, pueden distribuirse por adsorción en medio de la interface adhesivo-substrato, hasta llegar al equilibrio. La presión en la unión también favorece este movimiento intermolecular. El punto en el cual el movimiento libre deja de ocurrir para una molécula o un segmento de cadenas, se da en la temperatura de transición vítrea o punto de solidificación [24].

4.2 RESULTADOS DE LA CURVA DE CURADO DEL ADHESIVO *NW-1094ZP*

En la tabla 4.1 se muestra la ficha general con las indicaciones de las condiciones de la prueba. Y en las tablas 4.2 y 4.3, se presentan los resultados de la prueba, con los resultados estadísticos para cada ensayo. Las muestras se mantienen a una atmósfera de curado, con temperatura de 21°C y humedad relativa de 55% son condiciones del laboratorio.

Tabla 4.1 Condiciones de la prueba T-peel para la elaboración de la curva de curado.

Ficha técnica: Prueba de T-Peel para la curva de curado	
Fecha de producción	Sábado Abril 14 de 2012 8:30 am
Fechas de la prueba	<i>Sentido Frontal:</i> Abril 14 de 2012 (8:45 am, 9:45 am, 10:50 am, 1:40 pm; 5:18 pm); Abril 15 de 2012 (9:15 am), Abril 16 de 2012 (5:20 pm); Abril 18 de 2012 (6:45 pm). <i>Sentido Posterior:</i> Abril 14 de 2012 (9:00 am, 10:05 am; 11:10 am; 2:05 pm; 5:40 pm), Abril 15 de 2012 (9:38 am), abril 16 de 2012 (6:10 pm), Abril 18 de 2012 (8:50 pm).
Producto	Slip Medium TENA
Identificación. del Ensayo	Archivo. *.MRD
Sentido	Adelante (frontal) / Posterior
Descripción del ensayo	Resultados del T-peel vs tiempo de curado. Condiciones que permanecen constantes: Las temperaturas, ubicación de los aplicadores, boquillas, parámetros neumáticos, tecnología de aplicación, velocidad de máquina, ángulo y ubicación del rodillo tensor; véase tablas 1.4; y 1.5 y la figura 1.11 Condiciones diferentes: el área de aplicación (0,833x0,350) m ² . cantidad de adhesivo aplicado, para PP 0,860 g/p, y para PE 0,784 g/p. velocidad de las bandas 166,6 m/min, velocidad rotacional de la bomba con respecto a velocidad de máquina, para el PP: 22,9 RPM y 20,9 RPM
Adhesivo	NW-1094ZP HB FULLER
Substrato A	Polietileno laminado TBS 25g/m ² (FAMILIA)
Substrato B	Polipropileno SS 14g/m ² (PGI COLOMBIA)
Dimensión de probetas	Adelante: 85mm ± 5 mm x 25 mm. (de unión adhesiva) Posterior: 95 mm ± 5 mm x 25 mm. (de unión adhesiva)
Probetas	Varía para cada ensayo
Muestreo	Productos sacados aleatoriamente: durante 1 minuto de máquina estable. Se retiran 16 paquetes de absorbentes. Las muestras se toman aleatoriamente de cada paquete.
Norma	NTC 2882 y FAC-027
Temperatura de ensayo	21 °C
Humedad relativa	55%
Equipo*	Instron 4411
Velocidad de cruceta	300 mm/min
Frecuencia de muestreo	6.6670 pts/s
Distancia entre mordazas	50 mm
Reporte de resultados	Fuerza máxima (N); Carga media entre Límites (N); Límites: Adelante 20 a 150 mm; Posterior 10 a 50 mm. Gráfica de Fuerza (KN) vs desplazamiento (mm), resultados estadísticos descriptivos

Tabla 4.2 Resultados de la curva de curado para el lado frontal								
Resultados de la prueba para lado Frontal								
Probeta*	Ensayo 1 Inicial (14/04 8:45 am)		Ensayo 2 14/04/2012 09:45		Ensayo 3 14/04/2012 10:50		Ensayo 4 14/04/2012 13:40	
	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)**	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)
1	3,025	1,896	3,588	2,159	4,072	2,322	3,543	2,332
2	3,233	2,052	3,481	2,256	3,035	2,215	3,829	2,345
3	3,206	2,157	3,514	2,151	3,935	2,368	3,754	2,337
4	3,396	2,344	3,609	2,187	3,876	2,184	3,985	2,32
5	3,685	2,136	3,437	2,12	3,914	2,424	4,173	2,566
6	3,768	2,287	-	-	3,384	2,097	3,614	2,364
7	-	-	-	-	3,558	2,07	3,847	2,472
8	-	-	3,278	2,195	4,069	2,196	3,642	2,213
9	-	-	3,686	2,378	3,518	2,247	4,163	2,421
10	-	-	3,643	2,084	3,809	2,345	3,685	2,24
11	-	-	3,294	2,273	-	-	-	-
12	-	-	3,235	2,179	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-
Media	3,386	2,145	3,477	2,198	3,717	2,247	3,824	2,361
D.E	0,290	0,162	0,162	0,085	0,335	0,117	0,222	0,104
C.V	8,58%	7,53%	4,65%	3,86%	9,02%	5,20%	5,81%	4,42%
Mediana	3,315	2,147	3,498	2,183	3,843	2,231	3,792	2,341
med +2,00 D.E	3,966	2,469	3,800	2,368	4,387	2,48	4,268	2,570
med -2,00 D.E	2,805	1,822	3,153	2,029	3,047	2,013	3,379	2,152
Max	3,768	2,344	3,686	2,378	4,072	2,424	4,173	2,566
Min	3,025	1,896	3,235	2,084	3,035	2,07	3,543	2,213
Probeta*	Ensayo 5 14/04/2012 17:18		Ensayo 6 15/04/2012 09:15		Ensayo 7 16/04/2012 17:20		Ensayo 8 18/04/2012 18:45	
	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)***	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)****	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)
1	3,784	2,400	-	-	4,806	2,673	3,671	2,82
2	3,824	2,415	3,716	2,603	4,100	2,771	4,129	2,489
3	4,532	2,463	4,038	2,613	4,372	2,190	3,816	2,685
4	3,813	2,342	3,824	2,448	3,604	2,705	3,938	2,512
5	4,466	2,533	3,969	2,382	4,264	2,480	3,931	2,684
6	3,754	2,56	-	-	4,027	2,443	4,145	2,751
7	4,422	2,912	4,426	2,650	4,054	2,622	4,416	2,710
8	4,029	2,47	-	-	4,485	2,717	4,953	2,695
9	4,033	2,543	3,777	2,413	4,151	2,814	4,472	2,527
10	4,196	2,324	4,596	2,469	4,529	2,535	4,327	2,569
11	-	-	-	-	-	-	4,705	2,579
12	-	-	-	-	-	-	3,664	2,556
13	-	-	-	-	-	-	4,068	2,693
14	-	-	-	-	-	-	4,686	3,35
Media	4,085	2,496	4,049	2,511	4,239	2,595	4,209	2,687
D.E	0,302	0,167	0,337	0,108	0,332	0,188	0,182	0,131
C.V	7,38%	6,70%	8,33%	4,31%	7,84%	7,23%	4,32%	4,89%
Mediana	4,031	2,467	3,969	2,469	4,208	2,648	3,935	2,685
med +2,00 D.E	4,689	2,831	4,724	2,727	4,904	2,970	4,573	2,950
med -2,00 D.E	3,482	2,162	3,374	2,295	3,575	2,220	3,845	2,425
Max	4,532	2,912	4,596	2,650	4,806	2,814	4,145	2,820
Min	3,754	2,324	3,716	2,382	3,604	2,190	3,671	2,489
*Resultados indicados como (-) son excluidos o no se realizó								
** Límites (20 -130)mm; *** (20-140)mm; **** (20-130)mm								

Tabla 4.3 Resultados de la curva de curado para el lado posterior								
Resultados de la prueba para el lado posterior								
Probeta*	Ensayo 1 Inicial (14/04 9:00 am)		Ensayo 2 14/04/2012 10:05		Ensayo 3 14/04/2012 11:10		Ensayo 4 14/04/2012 14:05 p.m.	
	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)
1	4,493	3,200	5,263	3,252	5,966	3,221	4,539	3,263
2	4,572	2,865	4,738	2,912	4,625	3,311	4,651	3,444
3	4,024	2,746	4,309	3,151	4,566	3,21	4,92	3,165
4	4,012	2,882	5,348	3,587	4,787	3,734	4,471	3,277
5	5,019	3,305	4,524	3,061	4,543	3,298	4,828	3,605
6	4,726	3,374	4,136	2,885	4,614	2,86	4,895	3,42
7	4,179	3,058	4,692	3,895	4,658	3,698	5,275	3,281
8	-	-	4,577	3,112	5,187	3,668	4,263	3,163
9	-	-	4,768	4,018	4,812	3,377	4,623	3,151
10	-	-	4,769	3,63	4,844	3,574	4,416	3,406
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-
Media	4,432	3,061	4,712	3,350	4,860	3,395	4,688	3,318
D.E	0,379	0,240	0,375	0,405	0,432	0,275	0,296	0,148
C.V	8,55%	7,85%	7,95%	12,08%	8,89%	8,10%	6,32%	4,47%
Mediana	4,493	3,058	4,715	3,202	4,723	3,344	4,637	3,279
med +2,00 D.E	5,190	3,542	5,462	4,16	5,725	3,945	5,281	3,614
med -2,00 D.E	3,674	2,581	3,963	2,541	3,996	2,845	4,095	3,021
Max	5,019	3,374	5,348	4,018	5,966	3,734	5,275	3,605
Min	4,012	2,746	4,136	2,885	4,543	2,86	4,263	3,151
Probeta*	Ensayo 5 14/04/2012 17:40		Ensayo 6 15/04/2012 09:38		Ensayo 7 16/04/2012 18:10 p.m.		Ensayo 8 18/04/2012 20:45 p.m.	
	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)	Fuerza máx (N)	Carga media entre límites (N)
1	4,886	3,739	4,363	3,461	4,698	3,274	5,311	3,753
2	5,450	3,657	5,479	4,035	5,002	3,137	4,815	3,679
3	3,737	2,906	5,662	3,701	4,807	3,32	5,23	3,792
4	4,774	3,668	4,518	3,346	4,491	3,472	5,525	4,218
5	4,125	3,155	4,483	3,590	5,314	3,348	5,556	4,037
6	4,693	3,084	5,848	3,342	4,932	3,387	6,482	3,513
7	5,237	2,968	5,057	4,008	5,541	4,114	5,898	4,426
8	4,336	2,912	5,020	3,700	5,762	3,368	5,275	3,945
9	4,257	3,420	4,731	3,414	5,361	3,790	5,621	4,044
10	5,394	3,791	6,015	3,599	-	-	4,389	3,548
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	4,865	3,694
13	-	-	-	-	-	-	4,886	3,435
14	-	-	-	-	-	-	-	-
Media	4,689	3,330	5,118	3,620	5,101	3,468	5,321	3,840
D.E	0,573	0,363	0,602	0,249	0,419	0,300	0,556	0,255
C.V	12,23%	10,90%	11,76%	6,87%	8,21%	8,66%	10,45%	6,63%
Mediana	4,734	3,288	5,039	3,595	5,002	3,368	5,418	3,773
med +2,00 D.E	5,836	4,056	6,321	4,117	5,938	4,068	6,433	4,349
med -2,00 D.E	3,542	2,604	3,914	3,122	4,263	2,867	4,209	3,331
Max	5,450	3,791	6,015	4,035	5,762	4,114	6,482	4,218
Min	3,737	2,906	4,363	3,342	4,491	3,137	4,815	3,513
*Resultados indicados como (-) son excluidos o no se realizó								
Límites (10-50)mm								

Los resultados gráficos de la prueba T-peel para algunas muestras de los ensayos anteriores se visualiza en el anexo, figuras C.7; C.8; C.9 y C.10

El tiempo mostrado en cada ensayo en las tablas anteriores, es justo durante el sometimiento de las probetas a prueba.

De los resultados de las tablas se toman las medias de cada ensayo y como error el valor de una desviación estándar correspondiente al 68% de los datos de una distribución normal. Se grafica *T-peel* vs Tiempo de curado. Se muestran las curvas para la fuerza máxima y la carga media entre límites, para cada sentido de la prueba.

Figura 4.2 Curva de curado para el adhesivo NW-1094 lado frontal

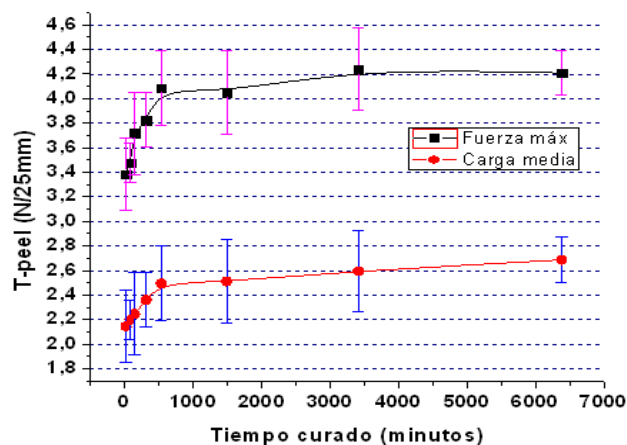
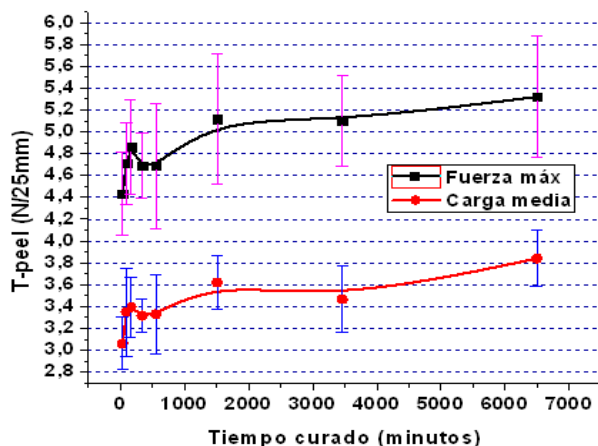


Figura 4.3 Curva de curado para el adhesivo NW-1094 lado posterior



Se observan de las gráficas anteriores, que el tiempo es un factor importante a tener en cuenta en la prueba *T-peel* o en general para cualquier prueba donde intervenga adhesivos *hot melt PSA*; ya que la cinética de curado, y la propiedad de la viscoelasticidad son relativas al tiempo.

Un error frecuente es medir la prueba de *T-peel* para varias muestras en diferentes tiempos, sin tener en cuenta esta variable para el adhesivo, ya que si son resultados que requieren comparación es un factor que puede generar inseguridad en los mismos; además de lo anterior, muchas veces se rechaza éste producto por no cumplir con especificaciones siendo que con los días éste resultado puede aumentar más del 20% como se ven en las figuras anteriores. Muchas veces debido a lo anterior se pueden dar avisos de productos defectuosos que puede generar paradas innecesarias de la máquina.

En los gráficos se puede diferenciar dos pendientes o comportamiento de los datos; a saber, durante los primeros minutos se observa que la resistencia aumenta rápidamente al pasar el tiempo, ya que el adhesivo se está “solidificando” por el enfriamiento rápido del mismo, éste caso se ve mejor para el lado frontal. Luego de las nueve horas la curva se acentúa e incrementa a pasos más lentos, con un posible incremento de la resistencia incluso a más de los cuatro días de la realización de la prueba. El curado se da a las condiciones mencionadas al principio (21°C y 55% HR), el dominio estirénico con el entrecruzamiento físico van formando cadenas más compactas y enlaces secundarios más fuertes respectivamente, que ayudan a que el adhesivo disponga de una mayor energía de disipación o mayor módulo de disipación de energía; sin embargo después de las 9 horas, el curado se vuelve “lento”; éste podría acelerarse al mantener el producto a una mayor temperatura que la ambiente; por ejemplo, una forma sería, si los productos a someter a prueba se mantuvieran en un horno a una atmosfera de mayor temperatura durante un cierto tiempo y luego se dejaran enfriar. Los *hot melt* son resistentes a la humedad, por lo que ésta propiedad no se considera que influya notoriamente en la resistencia [2].

Las probetas obtenidas de la parte posterior del absorbente nuevamente presentan mayor resistencia que la parte frontal y también presentan mayor dispersión de datos, lo anterior es debido a que existe una diferencia de presión de contacto entre estas dos partes del pañal, tal como se mencionó en el capítulo 1; véase el numeral 1.6, y la discrepancia es debida a que en la parte de atrás del absorbente se encuentra el elástico de cintura que irrumpe durante el rasgado en la prueba provocando no uniformidad en la resistencia al *T-peel*, esto se puede ver en los resultados gráficos en el anexo en las figuras C.9 y C.10

Para los ensayos experimentales finales se tendrá en cuenta el tiempo de curado, realizándose las pruebas a los 15 días de la producción, con el fin de obtener resultados no influyentes debido al tiempo de curado.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LAS MEDICIONES DE LAS VARIABLES INFLUYENTES EN LA RESISTENCIA AL T-PEEL

5.1 EXPERIMENTOS FACTORIALES

El diseño de experimentos se basa en planear un conjunto de pruebas experimentales, con el fin de adquirir unos resultados que se puedan analizar estadísticamente para obtener conclusiones objetivas y válidas sobre el proceso. Se debe especificar un conjunto de factores y combinaciones de tratamientos, para evaluar las implicaciones de las observaciones resultantes (variable de respuesta). Los estudios que se debe emprender en el diseño de experimentos son básicamente tres [30], formulación del problema, diseño del experimento y análisis de los datos obtenidos.

En la formulación del problema, se debe definir minuciosamente el problema o mejoramiento, o investigación que se pretende resolver. Además debe incluirse la recopilación de toda la información actualmente conocida sobre el problema y hacer un análisis exploratorio de datos sobre esa información; establecer el alcance o el objetivo que se desea resolver y una expresión clara del propósito del estudio mismo.

En el diseño experimental, se selecciona la variable o variables de respuesta o de interés, y tratar de visualizar cuales variables controlables y no controlables pueden influir sobre la respuesta o respuestas. Se planean las técnicas de control o por lo menos de medición de influencia de esas variables. Se consideran los límites físicos como el tiempo, los costos y otras restricciones. En lo último se definen el número de observaciones que se tomarán, el orden de la experimentación y el método de distribución aleatoria que se implementará. Para lo último formular un modelo estadístico o la técnica prevista para la experimentación. El modelo, es el que describe el diseño experimental, debe ser acorde y suficiente para que se entienda y estudie con las técnicas disponibles de análisis de la varianza y permita tener respuestas estadísticas a las preguntas que se plantean en el estudio de la formulación.

El análisis de la varianza (ANOVA), es una técnica estadística desarrollada para realizar simultáneamente la comparación de las medias de más de dos poblaciones. Este es un procedimiento en el que la variación total de una respuesta medida se divide en componentes que puedan atribuirse a fuentes de variación reconocibles. Esos componentes son útiles en la prueba de hipótesis pertinentes. Para aplicarse se debe asumir la normalidad de los datos además debe añadirse la de la homogeneidad de las varianzas de las poblaciones a comparar.

5.1.2 Análisis de la varianza con tres factores Para el caso aplicado en el proyecto, un experimento 2^3 , relaciona el caso de tres factores A, B, C con dos niveles fijos para cada factor

(nivel alto (+), nivel bajo (-)). Pero se realizará la descripción para el caso general donde existen a , b , y c niveles para cada factor. El diseño se conoce como completamente aleatorio de clasificación tridimensional.

Suponiendo n observaciones o replicas para cada una de las $a.b.c$ combinaciones de tratamientos; el modelo del diseño para tres factores es [31]:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (4.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c; \quad l = 1, 2, \dots, n,$$

El modelo expresa simbólicamente la idea de que cada observación puede dividirse en 9 componentes: (μ) efecto medio global; α_i, β_j y γ_k son los efectos principales; $(\alpha\beta)_{ij}, (\beta\gamma)_{jk}$ y $(\alpha\gamma)_{ik}$ son los efectos de la interacción de dos factores. Y El término $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ se denomina el efecto de la interacción de tres factores y representa la no aditividad de las $(\alpha\beta)_{ij}$ sobre los diferentes niveles del factor C; ϵ_{ijkl} es una desviación aleatoria que resulta de fuentes inexplicadas. Se parte de los supuestos del modelo siguientes: 1. Las observaciones de cada combinación de tratamiento constituyen muestras aleatorias independientes, cada una de tamaño n , de $a.b.c$ poblaciones con medias μ_{ijkl} ; 2. Cada una de las $a.b.c$ poblaciones tiene distribución normal; 3. Cada una de las $a.b.c$ poblaciones tiene la misma varianza, σ^2 . Se desea comprobar hipótesis, por ejemplo de que todos los efectos i -ésimo principales de A son cero, es decir $H_0': \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \alpha_a = 0$ contra $H_1':$ Al menos una de las α_i no es igual a cero; o de que los efectos de la interacción A y B no es significativa, es decir $H_0'': (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots (\alpha\beta)_{ab} = 0$ contra $H_1'':$ al menos una de las $(\alpha\beta)_{ij}$ no es igual a cero; etc. Las hipótesis anteriores y muchas más se basan en la comparación de estimadores independientes de σ^2 , proporcionados por la separación de la suma de los cuadrados cuya identidad se obtiene al sustituir cada una de las medias teóricas $\mu, \mu_{i\dots}, \mu_{j\dots}, \mu_{i\dots}, \mu_{\dots k}, \mu_{ij\dots}, \mu_{i\dots k}, \mu_{jk\dots}, \mu_{ijk\dots}$ con su estimador insesgado $\bar{y}_{\dots}, \bar{y}_{i\dots}, \bar{y}_{j\dots}, \bar{y}_{\dots k}, \bar{y}_{ij\dots}, \bar{y}_{i\dots k}, \bar{y}_{jk\dots}$ y $\bar{y}_{ijk\dots}$, respectivamente, elevar al cuadrado y sumar i, j, k y l , se desarrolla como sigue:

$$SST = SSA + SSB + SSC + SS(AB) + SS(AC) + SS(BC) + SS(ABC) + SSE \quad (4.2)$$

La anterior conocida como la identidad de la suma de cuadrados corregida, en esta identidad:

$$SST = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l (y_{ijkl} - \bar{y}_{\dots})^2 = \text{medida de la variabilidad total de los datos.}$$

$$SSA = bcn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 = \text{medida de la variabilidad de los datos atribuibles al uso de niveles distintos del factor A.}$$

$$SSB = acn \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{j\dots} - \bar{y}_{\dots})^2 = \text{medida de la variabilidad de los datos atribuibles al uso de niveles distintos del factor B.}$$

$SSC = abn \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{..k} - \bar{y}_{....})^2$ = medida de la variabilidad de los datos atribuibles al uso de niveles distintos del factor C.

$SS(AB) = cn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i...} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{....})^2$ = medida de la variabilidad de los datos que resulta de la interacción de los diferentes niveles de los factores A y B.

$SS(AC) = bn \sum_i \sum_j (\bar{y}_{i.k.} - \bar{y}_{i...} - \bar{y}_{.k.} + \bar{y}_{....})^2$ = medida de la variabilidad de los datos que resulta de la interacción de los diferentes niveles de los factores A y C.

$SS(BC) = an \sum_i \sum_j (\bar{y}_{.jk.} - \bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{.k.} + \bar{y}_{....})^2$ = medida de la variabilidad de los datos que resulta de la interacción de los diferentes niveles de los factores B y C.

$SS(ABC) = n \sum_i \sum_j \sum_k (\bar{y}_{ijk.} - \bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i.k.} - \bar{y}_{.jk.} + \bar{y}_{i...} + \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{.k.} - \bar{y}_{....})^2$ = medida de la variabilidad de los datos que resulta de la interacción de los niveles de los factores A, B y C.

Los promedios en las ecuaciones anteriores se definen como sigue:

$\bar{y}_{....}$ = Promedio o media de todas las $a.b.c.n$ observaciones,

$\bar{y}_{i...}$ = Promedio o media de las observaciones para el i -ésimo nivel del factor A,

$\bar{y}_{.j.}$ = Promedio o media de las observaciones para el j -ésimo nivel del factor B,

$\bar{y}_{..k.}$ = Promedio o media de las observaciones para el k -ésimo nivel del factor C,

$\bar{y}_{ij.}$ = Promedio o media de las observaciones para el i -ésimo nivel de A y el j -ésimo nivel de B,

$\bar{y}_{i.k.}$ = Promedio o media de las observaciones para el i -ésimo nivel de A y el k -ésimo nivel de C,

$\bar{y}_{.jk.}$ = Promedio o media de las observaciones para el j -ésimo nivel de B y el k -ésimo nivel de C,

$\bar{y}_{ijk.}$ = Promedio de las observaciones para la (ijk) -ésima combinación de tratamientos

Los cálculos en la tabla de ANOVA para el problema de tres factores con n corridas de repetición en cada combinación de factores, es:

Tabla 5.1 ANOVA para experimento factorial con tres factores con n repeticiones [31]

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad (df)	Cuadrados medios	f calculada
Efecto principal				
A	SSA	$a - 1$	s_1^2	$f_1 = \frac{s_1^2}{s^2}$
B	SSB	$b - 1$	s_2^2	$f_2 = \frac{s_2^2}{s^2}$
C	SSC	$c - 1$	s_3^2	$f_3 = \frac{s_3^2}{s^2}$
Interacción de dos factores				
AB	SS(AB)	$(a - 1)(b - 1)$	s_4^2	$f_4 = \frac{s_4^2}{s^2}$
AC	SS(AC)	$(a - 1)(c - 1)$	s_5^2	$f_5 = \frac{s_5^2}{s^2}$

Tabla 5.1. (Continuación)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad (df)	Cuadrados medios	f calculada
BC	$SS(BC)$	$(b - 1)(c - 1)$	s_6^2	$f_6 = \frac{s_6^2}{s^2}$
Interacción de tres factores				
ABC	$SS(ABC)$	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	s_7^2	$f_7 = \frac{s_7^2}{s^2}$
Error	SSE	$abc(n - 1)$	s^2	
Total	SST	$abcn - 1$		

5.2 LÍMITES DE TOLERANCIA (CONTROL)

Son los límites del cual un conjunto de datos o respuestas de una población k en su totalidad caen en ese intervalo probabilístico con proporciones de 90%, 95% o incluso 99% dependiendo de la criticidad del proceso. Se utiliza cuando se desea mantenerse las especificaciones del producto en un proceso dentro de rangos confiables. Es una herramienta utilizada para largo plazo.

Cuando se desconocen la media de la población μ y/o la varianza de la población σ^2 en una distribución normal se aplica [31]:

$$\bar{x} \pm ks \quad (4.3)$$

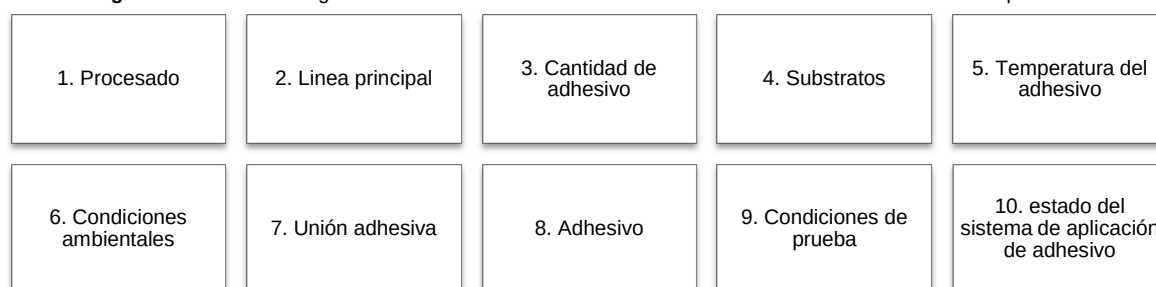
Donde $\bar{x}$, es el promedio de la muestra; s la desviación estándar, y k coeficiente que se determina en tabla; véase anexo tabla D.2. El cual asegura con una confianza de $(1 - \gamma)100\%$ que los límites dados contienen al menos la proporción $1 - \alpha$ de las mediciones. El intervalo sería una variable aleatoria y por consiguiente, la cobertura de una proporción de la población no es exacta. Entonces se debe aplicar el intervalo de confianza de $(1 - \gamma)100\%$ al planteamiento, debido que no se puede esperar que a cualquier proporción $1 - \alpha$ siempre se cubra el intervalo.

5.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

5.3.1 Formulación del problema. El objetivo es: Disponer de los factores críticos relacionados con la resistencia al desgarre en la prueba del *T-peel* o fuerza de selle; véase numerales 1.1 y 1.4; entre la unión adhesiva del TNT del polipropileno y el TNT del polietileno, utilizados como laminación principal en la unión de la parte posterior con la superior en los absorbentes para adultos; véase numeral 1.5. Lo anterior con el fin de disponer de las condiciones óptimas de trabajo para efectos de la máquina SSP, generando a su vez mejoramiento en la utilización de los recursos disponibles para tal fin.

A continuación se describe todas las variables o factores controlables y no controlables involucradas en la fuerza adhesiva durante la prueba de *T-peel*, recogidas a través de todos los capítulos analizados anteriormente. Para ello se realiza separaciones en grupos o sistemas convenientemente para la clasificación general de las variables. Unos sistemas pueden estar relacionados con otros; las agrupaciones se dividen como se muestra el esquema a continuación:

Figura 5.1 Clasificación general de las variables involucradas en la resistencia adhesiva durante T-peel



5.3.2 Formulación de variables. De acuerdo a la clasificación de la figura 5.1; se enlistan todas las variables involucradas, recolectadas a través de los capítulos anteriores.

5.3.2.1 Procesado del adhesivo

- **Temperatura del aire de proceso.** Véase numerales 1.3 y 1.5.3. Necesario para las boquillas de no contacto que generan patrones específicos, la temperatura se controla en el *setting* del tanque. Mantienen la temperatura del adhesivo cuando sale de la boquilla; le generan patronamiento específico; y realiza la dispersión adecuada. Véase tabla 1.5 para ver las condiciones.
- **Presión del aire del proceso** Véase numerales 1.3 y 1.5.3. Función igual a la anterior, principalmente genera el patronamiento adecuado al adhesivo dependiendo del tipo de boquilla y ayuda al dispersado. La presión se controla con los reguladores neumáticos. Véase tabla 1.5 y figura 1.10 para ver condiciones.
- **Presión de aire de control** Véase numerales 1.3 y 1.5.3. Acciona los módulos para que permitan el flujo de adhesivo hacia las boquillas. La presión se controla con los reguladores neumáticos véase tabla 1.5 y figura 1.10 para ver condiciones.
- **Altura de aplicación (substrato a boquilla)** Controla el dispersado, dependiendo de la tecnología utilizada (boquillas), se debe mantener en un rango de altura para buena procesabilidad, (ejemplo: 30 a 70 mm para signature; véase tabla A.4). Véase tabla 1.4; no aplica para la dosificación de PP.

- **Ubicación del aplicador** El aplicador debe estar dentro de los parámetros recomendados por el fabricante para un óptimo funcionamiento.
- **Flujo de adhesivo** Para boquillas signature, entre mayor flujo de adhesivo exista, la viscosidad debe ser más pequeña; sin embargo, en flujos muy pequeños (3 g/min por boquilla) sucede lo contrario la viscosidad debe aumentarse. El flujo para las boquillas signature puede trabajar desde 5 a 150 g/min dependiendo de la viscosidad. El flujo de adhesivo da la cantidad de adhesivo por producto, por lo que es un *factor crítico*, es un parámetro controlable. Para aplicadores slot el flujo no es un parámetro que afecte procesabilidad.
- **Caudal de aire de control** El caudal de aire controla el patronamiento de dispersado dado por la boquilla, el valor recomendable está entre 0,50 y 0,75 scfm por boquilla. En la acometida neumática; véase tabla 1.10 no se cuenta con reguladores de caudal, por lo que es un parámetro no controlable.
- **Tecnología del aplicador** De acuerdo a su tecnología éste permite que exista dentro de su bloque la procesabilidad adecuada al adhesivo.
- **Viscosidad** El adhesivo debe estar fundido y en un rango de viscosidad dinámica entre (1000 y 3000 cps) para mejor procesamiento en las boquillas signature. Para las boquillas slot no es un parámetro exigente. *Nota:* la viscosidad es una variable importante fuera de la procesabilidad del adhesivo y es dependiente de la temperatura.
- **Presión hidráulica del adhesivo** Generado por la bomba de engranes, no es un valor controlable, sin embargo deben mantenerse a una presión de 3,4 a 17 bar para las boquillas signature. para el caso de las de contacto no se requiere de un rango exigente. Véase tabla 1.4.
- **Módulos y Boquillas** Véase numeral 1.5.3. El módulo permite el paso o no del flujo del adhesivo hacia las boquillas, dependiendo de su tecnología es su rapidez en la abertura y cierre del paso del adhesivo frente a una señal de acción.

Según la tecnología de boquilla éste le genera un patronamiento de dispersión al adhesivo. Para las boquillas de contacto, el adhesivo se aplica directamente sobre el sustrato realizando la laminación. Véase tabla 1.4; la buena procesabilidad que se da en las boquillas depende principalmente que los anteriores parámetros estén en operaciones correctas.

5.3.2.2 Línea principal

- **Velocidad de máquina** Dadas en productos por minuto (prd/min), véase tabla A.1 para la ficha general de la máquina. Varía de 150 a 210 prd/min máximo. Es un parámetro controlable, sin embargo su valor nominal es de 200 prd/min para prevenir exigencia máxima. La variación de éste parámetro afecta el tiempo abierto de máquina y el coeficiente combinado de convección h , Véase tabla 1.3; para las condiciones de trabajo nominales.

- **Distancia abierta de máquina** Longitud abierta desde la aplicación de adhesivo a su punto de contacto, véase tabla 1.3. Es un parámetro que se puede controlar; sin embargo, el traslado del aplicador a otro punto requiere muchas veces de una inversión alta. Ésta distancia afecta el tiempo abierto de máquina.
- **Velocidad de la banda transportadora** Totalmente dependiente de la velocidad de máquina y de la longitud del producto, la variación de éste parámetro tiene el mismo efecto que el de la velocidad de máquina.
- **Efectos debido alrededores** El recorrido abierto de máquina que esté expuesto a focos calientes o fríos afecta la transferencia de calor del adhesivo. Es una variable que a veces no se puede controlar o requiere de mucha inversión.

5.3.2.3 Cantidad de adhesivo

- **Recubrimiento o laminación (g/m^2)** Es el parámetro maestro estándar para especificar la cantidad de adhesivo para un producto, dependiendo del área de la aplicación se obtiene la cantidad por producto. Véase tabla 1.4, para conocer especificaciones para condiciones estándar o nominales.
- **Área de aplicación** Es el largo por ancho de aplicación; el ancho se da por la distribución de boquillas y el largo por especificación de producto. El área no afecta la respuesta final si se mantiene el mismo recubrimiento. En el análisis de transferencia de calor se verifica que el área no interviene en los cálculos. Véase ecuación 3.8
- **Flujo de adhesivo por producto** O cantidad de adhesivo por producto. Es la respuesta deseada por el recubrimiento y el área. El flujo es impulsado por las bombas de engranes, se calcula de acuerdo a las ecuaciones de la 1.12 a la 1.15. La cantidad de adhesivo es una variable que afecta la capa de adhesivo, cambiando así su espesor y éste es un parámetro *crítico*. Es una variable controlable.

5.3.2.4 Substratos

- **Material** De acuerdo a la naturaleza del material, el adhesivo es más a fin o no, una de las características particulares es que ésta afinidad depende de la energía superficial del substrato, y por supuesto la mojabilidad. Véase tabla 1.6 y anexo B.1; B.2 y B.3; para conocer las características de los substratos. Éste es una variable que se considera fija por lotes de producción y es controlable.
- **Peso base** Unidad dada en g/m^2 o gsm . Para materiales porosos, como las telas no tejidas; el peso base influye en la adhesión mecánica del adhesivo [2], y en la capa de interface del adhesivo, favoreciendo la unión; sin embargo un peso base bajo (12 gsm) del substrato influye

en la transferencia de calor en el tiempo abierto, favoreciendo la rata de enfriamiento del adhesivo; véase análisis en la sección 3.2.3.1

- **Tratamiento superficial** La superficie de los sustratos es un factor crítico en la resistencia al peel y en general en la resistencia adhesiva, sus variables considerables son: contaminación; discontinuidad en la superficie, estabilidad de la superficie frente agente externos, también depende del pretratamiento superficial químico o mecánico dado al sustrato como carga en corona, plasma etc. [2]; estos factores son controlados por el fabricante y el manejo dado en planta. Por lo tanto es una variable controlable por lote de fabricación.
- **Porosidad** Para materiales con esta propiedad, la porosidad puede ayudar relativamente a la resistencia adhesiva debido a que se genera una mayor área de contacto y además produce mayor adhesión mecánica. La porosidad no afecta considerablemente el tiempo abierto del adhesivo, véase análisis numeral 3.2.3.1
- **Estructura del *nonwovens*** Dependiendo de la tecnología utilizada en la manufactura, puede afectar la respuesta a la resistencia adhesiva, de acuerdo a variables mencionadas anteriormente. Variable dependiente de fabricación, se controla por lotes.

5.3.2.5 Temperatura

- **Procesabilidad** Como se mencionó en el punto 1, la temperatura del adhesivo de acuerdo a su viscosidad en fundido afecta la procesabilidad del adhesivo. La temperatura debe controlarse desde el tanque, hasta el punto de aplicación.
- **Viscosidad** Afecta la procesabilidad del adhesivo. Es dependiente de la temperatura del adhesivo, de la naturaleza del adhesivo y del módulo viscoso, entre las principales. Baja viscosidad ayuda a que exista una mejor mojabilidad en el sustrato.
- **Tiempo abierto del adhesivo** Depende de la temperatura del adhesivo, también de la cantidad de adhesivo aplicado, del módulo elástico y viscoso; de las resinas utilizadas en la mezcla preparativa del adhesivo, etc. Es una variable crítica véase numeral 3.1 y 3.2
- **Tiempo de fijación** De acuerdo al gradiente de enfriamiento del adhesivo sobre la unión adhesiva, es el tiempo fijado y también de su estructura química. Es un parámetro que puede durar desde minutos hasta días, véase capítulo 4.
- **Propiedades térmicas y físicas del adhesivo y sustrato** Existen propiedades dependientes de la *temperatura*, como la densidad, la conductividad térmica, el calor específico, etc; que afectan el tiempo abierto, durante el enfriamiento de la capa adhesiva, y por ende la fuerza adhesiva. Véase numerales 2.5 y 3.2 y anexo D.1
- **Tensión superficial** La tensión superficial del adhesivo depende de la temperatura. La tensión superficial se aplica en las ecuaciones 1.9 y 1.10; la cual mejora la mojabilidad, y el trabajo de adhesión.

5.3.2.6 Condiciones ambientales

- **Temperatura ambiente o del medio** Generalmente repercuten sobre la respuesta cuando la temperatura del medio no se encuentra en una franja estrecha entre la región de transición vítrea y de meseta. La temperatura del medio influye sobre la transferencia de calor en el tiempo abierto operativo. Como también en el coeficiente combinado de transferencia de calor. Véase tabla 1.7 para las condiciones y numeral 3.2 para el análisis de la transferencia de calor.
- **Humedad relativa** Aunque los HM son resistentes a la humedad; cuando RH es alto puede degradar las propiedades de adhesión sustrato-adhesivo; debido a que el agua es muy polar se encuentra permanente en sustratos poliméricos afectando la interface. Véase tabla 1.7 para las condiciones del medio.
- **Ambientes agresivos** Cuando la unión se va a realizar en ambientes agresivos como polución, polvo, agentes volátiles; afectan el desempeño en la unión adhesiva, por la interface.

5.3.2.7 Unión adhesiva

- **Presión de contacto** Como los adhesivos utilizados para este fin son sensibles a la presión (PSA) es requerido la aplicación de una ligera presión sobre la unión adhesiva, para ayudar a que el adhesivo en estado blando fluya hacia las concavidades del sustrato y ayude a la mojabilidad. Dependiendo de la presión aplicada es la respuesta en la resistencia, además ésta presión debe ser homogénea en toda el área de contacto. Véase análisis de la viscoelasticidad lineal y DMA vista en el capítulo 2. La presión de contacto depende de la tensión del rodillo tensor, véase figura 1.11 para las condiciones estándar de presión.
- **Tiempo de contacto** Los materiales viscoelásticos son dependientes de la temperatura y el tiempo, entre mayor sea el tiempo de presión aplicado mas contacto íntimo existiría entre el adhesivo y el sustrato, puede proporcionar mayor resistencia. Esto está relacionado con el tiempo de pegado véase numeral 2.4.2

5.3.2.8 Adhesivo

- **Viscoelasticidad** De acuerdo a su comportamiento viscoelástico el material tiene sus propiedades características influyentes sobre el desempeño durante la unión y durante la desunión, los parámetros principales que caracteriza la viscoelasticidad se realiza por el análisis DMA... véase capítulo 2; los parámetros principales son el módulo elástico, viscoso, y complejo, así como el ángulo de pérdidas, la complianza, y la viscosidad. De este análisis se puede determinar otros parámetros importantes que se nombra en los siguientes factores. La viscoelasticidad es un parámetro fundamental para la resistencia al T-peel, y depende de la estructura y composición química del adhesivo. Esta variable se controla por lotes de fabricación

- **Temperatura de ablandamiento** Si la temperatura del adhesivo durante la prueba está cerca del punto de ablandamiento, la resistencia se ve afectada. Este punto se determina con la curva DMA, véase análisis DMA capítulo 2
- **Temperatura de fusión** Aunque para materiales amorfos la temperatura de fusión no es discreta, se considera en estado fundido el adhesivo cuando el módulo elástico tiende a cero y el adhesivo se comporta como un líquido. Desde luego el adhesivo debe estar muy por debajo de esta temperatura para dar una óptima resistencia.
- **Tiempo de curado** Es un parámetro que depende de la microestructura o morfología del adhesivo, el tiempo depende de otros factores como se nombra en el capítulo 4.
- **Temperatura de transición vítrea** Se determina con la curva DMA, por debajo de ésta temperatura el adhesivo se convierte en estado rígido disminuyendo así la fuerza adhesiva véase figura 2.6
- **Tensión superficial o energía superficial** De acuerdo a su naturaleza química este parámetro influye en el trabajo de adhesión; véase las ecuaciones 1.9 y 1.10
- **Tack** De acuerdo al criterio de Dahlquist y con los resultados de DMA. Se puede categorizar sin necesidad de experimentos, si el adhesivo, presenta pegajosidad; para un adhesivo PSA, ésta propiedad debe ser permanente a la temperatura ambiente. Véase numeral 2.4.2
- **Resistencia térmica y envejecimiento** El adhesivo es vulnerable a atmosferas agresivas y a partículas extrañas que pueden generar la carbonización o la degradación a altas temperaturas, el oxígeno afecta el adhesivo si éste no presente antioxidantes. Por prolongado tiempo a temperaturas altas (cercas a la de aplicación), sus propiedades pueden ser afectadas rompiendo cadenas, disminuyendo la viscosidad y tomando un color opaco. Es una variable a considerar, controlado por lotes de fabricación. El adhesivo debe ser nuevo y estar en buenas condiciones.
- **Propiedades térmicas** Las propiedades de interés en la transferencia de calor que pueden influir en el tiempo abierto son la conductividad térmica, calor específico, y la difusividad térmica. Algunas de ellas se evaluaron en el capítulo 3.

5.3.2.9 Condiciones de prueba

- **Temperatura de Prueba** La temperatura de prueba afecta la resistencia de acuerdo al análisis DMA, capítulo 2. Debe especificarse.
- **Humedad Relativa** La humedad puede incidir en la interface de la unión adhesiva. Generando la capa débil de adherencia
- **Velocidad de prueba** De acuerdo a la viscoelasticidad del adhesivo; véase análisis 2.5.4. La respuesta a diferentes frecuencias o tiempos puede afectar los resultados finales. Además de acuerdo también a la ecuación 1.3 la velocidad debe ser constante para que el termino de la

energía cinética no afecte sobre la energía de fractura adhesiva. La velocidad se ajusta de acuerdo la norma NTC 2882.

- **Ángulo de prueba** De acuerdo a la ecuación general de la energía de fractura adhesiva G_c , 1.1. El ángulo de prueba afecta los resultados de la energía externa, es decir los arrojados por el equipo de prueba; además dependiendo del ángulo éste implica el coaccionado de otras energías involucradas como la energía de pérdida y almacenamiento [3] generadas por los substratos, por ejemplo en la resistencia a la flexión (*bending*), y también en la resistencia a la tensión.
- **Propiedades mecánicas de los substratos** Dependiendo del tipo de prueba y del nivel de la carga para romper la unión adhesiva; considerando que el material sea o no elástico lineal, las energías de deformación de los substratos pueden estar presente en la acción del rompimiento adhesivo, véase numeral 1.1.
- **Almacenamiento de las probetas** Dependiendo de las condiciones externas en que se ha mantenido las probetas a poner en el Test, es el resultado final. Las condiciones básicas es que deben estar en un lugar fresco, seco, sin exposición directa a la luz del sol, sin ninguna presión sometida, ni tampoco en un ambiente agresivo. Pues cualquier agente puede afectar los resultados finales generando errores sistemáticos.

5.3.2.10 Estado o condiciones en que está el sistema de aplicación de adhesivo Para disminuir la variabilidad de los datos de respuestas, o el error sistemático y para obtener resultados confiables, los sistemas implicados en la aplicación y unión adhesiva deben estar en condiciones óptimas, por ejemplo la cantidad de adhesivo depende de que el sistema dosificador no posea fugas, ni obstrucciones, que la bomba esté en buenas condiciones, así como el motor impulsor, etc. La temperatura del adhesivo, depende del estado de las resistencias internas, del sensor, entre otros. El equipo de prueba tiene que estar calibrado. Las boquillas limpias, etc. Todos estos elementos confabulan para que la variabilidad de los resultados se disminuya.

Nota: Los estándares indicados en las variables anteriores son obtenidos por las recomendaciones que dan los fabricantes; sin embargo, no siempre funcionan dentro de esos rangos; tales parámetros depende de cada máquina y las condiciones con que se encuentra la máquina. Muchos de los parámetros cuantitativos mostrados en la descripción anterior están especificados en la tabla 1.4 y 1.5; las cuales pertenecen a las condiciones estándar de operación, además se realiza la prueba de *T-peel* en estas condiciones nominales y los resultados se muestran en la tabla 1.9. Se verifica también la normalidad de los resultados y se realiza un análisis exploratorio de datos en ese mismo capítulo.

La formulación del problema se plantea al inicio de esta sección, ahora se prosigue con el diseño de experimentos.

5.3.3 Diseño del experimento

5.3.3.1 Variable de respuesta o dependiente Esta variable es la resistencia al *T-peel*, generados en las gráficas de Fuerza vs desplazamiento. Dentro de la gráfica existen dos resultados de interés, los cuales son, la fuerza o carga máxima, y la carga media entre límites. No se considera análisis bivariado (MANOVA), puesto estos resultados se obtienen de una misma gráfica.

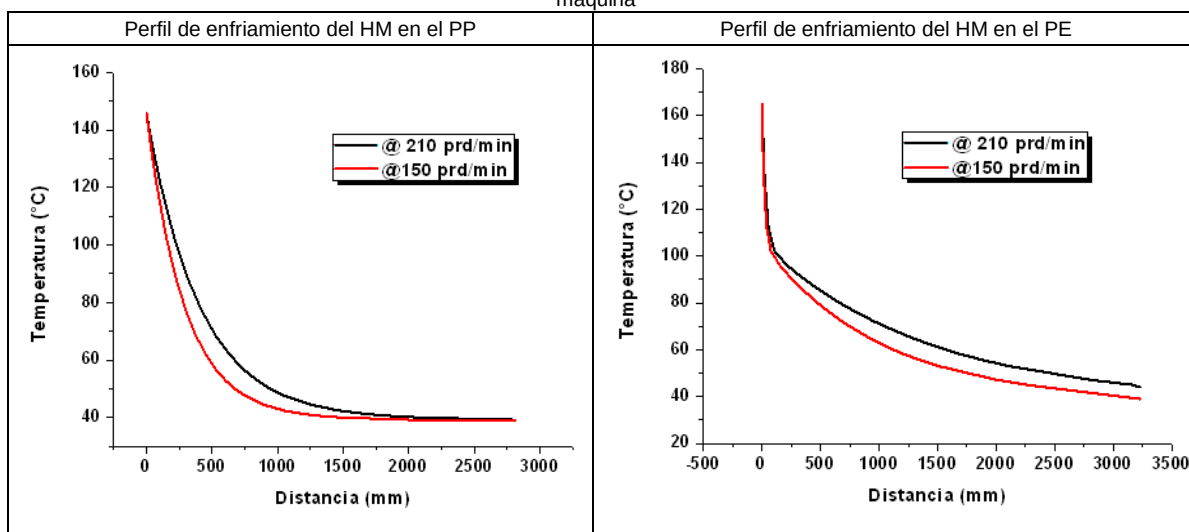
5.3.3.2 Factores principales o influyentes Como se estableció en la sección 5.3.2; existen muchas variables que están involucradas en la resistencia al *T-peel*, unas más influyentes que otras. Se analizarán las variables por separado y por último se hará la clasificación de las variables propuestas para el diseño.

El procesado. Los parámetros que afecten la procesabilidad del adhesivo como las presiones de aire, la ubicación del aplicador, la tecnología implementada, la presión hidráulica, entre otras; no se considerarán como factores críticos, puesto que solo afecta el procesamiento; desde luego, si no hay un buen dispersado el efecto en el *T-peel* es considerable puesto no hay uniformidad en el recubrimiento del adhesivo. Siempre se busca que el adhesivo se disperse uniformemente, ya que si no existe esto, puede generar contaminación, producidos por hilos ("cabello de ángel") de adhesivo que crean inestabilidad en máquina. Por lo anterior estos parámetros se mantendrán en las condiciones estándar. De la clasificación general del procesado, las boquillas pueden ser un tema de interés para el diseño, ya que las distribuciones o patronamiento de aplicación son muy diferentes entre boquillas; sin embargo no se consideraron por limitaciones de recursos para el ensayo. Sobre la temperatura y el flujo del adhesivo se hablará más adelante.

Línea principal. La velocidad de máquina afecta el tiempo abierto de máquina, y desde luego el tiempo abierto del adhesivo (no directamente). El coeficiente combinado de transferencia de calor también cambia puesto que la velocidad del aire en contra se disminuye con la velocidad. A velocidades de 150 prd/min (velocidad de la banda 148,8 m/min), el adhesivo se enfría a una distancia mucho menor como era de esperarse, esto se puede visualizar en la figura 5.2. Lo anterior asumiendo velocidades límites de máquina, y asumiendo que no existe además cambios en h_{comb} .

En el caso de PP no se observa diferencia de temperatura en el punto de contacto, sin embargo para PE si existe una pequeña diferencia, debida al peso base del PE. La velocidad de máquina permanece casi siempre a 200 prd/min. Cuando no se encuentra a esta velocidad es porque existen problemas en máquina de índole mecánica, electrónica o de materias primas. Aunque la velocidad puede inferir en la resistencia adhesiva no se considerará en el diseño; ya que los cambios de velocidad casi no suceden. Sin embargo en los arranques y paradas de máquina puede ser un factor muy crítico.

Figura 5.2 Curvas de enfriamiento del adhesivo para ambos sustratos, se compara con respecto a la velocidad de máquina



La distancia abierta de máquina es un factor crítico, ya que como se observa en la gráfica anterior para el PP, las diferencias de temperaturas se empiezan a notar con distancias menores de 1750mm, además de lo anterior en el numeral 3.2.3.1 se ven casos similares, a diferentes condiciones de aplicación. Aunque debe tenerse en cuenta este factor no se considerará en el diseño puesto que el cambio de posición de un aplicador puede ser no factible o requiere de mucha inversión y tiempo como para una experimentación.

Los cambios de temperatura por donde pasan las telas durante la distancia abierta, pueden afectar la resistencia al *T-peel* indirectamente; sin embargo, es costoso aislar este sistema, los cambios de temperatura en los alrededores generan errores aleatorios.

La cantidad de adhesivo. Este parámetro se indica en g/m^2 o en gsm ; son unidades de laminación o recubrimiento. La cantidad de adhesivo es un factor a considerar ya que si se aplica mayor cantidad de adhesivo más densa es la capa de adhesivo y uniforme. Los autores de muchos libros demuestran que al aumentar el grosor o espesor de la capa adhesiva la energía de fractura adhesiva G_c o *resistencia adhesiva* es mayor [3 y 32]. Se considera en el diseño; ya que además de definir las variables influyentes en la resistencia al *T-peel*, el objetivo principal es buscar condiciones de operación que conlleve mejor utilización de los recursos disponibles.

Substratos. Aunque también son factores importantes en la unión adhesiva, éstos no cambian en la experimentación ya que son materias primas del producto. El cambio de sustratos puede desencadenar mejoramiento en la unión dependiendo de las propiedades superficiales de los materiales a unir; ver anexos B.1, B.2 y B.3; para conocer la ficha técnica de los sustratos.

Condiciones ambientales. Las condiciones ambientales con que se encuentra la planta se muestran en la tabla 1.7. La temperatura alejada de máquina es diferente a la cercana a la

máquina, la que se considera en los cálculos de transferencia de calor es la próxima a la máquina, la producción de absorbentes no están expuestos a ambientes agresivos.

Unión adhesiva. Son dos los factores importantes a la hora de unir dos o más sustratos para un PSA, la presión ejercida sobre la unión y el tiempo que se mantiene la presión. Para el caso de producción de absorbentes, debido a que la velocidad es crítica el tiempo de presión es de decimas de segundo, no obstante la presión si puede ser controlable. El rodillo tensor ejerce presión sobre la unión; véase figura 1.11; entre menor sea el ángulo α_1 , se genera más tensión en las telas y por ende mayor presión. Aunque la presión real se desconoce dentro de la unión, existen diferencias cuando el ángulo α_1 cambia; La tensión de las telas se considerará como factor en el diseño experimental.

Adhesivo. Para el conjunto del diseño solo se considerará el adhesivo utilizado en planta el cual es el NW-1094ZP de *HB FULLER*. Para la experimentación se implementará adhesivo nuevo con un mismo lote de fabricación. La cantidad de adhesivo será un factor a considerar.

Temperatura del adhesivo. El cambio de temperatura afecta: el procesamiento del adhesivo, el tiempo abierto del adhesivo, la viscosidad, la tensión superficial del adhesivo, el perfil de enfriamiento del adhesivo y las propiedades térmicas del mismo. Todos estos cambios tienen efectos sobre la resistencia adhesiva. Es un factor que se considerará en el diseño experimental.

Condiciones de prueba. La temperatura y la humedad relativa se controlarán dentro del laboratorio durante las pruebas permaneciendo estables. Las condiciones de prueba como la velocidad de cruceta, la forma de la prueba, la geometría, etc.; se especifican con la norma NTC 2882 que se resume en la tabla 1.2. Los absorbentes permanecerán en sus empaques almacenados en condiciones óptimas hasta el momento de la prueba. El tiempo de curado no será menor de ocho días para disminuir los efectos de este factor. Las energías de almacenamiento y de pérdida de los sustratos que se presenta durante la prueba no se considerarán, primero porque las TNT son elementos flexibles, y también de acuerdo a la ecuación 1.7 y a los resultados iniciales de T_{peel} , de la tabla 1.9; con magnitudes entre 1 y 6 N de fuerza, los términos de la ecuación debido a la deformación de los sustratos son menores del 1%; por lo tanto, no se consideran críticos.

Estado o condiciones del sistema de aplicación. Se revisa el flujo másico generado por la bomba; véase tabla 5.6 en la página 107; la temperatura del adhesivo en tanque con la cámara termográfica; véase tabla 5.3; el estado de los aplicadores; y las boquillas como técnica de control. Algunos factores atribuibles a las condiciones con que se encuentran los equipos pueden generar errores sistemáticos o aleatorios.

De acuerdo a lo anterior descrito, se considerará los factores siguientes para el diseño experimental, **la temperatura del adhesivo, la cantidad de adhesivo dado en g/m^2 y la presión**

del rodillo tensor medido por el ángulo α_1 . Para tal fin, se seleccionará dos niveles fijos por factor. A continuación las especificaciones de los niveles.

5.3.3.3 Factor o parámetro A: Temperatura del adhesivo. En la tabla siguiente se resumen las condiciones para las temperaturas en el diseño de experimentos, para ver las temperaturas a condiciones estándar, remitirse a la tabla 1.4

Tabla 5.2 Condiciones de temperatura para la experimentación.

Temperaturas (°C)						
Nivel	Aplicación	Tanque superior	Tanque inferior	Manguera	Aplicador	Aire de proceso
(-)	TNT	150	155	155	155/155	-
(+)		165	175	175	175/175	-
(-)	TBS centro	150	155	155	155/155	165/165
(+)		165	175	175	175/175	185/185
(-)	TBS lado máquina	150	155	155	155	165
(+)		165	175	175	175	185
(-)	TBS lado operador	150	155	155	155	165
(+)		165	175	175	175	185

De la tabla anterior se distingue como factor principal, *la temperatura de aplicación*; ya que es la temperatura a la cual el adhesivo sale de la boquilla. No obstante ésta temperatura depende de los parámetros precedentes, Es decir, los ajustados en los tanques, las mangueras y en el aire de proceso, tal como se revisó en el capítulo 1, ya que cada parte del sistema de aplicación tiene una función importante a desempeñar.

La temperatura superficial del adhesivo que está en reposo en el tanque, fue medida con la cámara termográfica con *emisividad* de 0,92, los resultados son los siguientes.

Tabla 5.3 Medición de la temperatura superficial del adhesivo en reposo con la cámara termográfica

Temperatura (°C)				
Nivel	Tanque	Enfoque	Alta	Baja
(-)	TNT	146,4	151,2	145,7
(+)		162,5	163,3	158,6
(-)	TBS	144,5	148,3	143,1
(+)		160,3	161,6	157,7

Según los resultados anteriores se consideran satisfactorios. Desde luego la temperatura de aplicación de adhesivo es difícil de medir ya que el adhesivo se enfría en milésimas de segundo como se observó en los resultados del análisis de la transferencia de calor durante el tiempo abierto de máquina figura 3.6. Debido a lo anterior solo queda contemplar los resultados otorgados por los sensores *RTD pt100* internos del tanque.

Los niveles mínimos (-) y máximos (+), de la tabla 5.3, fueron especificados de acuerdo a procesabilidad en máquina. A temperaturas inferiores a 150 °C se forma en las boquillas signature, un fenómeno conocido como “*cabello de ángel*”, los cuales generan contaminación en elementos adyacentes de la máquina; fuera de lo anterior, también el flujo en la salida de las boquillas no es uniforme, por lo que el espacio vacío que se deja sin adhesivo, para la ubicación de los elásticos de piernas se cierran y afecta la ubicación de éstos elásticos. Para una temperatura mayor a 180°C se puede afectar la estructura de la tela del PP, lo cual puede ocasionar ruptura o quemado, además de lo anterior puede generarse que el adhesivo traspase la tela, debido a dos factores, la viscosidad del adhesivo a esta temperatura (menos de 1000 Cps, ver figura 2.7) y a la porosidad de la tela con un peso base de 14 g/m², véase tabla 3.2, luego debido a la afinidad del adhesivo con la tela; la tensión superficial influye generando exagerada adsorción.

5.3.3.4 Factor o parámetro B: Angulo del rodillo tensor; presión en unión adhesiva. Se ajusta el ángulo del rodillo pisador α_1 para los niveles mínimo y máximo como se observa en las figuras 5.3 y 5.4 (hoja siguiente); la diferencia de altura del rodillo es de 15mm entre los límites de los niveles. Se puede observar que si el ángulo α_1 es más pequeño, el ajuste o el estiramiento de la tela es mayor, éstos niveles mínimo y máximo son límites debido a que ángulos menores de 57°, puede generar que la tela se rasgue, mientras que para mayores de 64°, hay riesgo de que exista desfase entre las telas, generando producto defectuoso. Se resumen en la tabla siguiente los resultados para el ángulo del rodillo tensor, se tiene en cuenta el origen (0,0), en el punto de pivote para la ubicación rectangular. Con vertical positiva hacia abajo y horizontal positiva hacia la izquierda.

Tabla 5.4 Niveles del experimento para el rodillo tensor			
	Ángulo	Y	X
Condición estándar	60°	117	48
Nivel mínimo (-)	57°	114	55
Nivel máximo (+)	64°	120	41

Figura 5.3 Esquema del rodillo tensor para el nivel de ajuste mínimo, ángulo de 57°

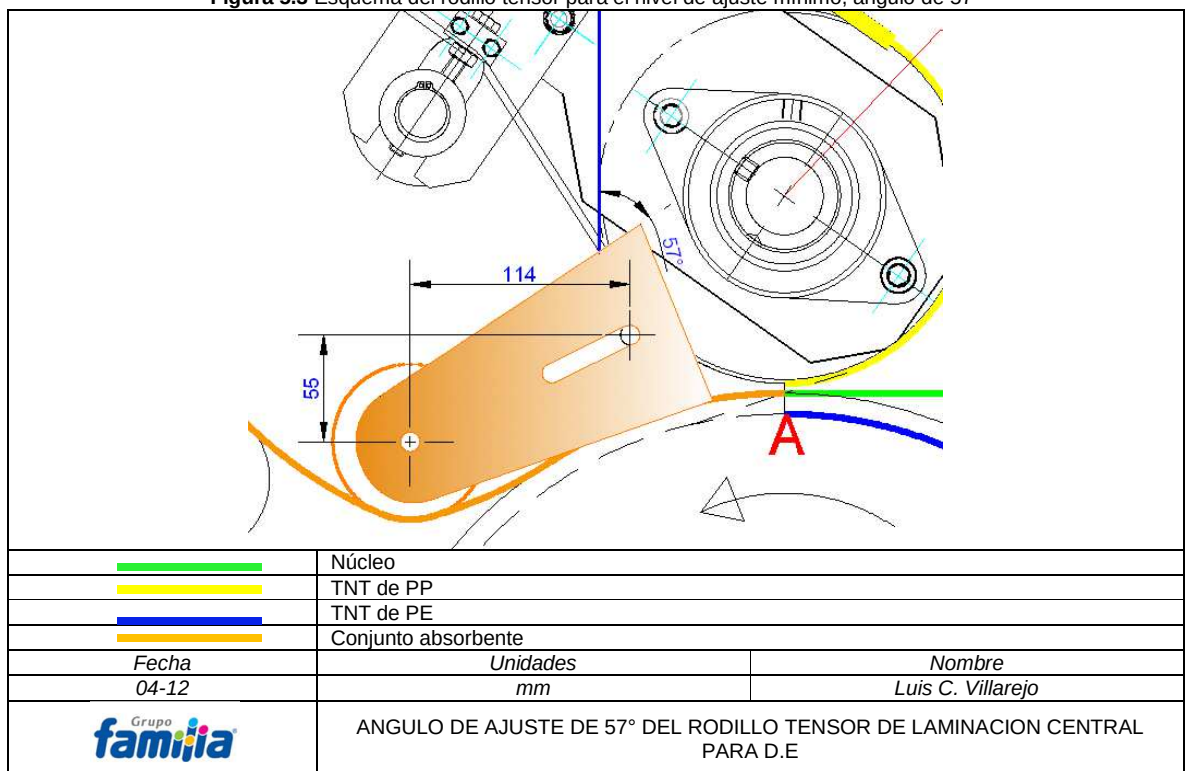
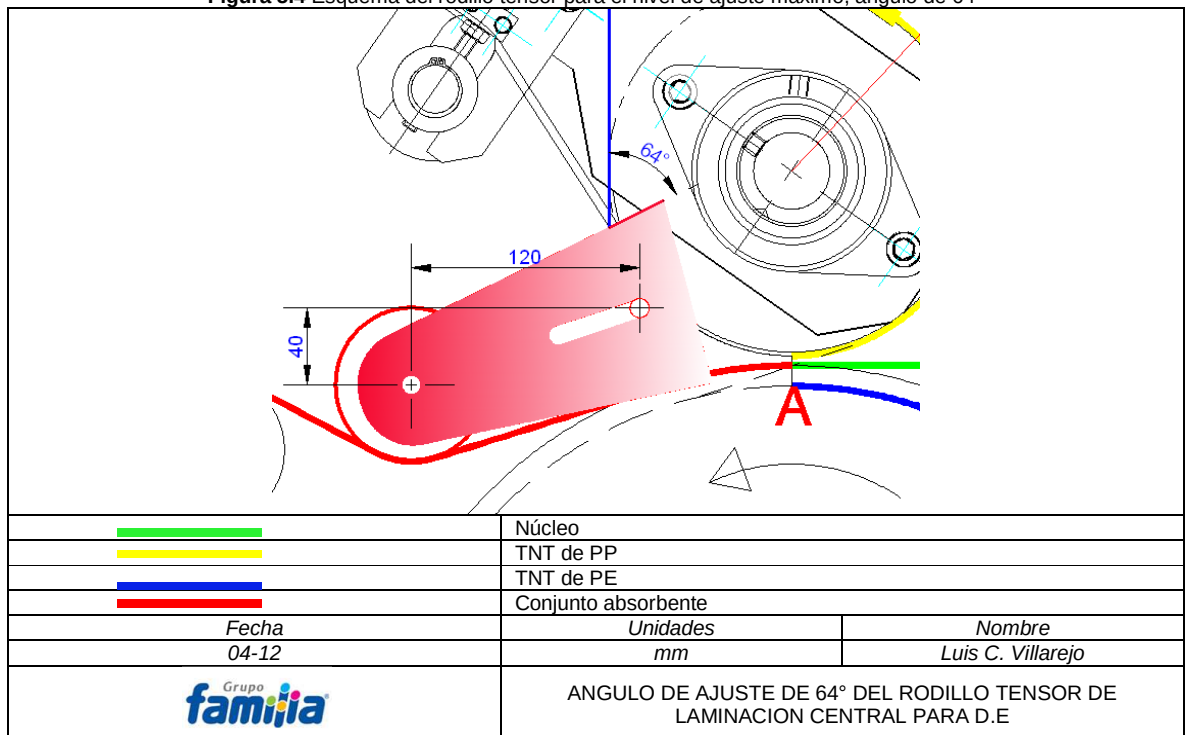


Figura 5.4 Esquema del rodillo tensor para el nivel de ajuste máximo, ángulo de 64°



5.3.3.5 Factor o parámetro C: Cantidad de adhesivo

Se mide la cantidad de flujo impulsados por las bombas por medio de aforos para verificar estado de las bombas y del sistema impulsor. Las mediciones fueron realizadas para las condiciones estándar, los resultados se muestran en la tabla 5.6 (hoja siguiente). Nota: el procedimiento se describe en el anexo E.1.

De la tabla 5.6 se corrige el flujo másico por un *factor de corrección* indicado para cada aplicación; éste desfase entre lo real y teórico se debe a la eficiencia de la bomba y también puede deberse a factores como, desgaste de la bomba; fugas por la prensa estopa y manguera; bypass; y obstrucciones.

Una vez realizada la corrección, se aplica los niveles de cantidad de adhesivo de acuerdo a la siguiente tabla,

Tabla 5.5 Cantidad de adhesivo dosificado para cada aplicación			
		Nivel	
	Aplicación	(-)	(+)
laminación (g/m ²)	TNT	2,20	2,95
	TBS Centro	2,30	2,70
	TBS L.O	2,30	2,70
	TBS L.M	2,30	2,70
	Total Centro	4,50	5,65
	Total Laterales	4,60	5,40
	Total	9,10	11,05
Cantidad aplicado x prd (g/p)	TNT	0,764	1,024
	TBS Centro	0,799	0,937
	TBS L.O	0,399	0,469
	TBS L.M	0,399	0,469
	Total Centro	1,56	1,96
	Total Laterales	0,80	0,94
	Total	2,36	2,90
Velocidad rotacional bomba: RPM @ 200 p/min // Rhi ¹	TNT	20,4//25,5	27,3//34,1
	TBS centro	21,3//26,6	25,0//31,3
	TBS L.O	22,2//27,8	26,1//32,6
	TBS L.M	22,2//27,8	26,1//32,6
Observaciones: Los resultados presentados aquí son calculados de acuerdo a las ecuaciones del capítulo. 1 La velocidad rotacional de la bomba se calcula con las ecuaciones 1.12 y 1.13; y teniendo en cuenta la relación de desplazamiento de la tabla 1.1			

Tabla 5.6 resultados de la verificación del sistema impulsor de adhesivo y corrección del sistema

Aforo para máquina SSP, adhesivo NW-1094ZP

Máquina		SSP													
Vel Máq simulada		180 p/min													
Presentación		SLIP L													
Test de aforo		1 minuto													
Aplicación	Tipo de bomba	Vel. Bomba (RPM) @ 180 p/min	Rhi Bomba (RPM) @ Uhi ¹	Resultado inicial del aforo									Teórico ²		Factor de corrección ⁵
				Test 1 (g/min)	Test 2 (g/min)	Test 3 (g/min)	Test 4 (g/min)	Test 5 (g/min)	Media (g/min)	Cantidad x prod (g/p)	Caudal (cm ³ /min ₃)	base (g/m ²) ₄	base (g/m ²) ₄	Flujo másico (g/min)	
TNT	PR25m2	24,6	34,2	176,3	175,9	176,0	176,1	176,2	176,1	0,978	181,5	2,82	2,95	184,4	1,047
TBS centro	PR25m2	22,4	31,1	159,4	159,5	159,0	159,6	159,3	159,4	0,885	164,3	2,55	2,69	168,1	1,055
TBS L.M	PR12m2	23,3	32,4	80,6	80,4	80,4	81,0	80,5	80,6	0,448	83,1	2,58	2,68	83,7	1,039
TBS L.O	PR12m2	23,3	32,4	81,2	81,5	81,6	81,2	81,3	81,4	0,452	83,9	2,60	2,68	83,7	1,029
				Resultado corregidos del aforo ⁶											
TNT	PR25m2	24,6	34,2	185,5	185,2	185,1	185,2	185,0	185,2	1,029	190,9	2,96			
TBS centro	PR25m2	22,4	31,1	168,0	167,8	167,7	168,1	167,9	167,9	0,933	173,1	2,69			
TBS L.M	PR12m2	23,3	32,4	84,1	84,0	84,2	84,3	84,2	84,2	0,468	86,8	2,69			
TBS L.O	PR12m2	23,3	32,4	83,5	83,4	83,4	83,3	83,2	83,4	0,463	85,9	2,67			

Observaciones: 1. Rhi: Velocidad del motor a voltaje piloto Uhi. Uhi: Voltaje piloto a la cual gira el motor constate en Rhi. Estos parámetros forman parte de la curva de velocidad de la bomba. 2. Resultados de acuerdo a las ecuaciones formuladas en la sección 1.3. 3. Teniendo en cuenta la densidad del adhesivo ver tabla 3.2 y el Área de aplicación tabla 1.4. 5. Parámetro utilizado en tanque para corregir caudal a condiciones reales. 6. Con Factor de corrección aplicado.

Para los resultados anteriores se tendrá en cuenta el recubrimiento o laminación como parámetros para el diseño de experimentos, en unidades de g/m^2 . Se subdivide el total dosificado en laterales y centro; teniendo en cuenta que la evaluación de la probeta solo se da en el centro del absorbente tal como se indicó en la figura 1.8, no quiere decir que no es importante los laterales, sólo que la parte principal se da sobre el cierre donde está el núcleo la cual está en el medio del absorbente. El nivel máximo se especifica casi igual que a condiciones estándar, como el objetivo además de verificar los resultados del *T-Peel* es entablar las condiciones más óptimas de trabajo generando ahorro de recursos; el nivel mínimo en cantidad sería aproximadamente un 20% menos que a las condiciones iniciales, es decir el nivel alto se tomará como están en las condiciones estándar. Las cantidades de dosificación de adhesivo se fijan de acuerdo a al ajuste de tres parámetros a saber: las *RPM* o *Rhi* de las bombas, el tamaño de la bomba y la densidad del adhesivo.

5.3.3.6 Resumen del diseño experimental En la tabla siguiente se muestra la ficha técnica concerniente al diseño experimental que se aplica

Tabla 5.7 Resumen del diseño experimental factorial

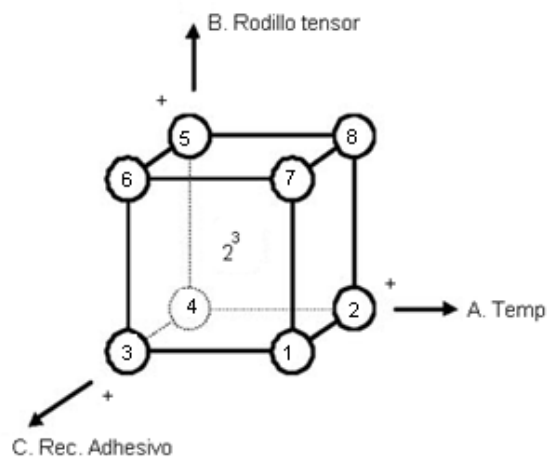
Diseño experimental para reconocimiento de factores influyentes en la resistencia al T-peel			
Ubicación	Familia Sancela del Pacífico	Fecha	03 de mayo de 2012
Máquina Producto	SSP (combo) Tena Slip L	Turno	1
Objetivo	Determinar las variables predominantes en la resistencia al T-peel de los absorbentes para adultos de Familia Sancela del Pacífico, con el fin de inferir las condiciones óptimas para la unión adhesiva entre el TBS y TNT del absorbente.		
Condiciones de operación	Las condiciones se mantendrán estables; solo se realizarán ajustes, de acuerdo a los factores fijos propuestos como tratamientos. Para una mayor descripción ver la sección de formulación del problema		
Unidad experimental	Absorbentes para adultos TENA Slip L		
Variable de respuesta	Prueba de T-peel: Gráfico de fuerza vs desplazamiento, resultados de interés: fuerza máxima y carga media entre límites		
Unidad de salida	(N/25mm)		
Factores	Descripción	Niveles de los factores	
Factor A	Temperatura del adhesivo ($^{\circ}\text{C}$)	Bajo 0 (-)	Alto 1 (+)
Factor B	Rodillo tensor, presión en unión adhesiva (ángulo α_1)	155 $^{\circ}\text{C}$	175 $^{\circ}\text{C}$
Factor C	Recubrimiento de adhesivo (g/m^2) (Total del centro)	57 $^{\circ}$	64 $^{\circ}$
		4,50	5,65
Análisis experimental	Aplicación de la técnica de ANOVA. Se asume que los errores son valores de variables aleatorias independientes con distribución normal, cada una con media igual a cero y varianza común σ^2 .		
Experimentos	$2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$ conjuntos de condiciones experimentales		
Número de replicas	8 por tratamiento		

Tabla 5.7, (Continuación)

Tiempo de ensayo	5 horas								
Descripción del experimento	Se hace revisión completa de las condiciones actuales de máquina, junto con el aforo. Se realiza el ajuste requerido en la máquina (tratamiento), cuando las condiciones estén estables se da arranque a la máquina durante un minuto para que se estabilice, después durante otro minuto se retiran cuatro paquetes de absorbentes aleatoriamente; posteriormente se para la máquina de nuevo y se realiza el próximo ajuste, para proseguir de nuevo como se indicó antes.								
Orden de experimentación	(A, B, C) = 1. (1, 0,1); 2. (1,0,0); 3. (0, 0,1); 4.(0, 0, 0); 5. (0,1,0) ; 6.(0,1,1); 7.(1, 1,1); 8.(1,1,0)								
Modelo	Completamente aleatorio de clasificación tridimensional (Interacción de dos y tres factores) con efectos fijos a dos niveles $y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$ $i=1,2,...,a; j=1,2,..., b; k=1,2,...,c; l=1,2,...,n$								
Nivel de significancia	0,05 para todo el ANOVA								
Costos*	<table> <tr> <td>1. Costo fijo por parada de máquina en experimento</td><td>\$ 1.300.000</td></tr> <tr> <td>2. Productos en cuarentena por ensayos</td><td>\$ 720.000</td></tr> <tr> <td>3. desperdicio</td><td>\$ 240.000</td></tr> <tr> <td>4. Costo por pruebas en laboratorio</td><td>\$ 153.600</td></tr> </table>	1. Costo fijo por parada de máquina en experimento	\$ 1.300.000	2. Productos en cuarentena por ensayos	\$ 720.000	3. desperdicio	\$ 240.000	4. Costo por pruebas en laboratorio	\$ 153.600
1. Costo fijo por parada de máquina en experimento	\$ 1.300.000								
2. Productos en cuarentena por ensayos	\$ 720.000								
3. desperdicio	\$ 240.000								
4. Costo por pruebas en laboratorio	\$ 153.600								
Observaciones: * Costo calculado internamente por FAMILIA									
Total									
\$ 2.413.600									

En la figura siguiente se muestra el esquema del diseño experimental 2^3 con dos niveles y tres factores, cada uno de los ejes representa un factor, el nivel alto (1) (+), se da en la posición (1) de cada eje. Los números dentro de cada arista del cubo representan el orden de experimentación.

Figura 5.5 Esquema experimental 2^3 , para el diseño propuesto



5.3.4 Análisis de los datos obtenidos Se muestran a continuación, el informe con las condiciones para la prueba

Tabla 5.8 Ficha técnica para la prueba *T-peel* en absorbentes para adultos de FSP

Ficha técnica: Prueba de T-PEEL (sellados de extremos)

Fecha de producción	Mayo 3 de 2012 (turno1)
Fecha de prueba	Mayo 15 de 2012
Producto	Slip Large TENA
Identificación del Ensayo	ENS1-F, ENS2-F, ... , ENS8-F del año 2012
Sentido	Adelante (frontal)
Descripción de las muestras	Experimentación factorial 2x2x2
Adhesivo	NW-1094ZP FULLER
Substrato A	Polietileno laminado TBS 25g/m ² (FAMILIA)
Substrato B	Polipropileno SS 14g/m ² (PGI COLOMBIA)
Dimensión de probetas	Adelante: 120 ± 5 mm x 25 mm. (de unión adhesiva)
Probetas	8 replicas por tratamiento
Muestreo	Ver en tabla 5.7, " <i>descripción del experimento</i> "
Norma de prueba	NTC-2882
Temperatura de prueba	21 °C
Humedad relativa	55%
Equipo*	Instron 4411
Velocidad de cruceta	300 mm/min
Frecuencia de muestreo	6.6670 pts/s
Distancia entre mordazas	50 mm
Reporte de resultados	Fuerza máxima (N/25mm); Carga media entre Límites (N/25mm) (Límites: Adelante de 20 a 160 mm); Gráfica de Fuerza (KN) vs desplazamiento (mm)

Nota: Para ver los resultados gráficos de algunas de las probetas por cada tratamiento, remitirse al anexo C, figuras C.11 y C.12

En la tabla 5.9 se muestran los resultados completos obtenidos para todos los tratamientos planteados; y las estadísticas de la fuerza máxima obtenida por las gráficas de la prueba; véase en el anexo las figuras C.11 y C.12 para conocer los resultados gráficos de algunas de las probetas. Más abajo se muestran también para la carga media entre límites. Se indica cada ensayo como "ENS 1-F" refiriéndose a "ensayo 1 Frontal". Se debe tener en cuenta el orden de experimentación propuesto en la tabla 5.7 y figura 5.5

Tabla 5.9 Resultados completos de la fuerza máxima de la prueba experimental

RESULTADOS PARA LA FUERZA MAXIMA						
Adhesivo aplicado, C			Temperatura , A.			
			155°C		175°C	
			Rodillo Tensor, B		Rodillo Tensor, B	
PP (g/m²)	PE (g/m²)	Total (g/m²)	57°	64°	57°	64°
2,95	2,70	5,65				
			Probeta	ENS3-F	ENS6-F	ENS1-F
			1	4,976	3,709	5,724
			2	4,693	3,968	5,576
			3	4,677	4,477	6,226
			4	5,084	3,774	6,196
			5	4,470	4,923	6,795
			6	5,070	4,742	6,410
			7	5,112	4,330	6,255
			8	5,057	4,907	5,832
			9	-	-	-
Número de observaciones válidos			8	8	8	8
Suma total			39,139	34,830	49,014	37,320
Media			4,892	4,354	6,127	4,665
D.E			0,244	0,492	0,398	0,373
Máximo			5,112	4,923	6,795	5,324
Mínimo			4,470	3,709	5,576	4,257
C.V			4,98%	11,31%	6,50%	8,00%
Adhesivo aplicado, C						
PP (g/m²)	PE (g/m²)	Total (g/m²)				
2,20	2,30	4,50				
			Probeta	ENS4-F	ENS5-F	ENS2-F
			1	3,835	3,748	3,849
			2	3,450	3,734	3,970
			3	4,471	3,815	-
			4	4,399	3,065	4,207
			5	4,052	3,772	4,351
			6	4,003	3,160	3,948
			7	3,292	3,312	4,251
			8	4,067	3,471	3,719
			9	-	-	4,049
Número de observaciones válidos			8	8	8	8
Suma total			31,569	28,077	32,344	30,900
Media			3,946	3,510	4,043	3,863
D.E			0,413	0,300	0,214	0,189
Máximo			4,471	3,815	4,351	4,162
Mínimo			3,292	3,065	3,719	3,600
C.V			10,47%	8,55%	5,31%	4,90%

Tabla 5.10 Resultados completos de la carga media entre límites de la prueba experimental

RESULTADOS PARA LA CARGA MEDIA ENTRE LIMITES						
Adhesivo aplicado, C			Temperatura , A.			
			155°C		175°C	
			Rodillo Tensor, B		Rodillo Tensor, B	
			57°	64°	57°	64°
PP (g/m ²)	PE (g/m ²)	Total (g/m ²)				
2,95	2,70	5,65				
		Probeta	ENS3-F	ENS6-F	ENS1-F	ENS7-F
		1	3,274	2,615	3,460	2,815
		2	2,884	2,647	3,827	3,247
		3	3,134	2,664	3,494	3,047
		4	3,095	2,577	3,614	3,049
		5	2,875	2,560	3,384	2,707
		6	3,138	2,722	3,707	2,746
		7	3,096	2,906	3,996	2,864
		8	3,356	2,302	3,968	3,158
		9	-	-	-	-
Número de observaciones válidos			8	8	8	8
		Suma total	24,852	20,993	29,450	23,633
		Media	3,107	2,624	3,681	2,954
		D.E	0,167	0,170	0,233	0,199
		Máximo	3,356	2,906	3,996	3,247
		Mínimo	2,875	2,302	3,384	2,707
		C.V	5,38%	6,46%	6,33%	6,73%
Adhesivo aplicado, C						
PP (g/m ²)	PE (g/m ²)	Total (g/m ²)				
2,20	2,30	4,50				
		Probeta	ENS4-F	ENS5-F	ENS2-F	ENS8-F
		1	2,337	2,355	2,712	2,075
		2	2,557	2,148	2,217	2,107
		3	2,348	2,294	-	2,075
		4	2,276	2,018	2,449	2,057
		5	2,209	1,913	2,543	2,121
		6	2,661	2,067	2,423	2,282
		7	2,238	2,083	2,405	2,319
		8	2,451	2,457	2,437	2,554
		9	-	-	2,389	-
Número de observaciones válidos			8	8	8	8
		Suma total	19	17	20	18
		Media	2,385	2,167	2,447	2,199
		D.E	0,160	0,185	0,140	0,174
		Máximo	2,661	2,457	2,712	2,554
		Mínimo	2,209	1,913	2,217	2,057
		C.V	6,69%	8,54%	5,74%	7,93%

De acuerdo a la ecuación 1.7, en la cual se ha despreciado las energías de almacenamiento y pérdida de los substratos; la energía de fractura adhesiva G_c para cada ensayo se muestra en la tabla 5.11, se tendrá en cuenta el promedio de los resultados del experimento.

Tabla 5.11 Resultados promedios de la energía de fractura adhesiva máxima

Recubrimiento, adhesivo (g/m^2)	Energía de fractura adhesiva máxima $G_{c(\text{max})}$ (J/m^2)			
	Temperatura			
	155°C Rodillo tensor (α_1)		175°C Rodillo tensor (α_1)	
	57°	64°	57°	64°
5,65	391,36	348,32	490,16	373,2
4,50	315,68	280,80	323,44	309,04

Tabla 5.12 Resultados promedios de la energía de fractura adhesiva media entre límites

Recubrimiento, adhesivo (g/m^2)	Energía de fractura adhesiva media entre límites $G_{c(\text{med})}$ (J/m^2)			
	Temperatura			
	155°C Rodillo tensor (α_1)		175°C Rodillo tensor (α_1)	
	57°	64°	57°	64°
5,65	248,56	209,92	294,48	236,32
4,50	190,80	173,36	195,76	175,92

Se observa de los resultados anteriores que el valor más bajo para $G_{c(\text{max})}$ y $G_{c(\text{med})}$ se presenta en el experimento 5, es decir a los niveles (0,1,0), mientras para el más alto para el experimento 1, (1,0,1); caso opuesto al 5; puede que los tres factores estén interfiriendo con este resultado o dos o solo uno. Para hacer una evaluación formal del estudio, se realiza el análisis de la varianza (ANOVA), con el modelo propuesto en la tabla 5.7.

Antes de realizar el ANOVA es necesario comprobar la suposición de varianzas iguales entre $2 \times 2 \times 2 = 8$ poblaciones, con el fin de no perder robustez en los resultados: Con el análisis entregado en el capítulo 1, se comprobó a través del test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wills, que los resultados obedecen a una distribución normal. Para la prueba de homogeneidad de varianzas se hace la prueba de Levene¹ con el software SPSS y los resultados se muestran en la tabla 5.13.

Probar la hipótesis $H_0 = \sigma_{(111)}^2 = \sigma_{(112)}^2 = \dots = \sigma_{(222)}^2$, contra al menos dos de las varianzas no son iguales

¹ Para la prueba se recomienda leer este documento
http://www.people.vcu.edu/~wsstreet/courses/314_20033/Handout.Levene.pdf

Tabla 5.13 Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error^a (software SPSS)

	F	gl1	gl2	Sig.
Fuerza Máxima	2,111	7	56	,057
Carga Media entre límites	,918	7	56	,500

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + Temperatura + Rodillo + Adhesivo + Temperatura * Rodillo + Temperatura * Adhesivo + Rodillo * Adhesivo + Temperatura * Rodillo * Adhesivo

De acuerdo a los resultados se puede concluir que a una significancia de 0,057, existe algo de evidencia de homogeneidad de varianza entre poblaciones de tratamientos para la fuerza máxima, sin embargo no es muy significativa. Para la carga media existe una significancia de 0,500 por lo que existe suficiente evidencia de que la varianza para los distintos tratamientos son iguales. Es de notar que existe una mayor variación de los resultados en la fuerza máxima que en la carga media; y es de esperarse, ya que la fuerza máxima solo es un dato discreto tomado de la grafica de *T-peel*, mientras la carga media es un valor medio entre límites, siendo los resultados mas robustos. De lo anterior se puede decir que los resultados para el *T-peel* en absorbentes para adultos lado frontal no tienen dispersiones muy diferentes entre los tratamientos con una seguridad del 95%. Se desea evaluar las siguientes hipótesis para la fuerza máxima y carga media entre límites para el diseño experimental:

1. Se pone a prueba que no existe efecto de la interacción en los tres factores,

$$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0 \quad i = 1,2; \quad j = 1,2; \quad k = 1,2$$

2. Se pone a prueba que no existe interacciones entre dos factores en todos los niveles,

$$H_0^I: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad i = 1,2; \quad j = 1,2$$

$$H_0^{II}: (\alpha\gamma)_{ik} = 0 \quad i = 1,2; \quad k = 1,2$$

$$H_0^{III}: (\beta\gamma)_{jk} = 0 \quad j = 1,2; \quad k = 1,2$$

3. Se pone a prueba que no existe diferencia entre los niveles de los factores A, B y C (efectos principales),

$$H_0^{IV}: \mu_{1\dots} = \mu_{2\dots} = \dots = \mu_{a\dots} = 0$$

$$H_0^{IV}: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_0^V: \mu_{\dots 1} = \mu_{\dots 2} = \dots = \mu_{\dots b} = 0$$

$$H_0^V: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_0^{VI}: \mu_{\dots 1} = \mu_{\dots 2} = \dots = \mu_{\dots c} = 0$$

$$H_0^{VI}: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0$$

4. Se realiza ANOVA de clasificación unidireccional para poner a prueba la hipótesis nula de medias de combinaciones de tratamientos iguales (se desglosa el conjunto de tres factores y dos niveles por un factor y 8 niveles), se realizan comparaciones múltiples.

El análisis de los puntos anteriores se realizará de acuerdo a los resultados encontrados en la ANOVA.

Los cálculos estadísticos para los grupos de tratamientos se muestran en el anexo C.3

Los resultados del ANOVA se presentan a continuación

Tabla 5.14 ANOVA de datos del ensayo T-peel (software SPSS)

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	DF	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Fuerza Máxima	37,653 ^a	7	5,379	45,658	,000
	Carga Media entre límites	15,178 ^b	7	2,168	66,624	,000
Intersección	Fuerza Máxima	1253,098	1	1253,098	10636,606	,000
	Carga Media entre límites	464,968	1	464,968	14286,808	,000
Temperatura	Fuerza Máxima	3,982	1	3,982	33,796	,000
	Carga Media entre límites	,998	1	,998	30,657	,000
Rodillo	Fuerza Máxima	6,851	1	6,851	58,150	,000
	Carga Media entre límites	2,807	1	2,807	86,245	,000
Adhesivo	Fuerza Máxima	21,871	1	21,871	185,645	,000
	Carga Media entre límites	10,042	1	10,042	308,548	,000
Temperatura *	Fuerza Máxima	,445	1	,445	3,778	,057
Rodillo	Carga Media entre límites	,076	1	,076	2,326	,133
Temperatura *	Fuerza Máxima	1,201	1	1,201	10,194	,002
Adhesivo	Carga Media entre límites	,657	1	,657	20,191	,000
Rodillo *	Fuerza Máxima	1,914	1	1,914	16,244	,000
Adhesivo	Carga Media entre límites	,553	1	,553	16,991	,000
Temperatura *	Fuerza Máxima	1,390	1	1,390	11,802	,001
Rodillo *	Carga Media entre límites	,046	1	,046	1,412	,240
Adhesivo						
Error	Fuerza Máxima	6,597	56	,118		
	Carga Media entre límites	1,823	56	,033		
Total	Fuerza Máxima	1297,348	64			
	Carga Media entre límites	481,969	64			
Total corregida	Fuerza Máxima	44,250	63			
	Carga Media entre límites	17,001	63			

a. R cuadrado = ,851 (R cuadrado corregida = ,832)

b. R cuadrado = ,893 (R cuadrado corregida = ,879)

Se obtiene en la tabla anterior la suma de cuadrados, la media cuadrática, el resultado de la distribución F y la significancia, para las respuestas de fuerza máxima y carga media entre límites. De lo anterior se observa el modelo corregido, cuya suma de cuadrados dados equivale a la suma de los cuadrados del modelo propuesto en la tabla 5.7 sustrayendo intercesión; es decir, la media cuadrática global, entonces:

$$SSM = SSA + SSB + SSC + SS(AB) + SS(AC) + SS(BC) + SS(ABC)$$

Se espera para este caso que SSM sea grande comparado a SSE , puesto la suma de cuadrados del modelo hace la medición de la variabilidad por intergrupos; es decir, por tratamientos, y no por fluctuaciones aleatorias. La significancia de cero asegura que la variable de respuesta ($T-peel$), difiere de las combinaciones de factores dados.

El coeficiente R cuadrado indicado al final de la tabla se halla con $\frac{SSM}{SST} \times 100$, que va de 0 a 1, para este caso están dando valores por encima de 0,85, indica que existe una buena capacidad predictiva de acuerdo al modelo propuesto en la tabla 5.7 [31] a pesar de las cantidades de variables involucradas; las cuales se mostraron en el numeral 5.3.2. R cuadrado equivale a la proporción de variación de las respuestas explicadas por el modelo.

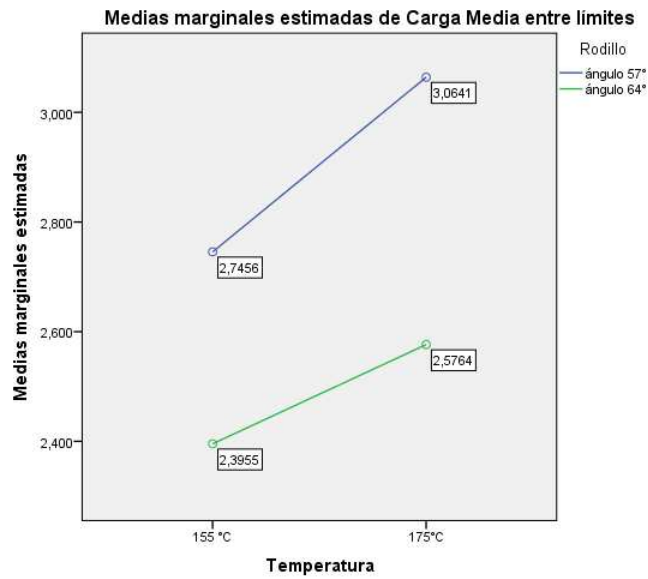
La intersección no se tendrá en cuenta para la identidad suma de los cuadrados totales corregidos. La suma de cuadrados para la intersección es la suma de cuadrados de la media global. Su significancia equivale a rechazar la hipótesis de que la media global es igual a cero.

Se analiza la hipótesis de la interacción debida a los tres factores (hipótesis 0). Para la fuerza máxima se observa que existe una fuerte interacción ($p < 0,05$) entre la temperatura, la presión del rodillo y la cantidad de adhesivo; lo cual requiere de un análisis de comparación de las combinaciones de tratamiento con ANOVA unidireccional. Por el contrario para la carga media entre límites su significancia es alta, por lo que no existe interacción entre los tres factores, se prosigue con el análisis de las hipótesis 1,2 y 3,

Para la interacción temperatura*rodillo, el nivel de significancia es de 0,133 lo que acepta la hipótesis de que no existe efectos entre estos factores, al realizar la gráfica de líneas de las medias de tratamiento (interacción), se obtiene la gráfica mostrada en la figura 5.6 hoja siguiente

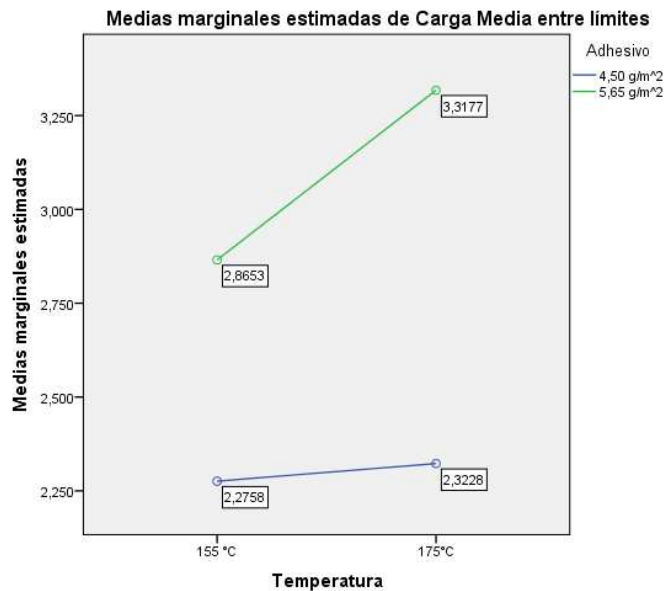
Se nota un ligero paralelismo entre líneas, lo que quiere decir que no existe interacción entre temperatura y presión de rodillo. Pero al visualizar el efecto principal se observa que al aumentar la temperatura se aumenta la resistencia al $T-peel$, mientras al aumentar el ángulo α_1 , la resistencia disminuye, como era de esperarse.

Figura 5.6 Gráfica de interacción entre la temperatura y el rodillo para la carga media



Para el caso de la interacción entre temperatura*adhesivo, existe una significancia de 0,000; por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se acepta de que existe interacción fuerte entre estos factores. Se realiza la gráfica de interacción y se obtiene.

Figura 5.7 Gráfica de interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la carga media

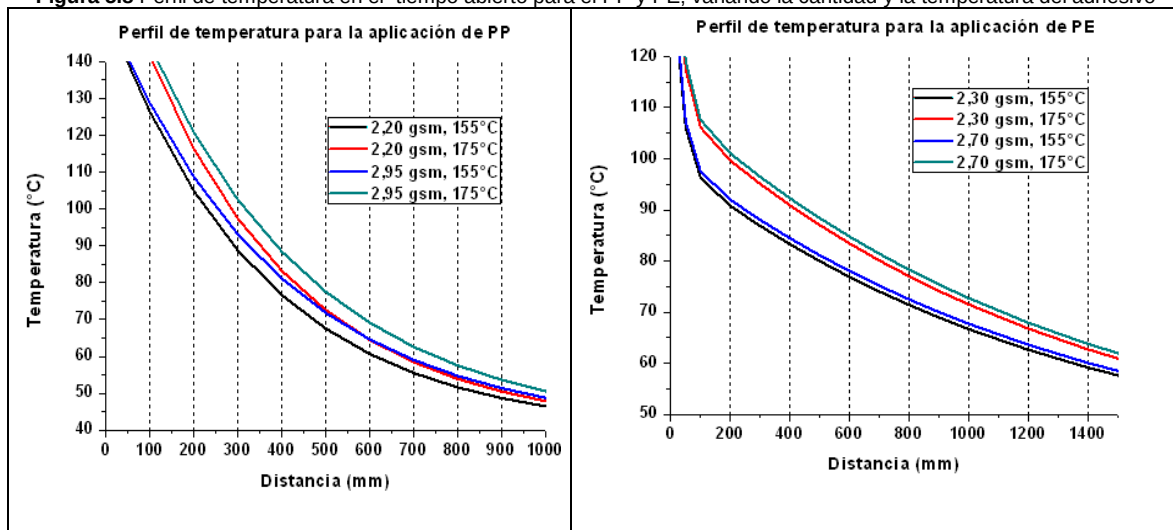


Se observa que no existe paralelismo, y se dice que la respuesta puede verse afectada por la cantidad de adhesivo dependiendo también de su temperatura aplicada. Lo anterior es razonable

de acuerdo al análisis realizado en la transferencia de calor; al observar la figura 3.11, puede verse como cambia el perfil de temperatura al cambiar la temperatura de aplicación de adhesivo, contrastándolo ahora con la figura 3.9 de cantidad de adhesivo (peso base), al aumentar la cantidad de adhesivo el perfil cambia, lo que quiere decir que estos parámetros se relacionan aumentando el tiempo abierto del adhesivo, y por ende mejorando la mojabilidad sobre el sustrato. Lo anterior se puede visualizar en las gráficas de la figura 5.8

En las gráficas de la figura 5.8, se visualiza los perfiles para los cuatro puntos de la experimentación mostrados en la figura 5.7 tanto para el PP como para el PE. Se puede ver que al haber mayor masa el adhesivo tiene un mayor tiempo de enfriamiento (*comparando curva verde con roja*), sobre todo para sustratos de poco peso base como el PP; sin embargo la diferencia fuerte se observa cuando hay tanto variación de cantidad de adhesivo como de temperatura (curvas verde y negra). De acuerdo a los resultados anteriores se concluye que si el perfil de temperatura cambia, esto tiene efecto sobre el tiempo abierto del adhesivo y por ende sobre la resistencia final. Por ejemplo, al observar la figura 3.8; se nota que el peso base del sustrato puede ser una variable de fuerte influencia, por el hecho de que cambia el perfil de manera radical como se observa en la figura; sin embargo como se mencionó más atrás. Para el caso de la industria de fabricación de desechables, esto no es deseable, ya que se busca es mermar la cantidad de recursos disponibles en la producción.

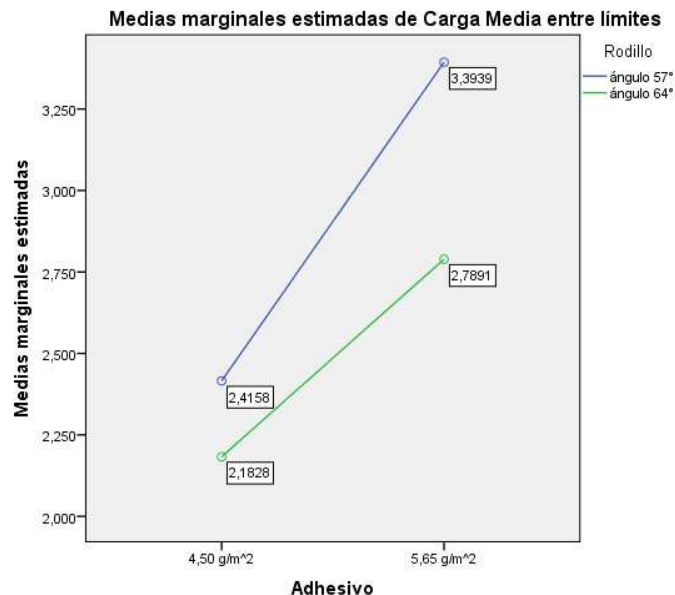
Figura 5.8 Perfil de temperatura en el tiempo abierto para el PP y PE; variando la cantidad y la temperatura del adhesivo



Para el caso de la interacción entre rodillo*adhesivo, la significancia al igual que la anterior es 0,000, lo que existe influencia de la cantidad de adhesivo con la presión del rodillo tensor es decir son dependientes, la interacción se puede ver en la figura 5.9; puede notarse otra vez el efecto

que tiene el aumentar el adhesivo y también el disminuir el ángulo α_1 , sin embargo puede notarse que la eficiencia de la presión aumenta cuando aumenta la cantidad de adhesivo, para $5,65 \text{ g/m}^2$ hay una diferencia de $0,605 \text{ N/25mm}$, mientras para $4,50 \text{ g/m}^2$, de $0,233 \text{ N}$. Debido a que existe una capa más gruesa para el nivel alto de adhesivo, hay mayor adhesivo que cubre los espacios en la interface de unión, mejorando el área contacto y favoreciendo la adhesión. Observando la figura, si se mantiene la linealidad para cada caso, se espera que por debajo de $4,00 \text{ g/m}^2$, ya el efecto del ángulo no sea significativo para este estudio en cuestión. Debido a que el adhesivo es tan disperso en cantidades pequeñas, que ya la presión no tiene ningún efecto sobre la interface, lo anterior aclarando que las demás condiciones como la distancia abierta mantienen estables.

Figura 5.9 Gráfica de interacción entre la cantidad de adhesivo y el rodillo para la carga media



Para los efectos principales, de la tabla 5.14 se observa que todos los factores tienen significancia de 0,000, lo que conlleva a decir que directamente o dependientemente tiene efecto influyente sobre la resistencia al *T-peel*. Para el caso donde el valor de F es mayor hay mayor evidencia de influencia, puede verse que el adhesivo es el principal, seguido por la presión de contacto y por último la temperatura.

Los gráficos de interacción para la fuerza máxima se pueden ver en el anexo C, figuras C13, C14 y C15, he de notarse que tiene mucha similitud con lo mostrados para la carga media.

Para analizar los efectos por tratamientos para la fuerza máxima y carga media se realiza el análisis de la ANOVA unidireccional, asumiendo 8 tratamientos por un solo factor, el orden de la experimentación es como se muestra en la tabla 5.7 y en la figura 5.5, se repite aquí: (A, B, C) = 1. (1, 0, 1); 2. (1, 0, 0); 3. (0, 0, 1); 4. (0, 0, 0); 5. (0, 1, 0); 6. (0, 1, 1); 7. (1, 1, 1); 8. (1, 1, 0)

Se compara las medias por pares por la prueba de Duncan, para el caso en cuestión se evalúa 28 comparaciones entre las medias por cada respuesta de fuerza máxima y carga media [30 y 31], con el fin de hallar similitudes entre ellas. El rango de cualquier subconjunto de las 8 medias maestras deben superar un valor crítico conocido como rango mínimo significativo, lo cual equivalente a $R_p = r_p \sqrt{\frac{s^2}{n}}$; donde r_p , es conocido como rango mínimo significativo studentizado depende del nivel de significancia deseado y del número de grados de libertad del error cuadrático medio. En la tabla siguiente se muestran los resultados con el software SPSS.

Tabla 5.15 Prueba de Duncan para la fuerza máxima (SPSS)

Fuerza máxima

Duncan							
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
(155°C; 64°; 4,50 gsm)	8	3,509625					
(175°C; 64°; 4,50gsm)	8		3,862500				
(155°C; 57°; 4,50gsm)	8		3,946125				
(175°C; 57°; 4,50gsm)	8		4,043000	4,043000			
(155°C; 64°; 5,65 gsm)	8			4,353750	4,353750		
(175°C; 64°; 5,65gsm)	8				4,665000	4,665000	
(155°C; 57°; 5,65 gsm)	8					4,892375	
(175°C; 57°; 5,65gsm)	8						6,126750
Sig.		1,000	,328	,076	,075	,191	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 8,000.

Tabla 5.16 Prueba de Duncan para la carga media (SPSS)

Carga media

Duncan						
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
(155°C; 64°; 4,50 gsm)	8	2,166875				
(175°C; 64°; 4,50gsm)	8	2,198750				
(155°C; 57°; 4,50gsm)	8		2,384625			
(175°C; 57°; 4,50gsm)	8		2,446875	2,446875		
(155°C; 64°; 5,65 gsm)	8			2,624125		
(175°C; 64°; 5,65gsm)	8				2,954125	
(155°C; 57°; 5,65 gsm)	8				3,106500	
(175°C; 57°; 5,65gsm)	8					3,681250
Sig.		,725	,493	,054	,097	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 8,000.

La prueba se realiza a un nivel de significancia de 0,05, para probar la hipótesis de un par de medias son iguales. Para la fuerza máxima se desea saber si el efecto único de la cantidad de adhesivo es influyente, para esto se hace cuatro comparaciones razonables $\mu_{1,0,1} = \mu_{1,0,0}$; $\mu_{0,0,1} = \mu_{0,0,0}$; $\mu_{0,1,0} = \mu_{0,1,1}$; y $\mu_{1,1,1} = \mu_{1,1,0}$; se puede observar de la tabla 5.15 y 5.16; que ninguno del conjunto de comparaciones anteriores se encuentran dentro de un subconjunto por lo que se puede decir que la cantidad de adhesivo es un factor influyente independiente en la resistencia al *T-peel*. Lo mismo se hace para la presión del rodillo, $\mu_{1,0,1} = \mu_{1,1,1}$; $\mu_{1,0,0} = \mu_{1,1,0}$; $\mu_{0,0,1} = \mu_{0,1,1}$ y $\mu_{0,0,0} = \mu_{0,1,0}$; del conjunto anterior de acuerdo a la prueba de Duncan, la media de los experimentos 2 y 8 es homogénea, con una significancia de 0,328, esto sucede para temperaturas alta y cantidad baja, sin embargo para temperatura baja y cantidad baja no sucede; ni tampoco para cantidad alta; de lo anterior sugiere que la presión de rodillo no es significativa para bajas cantidades y altas temperaturas, para efectos de cantidad es debido al caso descrito en la interacción de adhesivo*presión de rodillo explicado en la carga media. Para la temperatura, como la función del rodillo es ayudar a que el adhesivo penetre sobre los sustratos y exista un mejor anclaje; la viscosidad baja del adhesivo a la temperatura de 175°C ya ha realizado esta función, solo en caso de cantidades bajas.

Se examina los efectos de la temperatura, el conjunto de medias son $\mu_{1,0,1} = \mu_{0,0,1}$; $\mu_{1,0,0} = \mu_{0,0,0}$; $\mu_{0,1,0} = \mu_{1,1,0}$ y $\mu_{0,1,1} = \mu_{1,1,1}$; de la tabla 5.15 se puede obtener, que el conjunto de medias son diferentes, salvo para la comparación entre los experimentos 2 y 4, de nuevo se presenta para el caso de cantidad baja de adhesivo; esto es lo contrario al caso del rodillo tensor, la presión alta del rodillo hace lo que la viscosidad alta a baja de temperatura no hace, la cual ayuda a que exista un mejor contacto entre adhesivo y sustratos. Para cantidades altas la temperatura es un efecto influyente.

Se puede examinar el mismo conjunto para la carga media entre límites, tabla 5.16, y verificar las influencias de cada efecto en la experimentación; realizando el mismo procedimiento anterior.

Los resultados son: El adhesivo nuevamente influye significativamente en la resistencia al *T-peel*; lo mismo sucede para el efecto del rodillo tensor es un factor influyente independiente de otros factores. Para el caso de la temperatura en cantidades bajas de adhesivo, no existe diferencia significativa entre los cambios de temperatura, se puede ver esto en los subconjuntos 1 y 2 de la tabla 5.16, con una significancia alta; este efecto se visualiza en la figura 5.7 de la interacción entre temperatura y adhesivo, donde se muestra que el cambio de temperatura no sufre grandes diferencias, pero para cantidades altas si existe diferencia significativa, por las razones explicadas anteriormente. Y esto queda demostrado en la tabla 5.16.

En las tablas anteriores, existe un subconjunto muy interesante donde se presenta igualdad de medias, éste es el 3 ($\mu_{1,0,0} = \mu_{0,1,1}$); aunque la significancia es dudosa, queda claro que pueden obtenerse los mismos resultados en la resistencia al *T-peel*, disminuyendo recurso es decir adhesivo, por lo que se puede plantear unas condiciones diferentes de operación mejorando la utilización de los recursos disponibles. Las condiciones se evaluarán a continuación

5.4 CONDICIONES ÓPTIMAS DE UNION ADHESIVA

De acuerdo al análisis realizado en la sección anterior y al punto de vista del ultimo párrafo anterior, se da las condiciones óptimas para la unión adhesiva entre el TNT del polietileno con el TNT del polipropileno, con el adhesivo Hot melt PSA NW1094-ZP en la máquina SSP para la producción de Tena Slip L¹ en FAMILIA DEL PACIFICO.

De los ensayos realizados en la experimentación, el ensayo 2 puede ser el más favorable para el establecimiento de las condiciones, con razones explicadas en la sección anterior. Antes de establecer las condiciones se hallaran lo límites de tolerancia unilateral, para verificar que no exista productos por fuera de la especificación exigida por la empresa, ver tabla 1.2 para visualizar las especificaciones, teniendo en cuenta una distribución normal en la población, de lo anterior se obtiene

$$\bar{x} - ks = 4,043 - 5,812(0,214) = 2,799 \text{ N/25mm}$$

Es decir que se tiene el 99% de confianza de que el intervalo de tolerancia unilateral de $2,799 - x$; contendrá el 99% de los absorbentes para adultos que produce la máquina SSP. El cual da un valor muy confiable. El tema de la temperatura es que se aumenta 10°C, por lo que en tiempos de parada de máquina el tanque debe entrar en reposo, para prevenir envejecimiento y degradación en el adhesivo, además debe evitarse que el tanque no baje más de $\frac{3}{4}$ de su capacidad.

Se resumen a continuación las condiciones óptimas de trabajo.

¹ Aunque las condiciones son dadas para SLIP L, también puede inferirse para SLIP M y S, teniendo en cuenta que las áreas de contacto de adhesivo cambian.

Tabla 5.17 Condiciones óptimas de operación para la unión adhesiva principal en absorbente para adultos TENA

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA UNION ADHESIVA ENTRE TNT PP Y TNT PE, PARA TENA SLIP L					
Maquina	SSP "Combo"	Condiciones en planta			
Producto	Slip L ²	Temperatura	27-32°C		
Año - semestre	2012 (II)	HR	40-60 %		
Materias Primas⁷					
Adhesivo	NW-1094ZP HB FULLER ¹				
Cubierto interior	TNT PP SMS 13 gsm PGI Colombia				
Cubierta exterior	TNT PE 25 gsm familia				
Velocidad de maquina	200 prd/min (nota: ver observaciones)				
Distancia abierta de PE	3,225 m				
Distancia abierta de PP	2,680 m				
Angulo α1 de rodillo tensor	57°				
Distancia pivote a eje rodillo (X,Y)³	(114; 55) mm				
Aplicación					
Temperatura (°C)	Tolva	TBS centro	TNT	TBS L.O	TBS L.M
	Parrilla	165	165	165	165
		175	175	175	175
	Manguera	175	175	175	175
	Aplicador L.O/L.M	175/175	175/175	175	175
	Aire aplicación L.O/L.M	185/185	N.A	185	185
Presión hidráulica adhesivo (bar)		(3,4 - 17,0)bar	(3,0 - 30) bar ⁴	(3,4 - 17,0)bar	(3,4 - 17,0)bar
Bomba de impulsión	Tipo (nordson)	PR25m2	PR25m2	PR12m2	PR12m2
	RPM @ VEL MAQ	21,3	20,4	22,2	22,2
	RHI programadas	26,6	25,5	27,8	27,8
	Factor de corrección ⁵	1,055	1,047	1,029	1,039
Manguera	Tipo	TC-183-8-PT100	TC-150-8-PT100	TC-183-8-PT100	TC-183-8-PT100
Tecnología de dosificación de adhesivo	Aplicador	Universal Nordson	True Coat Nordson	Universal Nordson	Universal Nordson
	Boquilla	Signature flujo estable	Slot	Signature flujo estable	Signature flujo estable
	Módulos	UM50	DC-D5	UM50	UM50
Dimensiones de la aplicación	Largo (mm)	992	992	992	992
	Ancho (mm)	350	350	175	175
	Distribución de boquillas	14 Tipo Full	Shim ancho 350 mm 3	6 tipo full; 2 tipo 1/2	6 tipo Full; 2 tipo 1/2

Tabla 5.17 (Continuación)

Dosificación de adhesivo	Consumo (g/prd)	0,799	0,764	0,399	0,399
	Recubrimiento (g/m²)	2,30	2,20	2,30	2,30
Posición del aplicador ⁶	Altura entre boquilla y sustrato (mm)	50	(contacto)	50	50
	Angulo de boquilla respecto al sustrato	90°	90°	90°	90°
	Distancia del rodillo anterior de soporte del sustrato al punto de aplicación (mm)	330	10	330	330
	Distancia desde el punto de aplicación al contacto (mm)	3225	2680	3225	3225
Aire de control	Electroválvula de control	Nordson, solenoid ,3/2 vías cerrada 24V	Nordson solenoid 3/2 vías cerrada 24 V	Nordson, solenoid ,3/2 vías cerrada 24V	Nordson, solenoid 3/2 vías cerrada 24V
	Regulador de presión	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI	Festo LFR-1/4-D-MINI
Aire de proceso	Presión de control (bar/psi)	5,5/80,3	6/87,6	5,2/75,9	5,2/75,9
	Electroválvula de proceso	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada	N.A	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada	Festo MFH-3-1/4, 3/2 cerrada
	Regulador de Presión de proceso	Festo LRP-1/4-2,5	N.A	Festo LRP-1/4-2,5	Festo LRP-1/4-2,5
	Presión de proceso (bar/psi)	2,4/35,0	N.A	2/29,2	2/29,2
	Regulador de Caudal	Festo GR-QS-8	N.A	Festo GR-QS-8	Festo GR-QS-8
	Presión de bypass (bar/psi)	2/29,2	N.A	1,8/26,3	1,8/26,3
	Caudal de aire de proceso (scfm)	(0,50 - 0,75) por boquilla	N.A	(0,50 - 0,75) por boquilla	(0,50 - 0,75) por boquilla

Condiciones de la prueba T-peel

Temperatura y HR de prueba	21°C // 55%
Tiempo de curado	Mayor a 8 días de producción
Condiciones	de acuerdo a la norma NTC 2882
Almacenamiento de la muestra	Lugar oscuro, fresco y seco

Observaciones: Los cálculos se harán respecto a 200 pr/min 1. El adhesivo no debe pasar de 8 horas seguidas de calentamiento, para prevenir envejecimiento, es importante el flujo constate; 2, Aunque se indique producto para SLIP L, las condiciones son aplicables para las demás condiciones, hay que tener en cuenta solo el cambio del área de aplicación y modificarse lo que esté implicado. 3 el punto de contacto es como se muestra en la figura 5.4. 4. Para este tipo de aplicador la presión hidráulica no es un valor crítico, el rango especificado aquí es ha condiciones estándar de trabajo 5. Aplicado en las bombas de acuerdo al aforo realizado tabla 5.5. El factor de corrección que se introduce en tanque es el inverso del indicado. 6. Las demás indicaciones de la posición del aplicador no mostradas aquí, deben estar relacionado con lo indicado por el fabricante. 7. Materias primas de acuerdo a las fichas especificados en los anexos B.1, B.2, B.3 Y B.4

5.5 AHORRO ESTIMADO CON NUEVAS CONDICIONES

Para el mejoramiento continuo dado por *FAMILIA* (FAC-037), código 80-11, se ejecuta el proyecto a partir de Junio de 2012, contabilizando un año de producción, los ahorros estimados, son:

Tabla 5.18 Ahorros estimados entre jun 2012 y jun 2013
Ahorro estimado JUN 2012 - JUN 2013

Producto	Consumo (g/prd)		Ahorro/prd	Producción estimada ¹	Costo adhesivo	Subtotal (\$)
	Condición estándar	Nueva condición				
SLIP S	1,272	1,027	0,245	520.000	\$ 9000/kg	1'146.600
SLIP M	2,090	1,695	0,395	13'300.000		47'281.500
SLIP L	2,889	2,361	0,528	16'100.000		76'507.200
			Total	29'920.000		124'935.300

Nota: 1. Estimado entre jun 2012 y jun 2013, FAMILIA

CONCLUSIONES

- El análisis dinamomecánico (DMA) es una prueba de mucha importancia que sirve como herramienta para caracterizar un adhesivo *Hot melt PSA*, a pesar de que se mantiene dentro de la franja de viscoelasticidad lineal, presenta resultados interesantes, se visualiza como varía los módulos elástico G' y viscoso G'' al cambio de la temperatura o de la frecuencia. Conociendo esta variación se puede hallar parámetros como la temperatura de transición vítrea T_g , la temperatura de ablandamiento, las fases importantes del adhesivo, por ejemplo la franja de meseta, y otras más. Propiedades y divisiones que se utiliza para verificar su comportamiento viscoelástico en el proceso de unión y desunión adhesiva. Otra razón importante es que con los resultados DMA se puede comparar adhesivos y definir a priori cuales son los mas convenientes para un proceso complejo como en este caso para la manufactura de absorbentes o pañales. Ahorrando así tiempos de parada de máquina innecesarios, contaminación y otros inconvenientes que aparecen cuando se ensaya adhesivos nuevos.
- Con el método de las diferencias finitas por el procedimiento del balance de energía, se obtuvo un perfil de decaimiento de temperatura durante el tiempo abierto similar a lo medido físicamente con la cámara termográfica, teniendo en cuenta las suposiciones propuestas en los cálculos, los resultados son satisfactorios. Con lo anterior se puede analizar el perfil de la temperatura para diferentes condiciones; incluso para mejorar las condiciones de pegado. El perfil está relacionado con el tiempo abierto del adhesivo. Se obtuvo que la variación del peso base de los substratos mejora el tiempo abierto del adhesivo considerablemente. Otros cambios como la cantidad de adhesivo, la modificación de la temperatura de aplicación de adhesivo, así como la velocidad de máquina, modifica modernamente el perfil, otras propiedades como la porosidad del substrato, la conductividad térmica, tanto del adhesivo como el substrato, el calor específico del adhesivo, no afectan considerablemente el perfil de temperatura.
- El tiempo de curado es una variable importante sobre la medición del *T-peel*, de acuerdo a los resultados encontrados durante la experimentación realizada para hallar la curva de curado del adhesivo NW-1094ZP, (*T-peel* vs tiempo); se observó que la fuerza adhesiva puede aumentar más del 20%, desde el tiempo inicial (15 minutos) hasta los cuatros días de curado. En los gráficos encontrados se visualiza que existe un crecimiento fuerte de la resistencia

durante las primeras 8 horas, luego la curva se estabiliza con un crecimiento más lento. Estos cambios están relacionados con el entrecruzamiento físico y a la compactación, que se presenta principalmente en las cadenas estirénicas durante el curado. De lo anterior se concluye que dentro de una prueba de resistencia adhesividad debe especificarse la fecha-hora de producción y la fecha-hora de prueba, para que en los análisis de los resultados no se incurran a errores sistemáticos debido a esta variable.

- Se realizó diseño de experimental factorial 2^3 , con dos niveles y tres factores; los factores para el diseño propuesto fueron la temperatura de aplicación de adhesivo, la tensión ejercida por el rodillo tensor, y la cantidad de adhesivo. Se utilizó la técnica del análisis de la varianza. Se obtiene que los factores elegidos presentan efectos considerables sobre la resistencia al T-peel, el factor más influyente es la cantidad de adhesivo, seguido por la tensión del rodillo y por último la temperatura, lo anterior de acuerdo a la significancia arrojada por la ANOVA y también al análisis de la prueba de Duncan sobre la comparación de medias. A partir de estos resultados se obtuvo las condiciones de operación óptimas para la unión adhesiva entre el PE y el PP en los absorbentes, significando merma en la utilización de los recursos disponibles.
- Se demuestra la relación que existe entre la temperatura - adhesivo y el tiempo abierto del adhesivo en la resistencia al *T-peel*. En los resultados de la interacción entre la temperatura - adhesivo para la carga media entre límites, se observó que a mayor cantidad de adhesivo la temperatura influía más en la resistencia y se verificó esto en el perfil de decaimiento de temperatura durante el tiempo abierto, se observó la variación haciendo que el tiempo abierto aumente; lo que quiere decir que los cambios fuertes en las curvas de enfriamiento puede significar grandemente en la respuesta; es decir la prueba *T-peel*.
- Con los resultados de este proyecto, se lograría obtener un ahorro de 125 millones de pesos durante el lapso de un año; ver tabla 5.18, contribuyendo además a una disminución de cerca de 14 toneladas de adhesivo, mermando así el impacto ambiental.

RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

1. Como se nombró en las conclusiones, es necesario que el ingeniero verifique y estudie los resultados DMA de un adhesivo nuevo y lo compare con el actual o con otros adhesivos que se han utilizado que no han dado buenos resultados; antes de incurrir en ensayos innecesarios.
2. Aunque las especificaciones del producto en la prueba de selle son dadas para la fuerza máxima en la gráfica de T-peel vs distancia, no es siempre lo deseable. Primero; puede que el resultado no se deba a una verdadera resistencia adhesiva, si no a que se puede presentar que por boquillas defectuosas o parámetros de procesamiento inestable, el adhesivo no disperse correctamente y genere gotas, casi invisibles, estos nudos o gotas dan más resistencia adhesiva en la unión, debido a la masa aplicada, pero solo se da en donde está el efecto y no en toda el área, por lo que puede generar resultados engañosos. Segundo. Que es un efecto del primero, solo se rige por un dato discreto de la gráfica de T-peel, por lo que la variación entre resultados es más alta y no es homogénea entre muestras. diferente por ejemplo para la carga media entre límites, esto se demostró cuando se realizó la prueba de Levene donde la significancia por poco se consideraba crítica, mientras para la carga media entre límites si existía homogeneidad en la variación. Tercero, el cual también está relacionado con las dos anteriores, la carga media da un resultado más equilibrado porque toma la media entre unos límites designados, por lo que es más robusta a picos encontrados en la gráfica. Por los anteriores se recomienda optar más por la carga media entre límites para designar una especificación para el producto, además por la homogeneidad de la varianza garantiza resultados más confiables para la experimentación ya que la ANOVA depende de esta condición.
3. Aunque se observaron resultados positivos para el efecto del rodillo tensor; al tensar las telas se ejercía más presión entre ellas favoreciendo la unión adhesiva; sin embargo éste sistema no es el más apropiado ya que puede generar que la tela se rasgue en puntos críticos por la tensión, además no existe una contraparte que ayude a ejercer presión. Por eso es requerido un rodillo pisador (excéntrica) sobre la unión, es decir entre rodillo y banda transportadora o mejor aun la presión entre dos rodillos. Además de lo anterior el contacto ejercido también depende del tiempo, por la viscoelasticidad del adhesivo, con que mejoraría la unión adhesiva si existe varios rodillos pisadores. Claro está que se tiene un límite deseado de presión y tiempo sobre todo por las características de los sustratos. Por ejemplo para sustratos porosos, tal vez no es lo mejor

pues si se ejerce demasiada presión puede que el adhesivo traspase la tela, y esto no es deseado.

4. Aunque la experimentación realizada en este proyecto cubrió variables importantes para la unión adhesiva, éste no es el fin del proyecto, se abre las puertas para analizar variables que no se pudieron revisar debido a limitaciones de tiempo y recursos, como por ejemplo la modificación de boquillas, la velocidad de máquina, distancia abierta de máquina, modificación de sustratos y adhesivos, aplicación cruzada (por ejemplo aumento de adhesivo en PE y disminución en PP, y viceversa). Además de lo anterior en el capítulo del análisis de la transferencia de calor durante el tiempo abierto, se propuso un método (ver figura 3.13) capaz de precalentar las telas antes de la unión adhesiva haciendo que el adhesivo se reblandezca, y mejore el mojado con la presión ejercida en la unión. Con lo anterior descrito, se puede desarrollar un problema más robusto hasta lograrse implementar incluso superficies de respuesta para adoptar un modelo matemático.

ANEXO A: Fichas técnicas de equipos de producción, sistemas de adhesivos y medición

Tabla A.1 Ficha técnica de la línea principal (SSP) [FAMILIA]

CARACTERISTICAS	
Línea principal	SSP "COMBO"
Origen	Italiana
Producción	TENA (incontinencia severa)
Presentaciones	BASIC and SLIP
Tallas	S, M y L
Velocidad de Producción	210 Prd/min @ longitud producto máx. 1000mm (Estándar 200 prd/min)
Dimensiones	39,5m largo x 7,0m alto x 10,2 m ancho
Core	2D y 3D
Opciones en producto	ADL, Elast Waist Band, 2 cores, Elastic Cuff and Leg. Back ears.

Tabla A.2 Equipos dosificadores de adhesivo. Tanque de aplicación TBS y TNT (Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES	
Marca	NORDSON
Origen	USA
Tanque	Versablue XN Series Melters
Reservorios	2
Capacidad reservorios	100 litros c/u
Tipo de sistema	Sistema parrilla-reservorio, bombas de engranajes, con variador de motor AC
Rango de temperatura	40° a 230° C
Control de temperatura	± 1°C
Número de bombas	8
Sistema eléctrico	200 to 240 VAC 3 phase 50/60 Hz 380 to 415 VAC-Y (3 phase N/PE) 50/60 Hz
Presión hidráulica máx.	85 bar/8.5 MPa (1230 psi)
Tasa de fundición (por hora)	150 kg
Dimensiones (mm)	1460 x 2015 x 2400
Peso tanque vacío (Kg)	1370
Potencia máx. (W)	89900

Tabla A.3 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TNT (Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES		Continuación...	
Manguera (1)		Modulo	
Tipo	Nordson TC-150-8-PT 100	Tipo	Control module DC-D5 adjustable stroke w.valve
Máxima temperatura (°C)	230	Cantidad	6
Máxima presión Hid (bar)	103	Presión de Aire Control	5 - 6 bar/72 - 87 psi
Longitud (m)	15		
Diámetro interno (mm)	8 mm	Boquilla	
Sensor de temperatura	RTD PT 100	Tipo	Slot (shimplate 2mm)
Potencia máx. (W)	1537	Ancho (mm)	A especificación
Cantidad	1	Cantidad	1
Bomba		Cordset Adhesivo	
Tipo	Nordson SN0773 (PR25m2)	Sensor de temperatura	RTD PT-100
Despla. Volumétrico (CC/rev)	7,73		
Aplicador			
Tipo	Nordson TrueCoat Slot		
Código	KTC-400-XP13BD1/XXXXHX		
Temp máx. (°C)	200		
Sensor de temperatura	RTD PT100		
Control	Electroneumático		
Eléctrico	230 VAC, 50/ 60 Hz, 1 phase		
Presión de Aire Control	5 - 6 bar/72 - 87 psi		
Max Cycle	4000/min.		
Voltaje de Control (V)	24		
Máx. ancho de aplicación (mm)	400		
Potencia max (W)	2800		
Tipo de calentamiento	Resistencia		

Tabla A.4 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS Centro (Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES		Continuación...	
Manguera (1)		Modulo	
Tipo	TC-183-8-PT 100	Tipo	UM50
Máxima temperatura (°C)	230	Cantidad	7
Máxima presión Hid (bar)	103	Ancho (mm)	25mm
Longitud (m)	18,3	P hidr. de trabajo	13,8 - 55,2 bar (200 - 800 psi)
Diámetro interno (mm)	8 mm	Máx. Presión Hidr.	89,6 Pa (1300 psi)
Sensor de temperatura	RTD PT 100	Max. Flujo hidr.	110 g/min @ 10000 cps, 7g/m² @ 300 m/min

Tabla A.4 (Continuación)

Especificación			
Bomba (1)		Boquilla	
Tipo	Nordson SN0773 (PR25m2)	Tipo	Signature 25mm Standard flow
Despla. Volumétrico (CC/rev)	7,73	Cantidad	Hasta 14
		Material	Stainless steel
Aplicador (1)			
		Distancia sustrato a boquilla (mm)	30 - 70
Tipo	Nordson Universal applicators	Tamaño fibra de adhesivo	50-100 microns
Configuración	UM50XE07-MXVCN	Viscosidad adhesivo recomendado	1000 - 3000 cps
Rango de temperatura (°C)	70° to 205° C	Consumo aire	0,50 - 0,75 scfm por boquilla
Sensor de temperatura	RTD PT100	Presión de proceso	0,3 - 1 bar (5 - 15psi)
Control	Electroneumático	Presión hidráulica trabajo	3.4 to 17 bar (50 to 250 psi) at nozzle
Presión de Aire Control	4.1 bar (60 psi) recommended	Anchura de aplicación	(6; 12,5; 18,8; 25)mm
Voltaje de Control (V)	24	flujo de adhesivo por boquilla	10 - 100 g/min
máx. ancho de aplicación (mm)	350		
Potencia max (W)	3300	Cordset de Aire caliente (2)	
Tipo de calentamiento	Resistencia	Tipo	Universal M-Style RTD PT100
		Potencia max (W)	800
Cordset de Adhesivo (2)			
		Tipo	Universal M-Style RTD PT100
Tipo	Universal M-Style RTD PT100	Potencia max (W)	400
Potencia max (W)	700		
Tipo	Universal M-Style RTD PT100		
Potencia max (W)	1400		

Tabla A.5 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS LADO MAQUINA (Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES		Continuación	
Manguera (1)		Modulo	
Tipo	TC-183-8-PT 100	Tipo	UM50
Máxima temperatura (°C)	230	Cantidad	4
Máxima presión Hid (bar)	103	Ancho (mm)	25mm
Longitud (m)	18,3	P hidr. de trabajo	13,8 - 55,2 bar (200 - 800 psi)
Diámetro interno (mm)	8 mm	Máx. Presión Hidr.	89,6 Pa (1300 psi)
Sensor de temperatura	RTD PT 100	Max. Flujo hidr.	110 g/min @ 10000 cps, 7g/m ² @ 300 m/min
Potencia max (W)	1875	Cycles	Hasta 2500 cycles/min

Tabla A.5 (Continuación)

Bomba (1)		Boquilla	
Tipo	Nordson SN0186 (PR12m1)	Tipo	Signature 25mm Standard flow
Despla. Volumétrico (CC/rev)	1,86	Cantidad	Hasta 8
		Material	Stainless steel
Aplicador (1)		Distancia sustrato a boquilla (mm)	30 - 70
Tipo	Nordson Universal applicators	Tamaño fibra de adhesivo	50-100 microns
Configuración	UM50XE04-M8VCN	Viscosidad adhesivo recomendado	1000 - 3000 cps
Rango de temperatura (°C)	70° to 205° C	Consumo aire	0,50 - 0,75 scfm por boquilla
Sensor de temperatura	RTD PT100	Presión de proceso	0,3 - 1 bar (5 - 15psi)
Control	Electroneumático	Presión hidráulica trabajo	3.4 to 17 bar (50 to 250 psi) at nozzle
Presión de Aire Control	4.1 bar (60 psi) recommended	Anchura de aplicación	(6; 12,5; 18,8; 25)mm
Voltaje de Control (V)	24	flujo de adhesivo por boquilla	10 - 100 g/min
max ancho de aplicación (mm)	200		
Potencia max (W)	2200	Cordset de Aire caliente (1)	
Tipo de calentamiento	Resistencia	Tipo	Universal M-Style RTD PT100
		Potencia max (W)	800
Cordset de Adhesivo (1)			
Tipo	Universal M-Style RTD PT100		
Potencia max (W)	700		
Sensor de temperatura	RTD PT100		

Tabla A.6 Equipos Dosificadores de adhesivo. Bomba, manguera, aplicadores para TBS lado operador (Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES		Continuación	
Manguera (1)		Modulo	
Tipo	TC-183-8-PT 100	Tipo	UM50
Máxima temperatura (°C)	230	Cantidad	4
Máxima presión Hid (bar)	103	Ancho (mm)	25mm
Longitud (m)	18,3	P hydr. de trabajo	13,8 - 55,2 bar (200 - 800 psi)
Diámetro interno (mm)	8 mm	Máx. Presión Hidr.	89,6 Pa (1300 psi)
Sensor de temperatura	RTD PT 100	Max. Flujo hydr.	110 g/min @ 10000 cps, 7g/m ² @ 300 m/min
Potencia máx. (W)	1875	Cyclos	Hasta 2500 cycles/min

Tabla A.6 (Continuación)

Bomba (1)		Boquilla	
Tipo	Nordson SN0186 (PR12m1)	Tipo	Signature 25mm Standard flow
Despla. Volumétrico (CC/rev)	1,86	Cantidad	Hasta 8
		Material	Stainless steel
Aplicador (1)		Distancia sustrato a boquilla (mm)	30 - 70
Tipo	Nordson Universal applicators	Tamaño fibra de adhesivo	50-100 microns
Configuración	UM50XE04-M8VCN	Viscosidad adhesivo recomendado	1000 - 3000 cps
Rango de temperatura (°C)	70° to 205° C	Consumo aire	0,50 - 0,75 scfm por boquilla
Sensor de temperatura	RTD PT100	Presión de proceso	0,3 - 1 bar (5 - 15psi)
Control	Electroneumático	Presión hidráulica trabajo	3.4 to 17 bar (50 to 250 psi) at nozzle
Presión de Aire Control	4.1 bar (60 psi) recommended	Anchura de aplicación	(6; 12,5; 18,8; 25)mm
Voltaje de Control (V)	24	flujo de adhesivo por boquilla	10 - 100 g/min
máx. ancho de aplicación (mm)	200		
Potencia máx. (W)	2200	Cordset de Aire caliente (1)	
Tipo de calentamiento	Resistencia	Tipo	Universal M-Style RTD PT100
		Potencia máx. (W)	800
Cordset de Adhesivo (1)			
Tipo	Universal M-Style RTD PT100		
Potencia máx. (W)	700		
Sensor de temperatura	RTD PT100		

Tabla A.7 Acometida neumática: aplicador para TBS centro, lado máquina y operador (Catálogo FESTO 2011 y Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES			
Presión primaria de línea (Cuarto de compresores)	6 bar		
Presión de Control			
Electroválvula de control*	Air-Open/Spring-Close Gun, 3-Way Solenoid Valve (NORDSON)	Regulador de flujo maquina parada (1)	
Tipo	EV 3/2 vías NC	Tipo	FESTO GR-QR-8
Conector	1/4 NPT, QD plug, LED light, MOV	Función	De estrangulación y antirretorno
Cv	1,5	Caudal nominal	225 l/min
Potencia (W)	5,4	Presión de funcionamiento	0,2 - 10 bar
Voltaje control	24VDC	Temperatura ambiente	de -10 a 60 °C
Regulador de presión (1)		Regulador de presión maquina operando (1)	
Tipo	Festo LFR-1/4-D-MINI	Tipo	FESTO LRP-1/4-2,5
Grado filtración	40 µm	Función	Presión inicial con escape secundario
Construcción	Filtro regulador con manómetro	Presión de funcionamiento	1- 12 bar
Cantidad máx condensado	22 cm³	Regulación de presión	0,05 - 2,5 bar
Presión de funcionamiento	1 - 16 bar	Caudal nominal	1800 l/min
Margen de reg de presión	0,5 - 12 bar	Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar, grado de filtración 40 µm
Temperatura medio	de - 10 a 60°C	Temperatura ambiente	de -10 a 60 °C
Caudal nominal	1400 l/min	Material	Aluminio
Presión de Proceso			
Electroválvula de proceso (1)			
Tipo	FESTO MFH-3-1/4		
Función	3/2 cerrada monoestable		
Caudal nominal	800 l/min		
Presión funcionamiento	1,5 - 8 bar		
Protección	IP65		
Control	prepilotoado		
Temperatura medio	de - 10 a 60°C		
Potencia (W)	4,5		
Voltaje control	12, 24, 42, 48 V		

* 2 EV para TBS centro y 1 EV para cada TBS lateral.

Tabla A.8 Acometida neumática para el aplicador de TNT (Catálogo Festo 2011 y Nordson Corporation)

ESPECIFICACIONES	
Presión primaria de línea (Cuarto de compresores)	6 bar
Presión de Control	
Electroválvula de control	Air-Open/Spring-Close Gun, 3-Way Solenoid Valve (NORDSON)
Tipo	EV 3/2 vías NC
Potencia (W)	2,5
Voltaje control	24VDC
Potencia (W)	5,4
Cantidad instalada en aplic.	6
Regulador de presión	
Tipo	Festo LFR-1/4-D-MINI
Grado filtración	40 µm
Construcción	Filtro regulador con manómetro
Cantidad máx. condensado	22 cm³
Presión de funcionamiento	1 - 16 bar
Margen de reg. de presión	0,5 - 12 bar
Temperatura medio	de - 10 a 60°C
Caudal nominal	1400 l/min
Cantidad	1
Manómetro de precisión	
Tipo	MAP-40-4-1/8-EN
Margen de escala (bar)	0 - 4
Temperatura de medio	de -20 a 60°C
Cantidad	1

Tabla A.9 Tensiómetro INSTRON

ESPECIFICACIONES	
Marca	INSTRON 4411
Capacidad de carga	5 KN (1000 lb)
Velocidad de cruceta	0,5 a 500 mm/min
Precisión de velocidad (sin carga)	± 0,2%
Velocidad de retorno	600 mm/min
Precisión en la carga	± 0,5% a 1/50 de capacidad
Precisión del extensómetro	± 0,5% de la lectura a 1/50 de escala completa con la norma ASTM E83 o ISO 9513 clase 0,5 de extensómetro
Precisión en la posición	± 0,1mm o ± 0,15% de desplazamiento ± 1de lectura en cuenta del <i>display</i>
Repetitividad en la posición	± 0,05mm
<i>Encoder Resolución</i>	70 µm
Voltaje de alimentación	100, 120, 220 o 240 VAC <i>single phase</i>
Frecuencia	47 - 63 Hz
Max potencia	menos de 300 VA
Rango de temperatura en operación	10 a 38 °C
Humedad relativa rango	10 - 90% (no condensación)
Celda de carga	2525-807
Máxima carga	100 N

Fuente. WEB Instron "la diferencia se puede medir"

Tabla A.10 Cámara termográfica FLUKE Ti25 (FLUKE www.fluke.com)

ESPECIFICACIONES	
Tipo	FLUKE Ti25
Campo de visión (IFOV)	23 °horizontal x 17°Vertical
Distancia focal mínima	15 cm
Sensibilidad térmica (NETD)	≤ 0.1 °C a 30 °C (100 mK)
Escala mínima (auto/manual)	5 °C/2.5 °C
Enfoque	Manual
Tamaño del detector	160 x 120
Cámara (luz visible) y resolución	640 x 480 pixeles a todo color
Rango de temperatura	de -20 °C a 350°C
Precisión	± 2 °C o 2% (la mayor de ambas)
Modos de calor	Punto central y marcadores de frío y de calor
Corrección de emisividad en pantalla	Sí

Tabla A.10 (Continuación)

Frecuencia de imagen	Velocidad de actualización de 9 Hz
Banda espectral infrarroja	7,5 μm a 14 μm
Tipo de detector	Matriz de plano focal de 160 x 120 con microbolómetro no refrigerado
Banda espectral infrarroja	7,5 μm a 14 μm
Nivel y escala	Ajuste automático y manual del nivel y rango
Temperatura De funcionamiento:	-10 °C a 50 °C (14 °F a 122 °F)
Humedad relativa	10 a 90% sin condensación

Tabla A.11 Reómetro (Flow performance) Bohlin Gemini (Malvern Instruments www.malvern.com/)

ESPECIFICACIONES	
REOMETRO	Bohlin Gemini
Tipo	Gemini II 200
Rango de torque	0,05 μNm a 200 mNm en control de esfuerzo y razón de viscosidad 0,05 μNm a 200 mNm en control de esfuerzo y deformación oscilante
Resolución en el torque	superior a 1 nNm
Resolución en la posición	50 nrad
Rango de frecuencia	1 μHz to 150Hz
Rango en control de velocidad	0.01mrad s-1 to 600rad s-1
Rango en medición de velocidad	10nrad s-1 to 600rad s-1
Rango de medición de la fuerza normal N1	0.001N to 20N (50N optional)
Cambio al paso en la deformación	<10ms
Rango de temperatura (dependiendo del controlador)	de -150°C a 550°C
Voltaje nominal de operación	110V or 220V
Tamaño (con el plato Peltier)	52cm (H) x 33cm (W) x 37cm (D)
Peso (con el plato Peltier)	28Kg

Tabla A.12 Viscosímetro rotacional Brookfield con thermosel (Brookfield Engineering <http://www.brookfieldengineering.com>)

ESPECIFICACIONES	
Marca	Brookfield engineering
Tipo	DV-II+ Pro
Voltaje de alimentación	115 VAC or 230 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Consumo (W)	30VA
Velocidades	
Independiente	
Entrecruzado	LV/RV (18 speeds)
Secuencial	LV/RV (18 speeds)
Elegible	54 speeds, user selectable
Control externo (PC)	.01 - 200 rpm 0.01 rpm increments from 0.01 to 0.99 rpm 0.1 rpm increments from 1.0 to 200 rpm
Peso neto	9 Kg
Rango de senso de temperatura	-100°C to 300°C (-148°F to 572°F)
Análogo torque salida	0 - 1 Volt DC (0 - 100% Torque)
Análogo Temperatura salida	0 - 3.75 Volts DC (-100°C to +275°C)
Precisión de viscosidad	±1.0% of full scale range
Repetibilidad de viscosidad	±0.2
Precisión en temperatura	±1°C -100°C to +149°C ±2°C +150°C to +300°C
Condiciones ambientales	0°C to 40°C temperature range (32°F to 104°F); 20% - 80%R.H.: sin condensar
Thermosel (célula calefactora)	
Voltaje de alimentación	115 VAC or 230 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Corriente nominal	15 A
Condiciones ambientales	0°C to 40°C temperature range (32°F to 104°F); 20% - 80%R.H.: sin condensar
Control de temperatura y Precisión	40°C to +150°C ±1.0°C 150 to to +300°C ±2.0°C
Modelo Brookfield DVII+Pro	
Rango de viscosidad	
RVDV-II+P	100cps a 40McP
Cantidad de Spindle	6

Tabla A.13 Tacómetro Digital DT-205L (Shimpo Instruments <http://www.shimpoinst.com/manuals.php>)

ESPECIFICACIONES	
Marca	Shimpo Instruments
Modelo	DT-205L
Rango	6 a 99999 rpm
Precisión	± 1 rpm: 6 to 8,300 rpm
	± 2 rpm: 8300 to 25000 rpm
	± 0,006% de lectura ± digit(o ± 6 rpm max): 25000 a 99999
Display	5 dígitos 0,47" (12mm) alto LCD
Unidades de medición	RPM; para YPM, mPm, FPM, IPM y longitud: YRD, m, FT, y in, usar polea de 6" con adaptador de 200L
distancia de medición	14' (4,2 m) máximo
Detector	Laser Diodo
Sistema de control	Single chip C-MOS microprocesador
Indicador de rango	<i>Flashing numerals</i>
Actualización	1 segundo (normal)
Temperatura de operación	0 a 45 °C
Construcción	Aluminio fundido
Peso	365 g
Velocidad (rango y precisión) (m/min)	0,11 - 999,99 (± 0,06%) Resolución 0,01
	1000 -3810 (±0,3%) Resolución 0,1

ANEXO B: Fichas técnicas de las materias primas

Tabla B.1 TNT (Topsheet), (tela no tejida de cubierta) Hidrofílica & Hidrofóbica (Familia)

ESPECIFICACIONES		
Marca	PGI COLOMBIA (BONLAM ANDINA)	
Tipo	Tela no tejida de cubierta (<i>topsheet</i>)	
Tecnología	Spunbond Spunbond (SS)	
Material	100 % fibras de polipropileno	
Tipo de surfactado	Parcial (franjas fílicas y fóbicas)	
Color	Blanco	
	Standard	Rango
Peso Base (g/m²)	14	12,6 - 15,4
Resistencia a la tensión		
Longitudinal (N/50mm)	32	25 mínimo
Transversal (N/50mm)	18	13 mínimo
Elongación a la ruptura		
Longitudinal (%)	75	47 mínimo
Transversal (%)	80	50 mínimo
Ancho surfactado (mm)	125	120-130
Ancho de tela (mm)	210	±3
Diámetro externo del rollo (mm)	740	710-750

Tabla B.2 TNT (tela no tejida de barreras) Hidrofóbica (Familia)

ESPECIFICACIONES		
Marca	PGI COLOMBIA (BONLAM ANDINA)	
Tipo	Tela no tejida de barrera	
Tecnología	Spunbond Meltblow Spunbond (SMS)	
Material	100 % fibras de polipropileno	
Tipo de surfactado	FOBICO	
Color	Blanco	
	Standard	Rango
Peso Base (g/m²)	13	12,0 - 16,0
Resistencia a la tensión		
Longitudinal (N/50mm)	26	20 mínimo
Transversal (N/50mm)	13	10 mínimo
Elongación a la ruptura		
Longitudinal (%)	60	40 mínimo
Transversal (%)	65	45 mínimo
Ancho de tela (mm)	210	±3
Diámetro externo del rollo (mm)	730	710-750

Tabla B.3 TBS (Textil Backsheet), Hidrofóbica (Familia)

ESPECIFICACIONES		
Marca	Familia Sancela del Pacifico	
Tipo	Laminado TBS 25g/m2 E.R 645mm	
Tecnología	Película de polietileno co-extruido	
Material	Polietileno 100%	
Tipo de surfactado	FOBICO	
Color	Blanco	
	Standard	Rango
Peso Base (g/m ²)	25	23,0-27,0
Tratamiento corona (externo) (dynas/cm)	38	37-39
Resistencia a la tensión		
Longitudinal (N/25mm)	19	16 mínimo
Transversal (N/25mm)	14,5	11,5 mínimo
Elongación a la ruptura		
Longitudinal (%)	550	250 - 850
Transversal (%)	1100	900- 1300
Coefficiente de fricción		
Lado hembra (interno)	0,7	0,5-0,9
Lado macho (externo)	0,5	0,3-0,8
Brillo 45° (%)	5,5	5,0 - 6,0
Opacidad (%)	10	5 a 15
Ancho de tela (mm)	645	±2
Diámetro externo del rollo (mm)	500	480 - 520

Tabla B.4 Adhesivo Hot Melt PSA (HB FULLER)

ESPECIFICACIONES	
Fabricante	HB FULLER Colombia Ltda.
Producto	NW1094ZP
Descripción	Adhesivo Hot Melt sensible a la presión basado en polímeros sintéticos de alta calidad. Mezcla de copolímeros en bloque del tipo SBS
Color	3 - 5
Viscosidad (Cps)	2100 - 3100
Spindle/velocidad/Temperatura	27 - 50 - 150°C
Gravedad específica	0,97
Composición química:	Polímero: Estireno - Butadieno - Estireno (SBS) + Estireno - Isopreno- Estireno (SIS).
	Resina: Mezcla de Rosin Ester + Hidrocarbonados
	Antioxidantes: - Sin información -
	Aceites: Aceites minerales

Tabla B.4 (Continuación)

Antioxidantes: - Sin información	
Aceites: Aceites minerales	
Rango de aplicación (temperatura)	120°C - 180°C
Temperatura recomendada	145 °C
Método de aplicación	Espiral, Spray, Summit, Omega, Slot
Tiempo de almacenamiento	12 meses
Uso	Adhesivo Hot melt sensible a la presión, diseñado para ser utilizado en construcción de pañales desechables y toallas sanitarias. Excelente fuerza de adhesión (altos valores de Peel) y baja viscosidad, no presenta color residual

ANEXO C: Resultados de pruebas y mediciones

Tabla C.1 Velocidad lineal de las bandas transportadoras de las telas TBS y TNT

Velocidad lineal de las bandas tomadas con el tacómetro DT-205L con rueda de 6"		
Dato	Velocidad de banda de TBS (m/min)	Velocidad de banda de TNT (m/min)
1	198,09	199,46
2	198,55	199,82
3	198,06	199,78
Media	198,23	199,69
S^2	0,27	0,20
Máximo	198,55	199,82
Mínimo	198,06	199,46

Tabla C.2 Resultados históricos de la resistencia al sellado de extremos año 2012¹

FECHA	PRESENTACION	FRONTAL	POSTERIOR	FECHA	PRESENTACION	FRONTAL	POSTERIOR
11-Ene	SLIP L	3,22	6,26	09-Feb	SLIP L	3,54	3,92
11-Ene	SLIP L	2,75	3,31	09-Feb	SLIP L	3,10	4,18
11-Ene	SLIP L	2,69	3,48	09-Feb	SLIP L	3,80	4,54
11-Ene	SLIP L	2,97	3,47	11-Feb	SLIP L	2,20	2,72
11-Ene	SLIP L	2,76	4,99	11-Feb	SLIP L	2,22	3,09
11-Ene	SLIP L	3,54	5,19	11-Feb	SLIP L	3,83	2,27
11-Ene	SLIP L	2,84	4,59	13-Feb	SLIP L	3,18	3,90
11-Ene	SLIP L	2,97	3,34	13-Feb	SLIP L	3,14	3,39
11-Ene	SLIP L	2,89	3,21	13-Feb	SLIP L	2,94	4,13
11-Ene	SLIP L	3,47	5,49	19-feb	SLIP M	2,08	2,17
11-Ene	SLIP L	3,93	4,12	19-feb	SLIP M	2,73	2,82
11-Ene	SLIP L	4,14	4,26	19-feb	SLIP M	3,29	4,40
11-Ene	SLIP L	3,86	3,46	22-feb	SLIP M	3,34	3,95
11-Ene	SLIP L	3,54	3,38	22-feb	SLIP M	3,70	3,65
11-Ene	SLIP L	2,79	3,83	22-feb	SLIP M	3,56	3,83
11-Ene	SLIP L	3,22	5,14	22-feb	SLIP M	3,35	5,76
11-Ene	SLIP L	4,78	4,84	22-feb	SLIP M	3,97	4,35
11-Ene	SLIP L	3,51	4,12	22-feb	SLIP M	3,32	2,91
11-Ene	SLIP L	3,39	5,21	22-feb	SLIP M	3,65	3,92
11-Ene	SLIP L	4,48	3,39	22-feb	SLIP M	2,78	3,71
05-Feb	SLIP L	4,30	6,65	22-feb	SLIP M	3,01	4,78
05-Feb	SLIP L	2,89	4,45	08-Mar	SLIP L	4,99	3,51
05-Feb	SLIP L	2,18	3,75	08-Mar	SLIP L	2,55	2,47
05-Feb	SLIP L	5,26	2,52	08-Mar	SLIP L	2,90	3,28
05-Feb	SLIP L	4,39	3,19	08-Mar	SLIP L	2,67	3,10
05-Feb	SLIP L	3,49	5,15	08-Mar	SLIP L	3,33	3,64

Descriptivo	Frontal	Posterior
Tamaño de muestra	52	52
Media	3,33	3,95
D.E	0,69	0,98
C.V	20,82	24,72
Máximo	5,26	6,65
Mínimo	2,08	2,17
Media + 2.00 D.E	4,72	5,90
Media - 2.00 D.E	1,95	1,99

¹ Datos recogidos de SAP R/3 FAMILIA, y Ensayo E-005-12

Figura C.1 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado Frontal en condiciones estándar

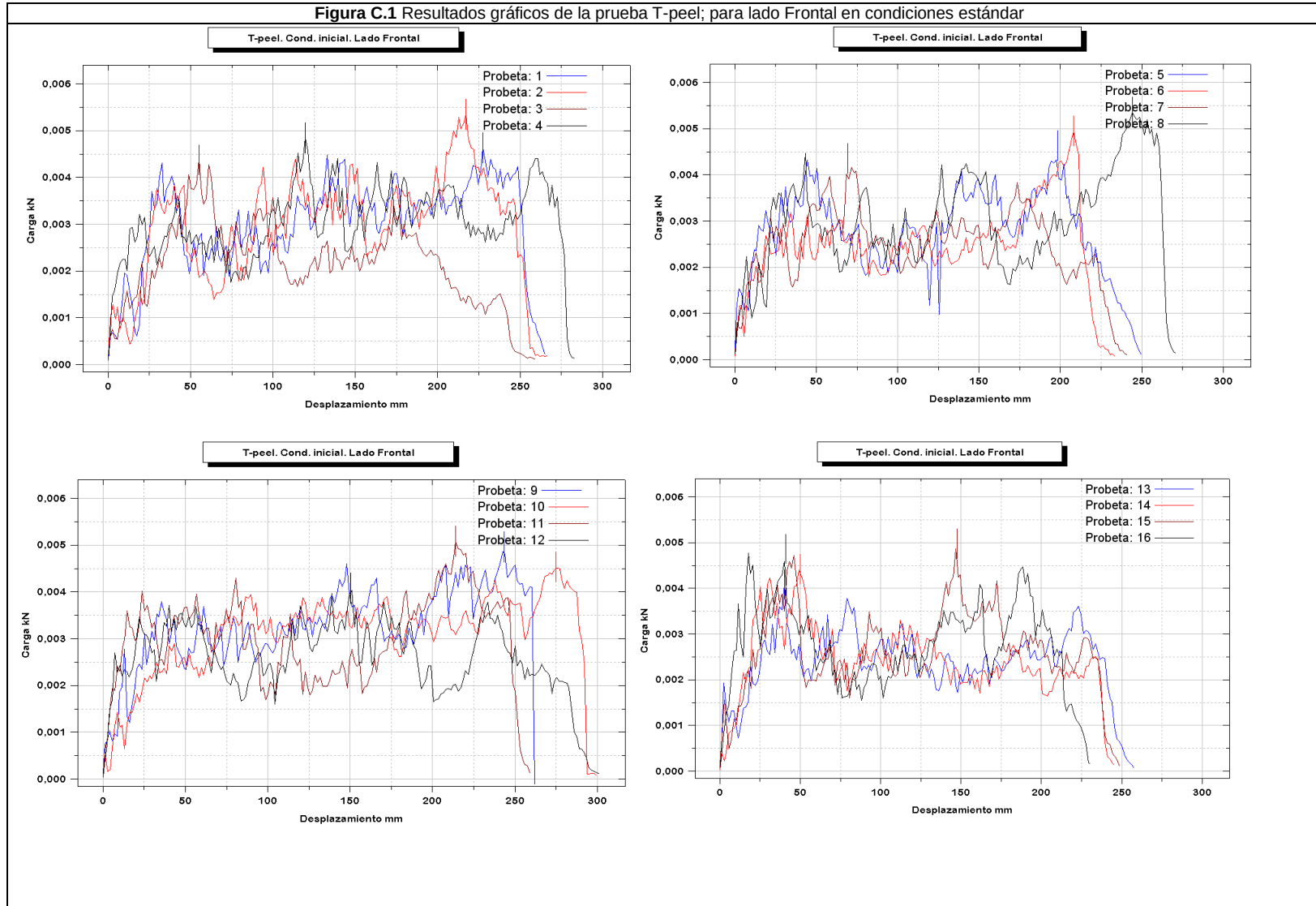


Figura C. 2 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado Frontal en condiciones estándar

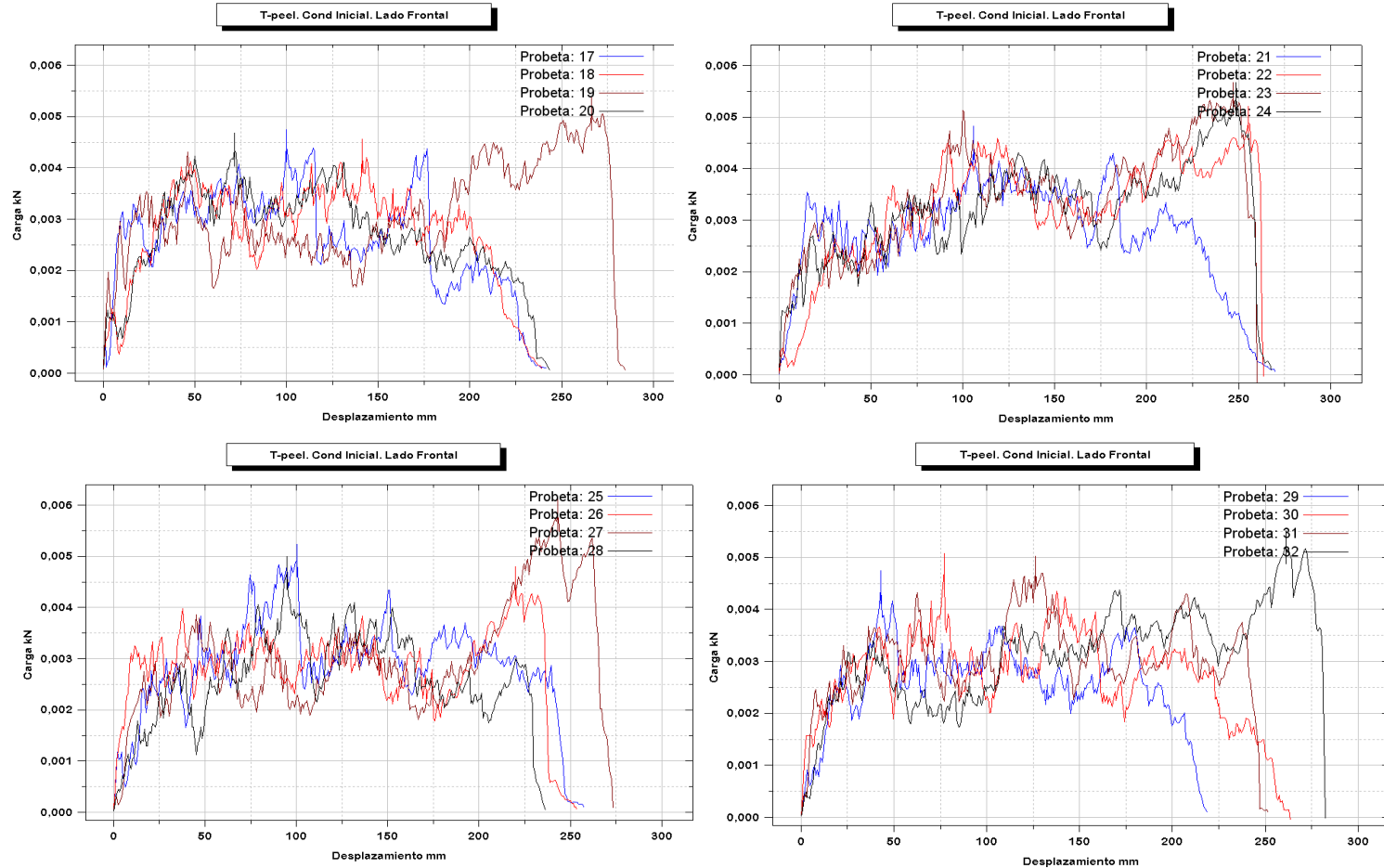


Figura C.3 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado Posterior en condiciones estándar



Figura C.4 Resultados gráficos de la prueba T-peel; para lado posterior en condiciones estándar

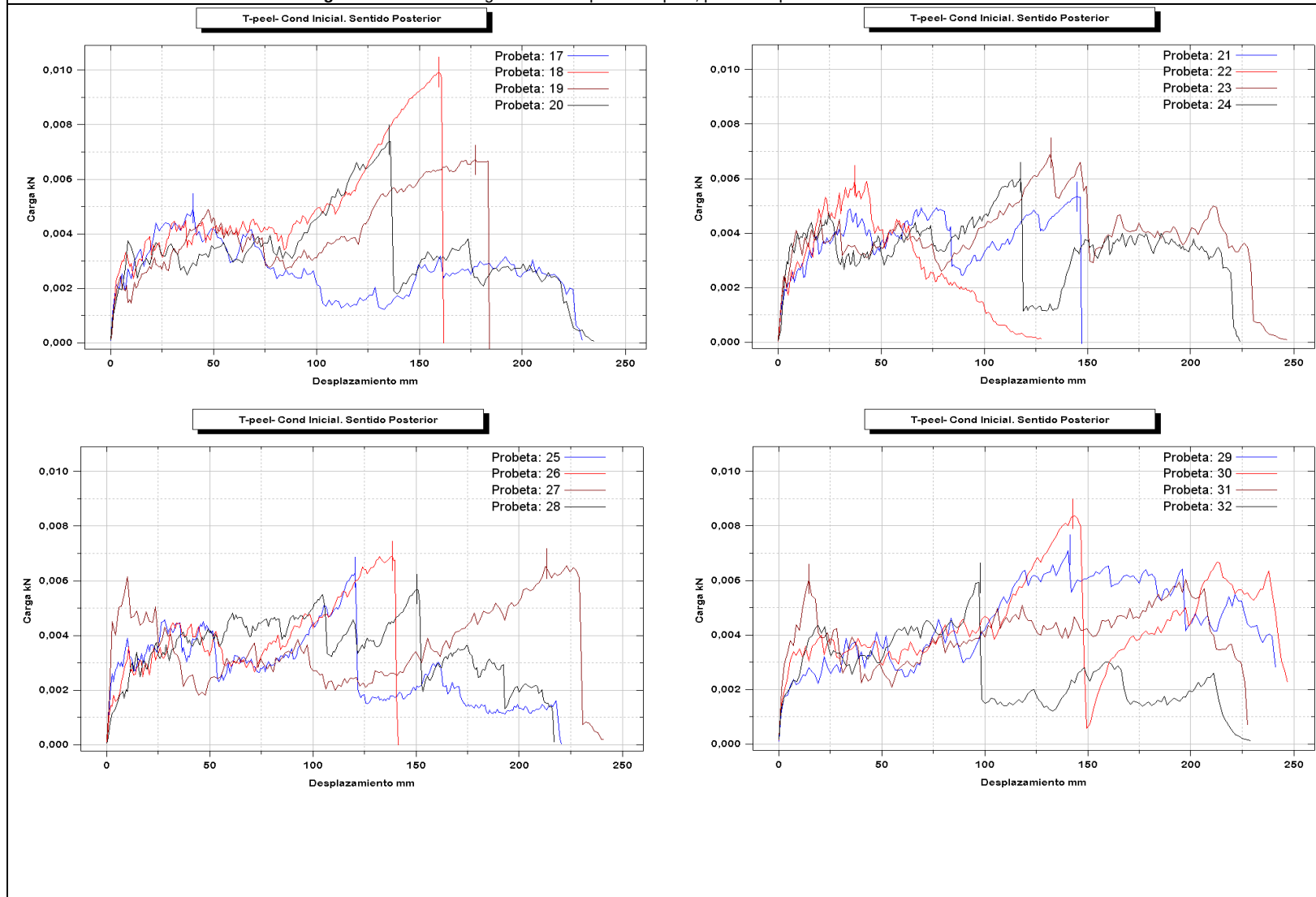


Figura C.5 Gráfico de Curva reológica de barrido de temperatura para el adhesivo NW-1094ZP (original del software Malvern)

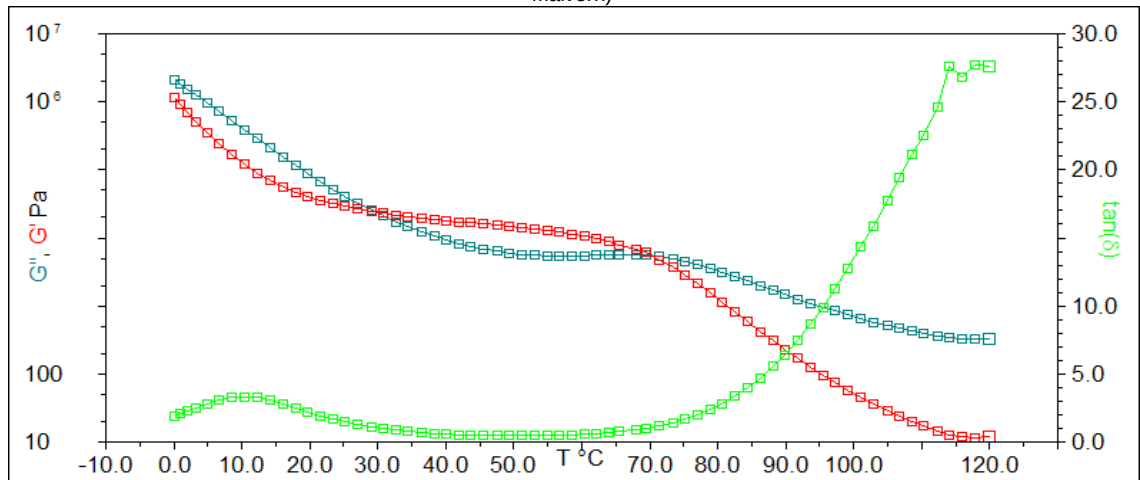


Figura C.6 Gráfico de Curva reológica de barrido de frecuencia para el adhesivo NW-1094ZP (original del software Malvern)

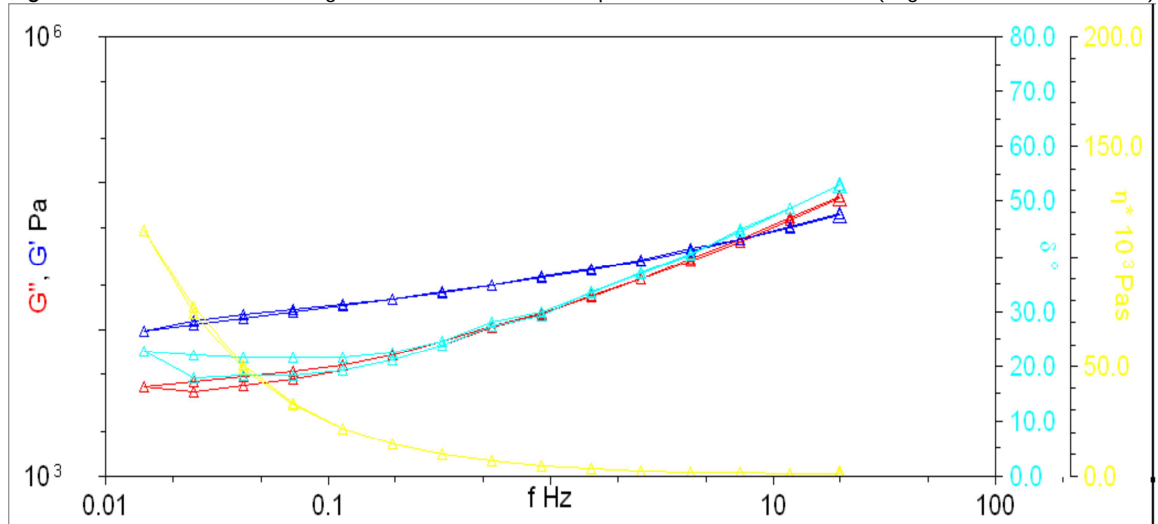


Tabla C.3 Resultados de la prueba DMA con barrido de frecuencias, datos en tabla. (Original del software Malvern)

NW-1094 lote 7220503442								
Time s	Temperature °C	Frequency Hz	Shear Stress Pa	Strain	Phase Angle °	Viscous Modulus Pa	Elastic Modulus Pa	Complex Modulus Pa
3,009	40,1	20	4400	0,05155	52,7	7,81E+04	5,95E+04	9,82E+04
4,085	40	11,96	3403	0,04979	48,53	5,54E+04	4,90E+04	7,40E+04
5,225	40	7,155	2631	0,04818	44,41	3,98E+04	4,06E+04	5,69E+04
7,302	40	4,28	2194	0,04954	40,5	2,93E+04	3,43E+04	4,52E+04
9,548	40	2,56	1798	0,04931	36,93	2,21E+04	2,94E+04	3,68E+04
11,63	40	1,531	1487	0,04905	33,2	1,67E+04	2,55E+04	3,04E+04
14,4	39,9	0,9157	1277	0,0495	29,73	1,28E+04	2,24E+04	2,58E+04
18,39	39,9	0,5477	1131	0,05	27,89	1,06E+04	2,00E+04	2,26E+04
24,86	39,9	0,3276	960	0,04839	24,4	8198	1,81E+04	1,98E+04
35,35	40	0,196	861,2	0,04927	22,37	6654	1,62E+04	1,75E+04
52,72	40,1	0,1172	791,4	0,05082	21,47	5701	1,45E+04	1,56E+04
81,64	40	0,0701	731,7	0,05183	21,35	5139	1,32E+04	1,41E+04
129,7	39,9	0,04193	670,8	0,05238	21,49	4692	1,19E+04	1,28E+04
209,9	40	0,02508	609,6	0,05245	21,93	4340	1,08E+04	1,16E+04
343,6	39,9	0,015	551,9	0,05239	22,55	4039	9729	1,05E+04
423,7	40,1	0,02508	574,3	0,04761	17,75	3677	1,15E+04	1,21E+04
471,8	40,1	0,04193	634,1	0,04814	18,11	4094	1,25E+04	1,32E+04
500,6	40	0,0701	701,8	0,04886	18,31	4512	1,36E+04	1,44E+04
518	40	0,1172	778,9	0,04948	19,19	5174	1,49E+04	1,57E+04
528,5	40	0,196	873,1	0,05049	20,91	6173	1,62E+04	1,73E+04
534,9	40,1	0,3276	995,3	0,05151	23,8	7799	1,77E+04	1,93E+04
538,9	40,1	0,5477	1152	0,05151	27,34	1,03E+04	1,99E+04	2,24E+04
541,4	40	0,9157	1305	0,05014	28,99	1,26E+04	2,28E+04	2,61E+04
543,4	40	1,531	1566	0,05091	33,53	1,71E+04	2,57E+04	3,09E+04
545,5	40	2,56	1855	0,0504	36,76	2,22E+04	2,98E+04	3,71E+04
546,6	40	4,28	2398	0,05241	40,2	3,01E+04	3,56E+04	4,66E+04
548,8	39,9	7,155	2835	0,05056	44,92	4,12E+04	4,13E+04	5,83E+04
550	39,9	11,96	3666	0,05193	48,61	5,72E+04	5,04E+04	7,62E+04
552,1	39,9	20	4404	0,05017	52,73	8,01E+04	6,10E+04	1,01E+05

Tabla C.4 Resumen de estadísticos descriptivos del resultado de la experimentación (software SPSS)

Estadísticos descriptivos						
	Temperatura	Rodillo	Adhesivo	Media	Desviación típica	N
Fuerza Máxima	155 °C	ángulo 57°	4,50 g/m^2	3,9461	,41335	8
			5,65 g/m^2	4,8924	,24353	8
			Total	4,4192	,58837	16
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	3,5096	,29994	8
			5,65 g/m^2	4,3538	,49241	8
			Total	3,9317	,58749	16
		Total	4,50 g/m^2	3,7279	,41536	16
			5,65 g/m^2	4,6231	,46711	16
			Total	4,1755	,62917	32
	175°C	ángulo 57°	4,50 g/m^2	4,0430	,21448	8
			5,65 g/m^2	6,1268	,39826	8
			Total	5,0849	1,11953	16
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	3,8625	,18941	8
			5,65 g/m^2	4,6650	,37336	8
			Total	4,2638	,50352	16
		Total	4,50 g/m^2	3,9528	,21656	16
			5,65 g/m^2	5,3959	,84194	16
			Total	4,6743	,95034	32
	Total	ángulo 57°	4,50 g/m^2	3,9946	,32203	16
			5,65 g/m^2	5,5096	,71275	16
			Total	4,7521	,94250	32
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	3,6861	,30320	16
			5,65 g/m^2	4,5094	,45170	16
			Total	4,0977	,56404	32
		Total	4,50 g/m^2	3,8403	,34529	32
			5,65 g/m^2	5,0095	,77634	32
			Total	4,4249	,83809	64
Carga Media entre límites	155 °C	ángulo 57°	4,50 g/m^2	2,38463	,159577	8
			5,65 g/m^2	3,10650	,167074	8
			Total	2,74556	,404810	16
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	2,16688	,185051	8
			5,65 g/m^2	2,62413	,169591	8
			Total	2,39550	,291815	16
		Total	4,50 g/m^2	2,27575	,201266	16
			5,65 g/m^2	2,86531	,297486	16
			Total	2,57053	,390027	32
	175°C	ángulo 57°	4,50 g/m^2	2,44688	,140483	8
			5,65 g/m^2	3,68125	,233022	8
			Total	3,06406	,663976	16
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	2,19875	,174347	8
			5,65 g/m^2	2,95413	,198866	8
			Total	2,57644	,429882	16
		Total	4,50 g/m^2	2,32281	,199531	16
			5,65 g/m^2	3,31769	,429866	16
			Total	2,82025	,603409	32
	Total	ángulo 57°	4,50 g/m^2	2,41575	,148751	16
			5,65 g/m^2	3,39388	,355607	16
			Total	2,90481	,564617	32
		ángulo 64°	4,50 g/m^2	2,18281	,174461	16
			5,65 g/m^2	2,78913	,246814	16
			Total	2,48597	,372923	32
		Total	4,50 g/m^2	2,29928	,198586	32
			5,65 g/m^2	3,09150	,430168	32
			Total	2,69539	,519473	64

Figura C.7 Resultados gráficos de la prueba T-peel para la curva de curado. 1 ra parte. Lado frontal

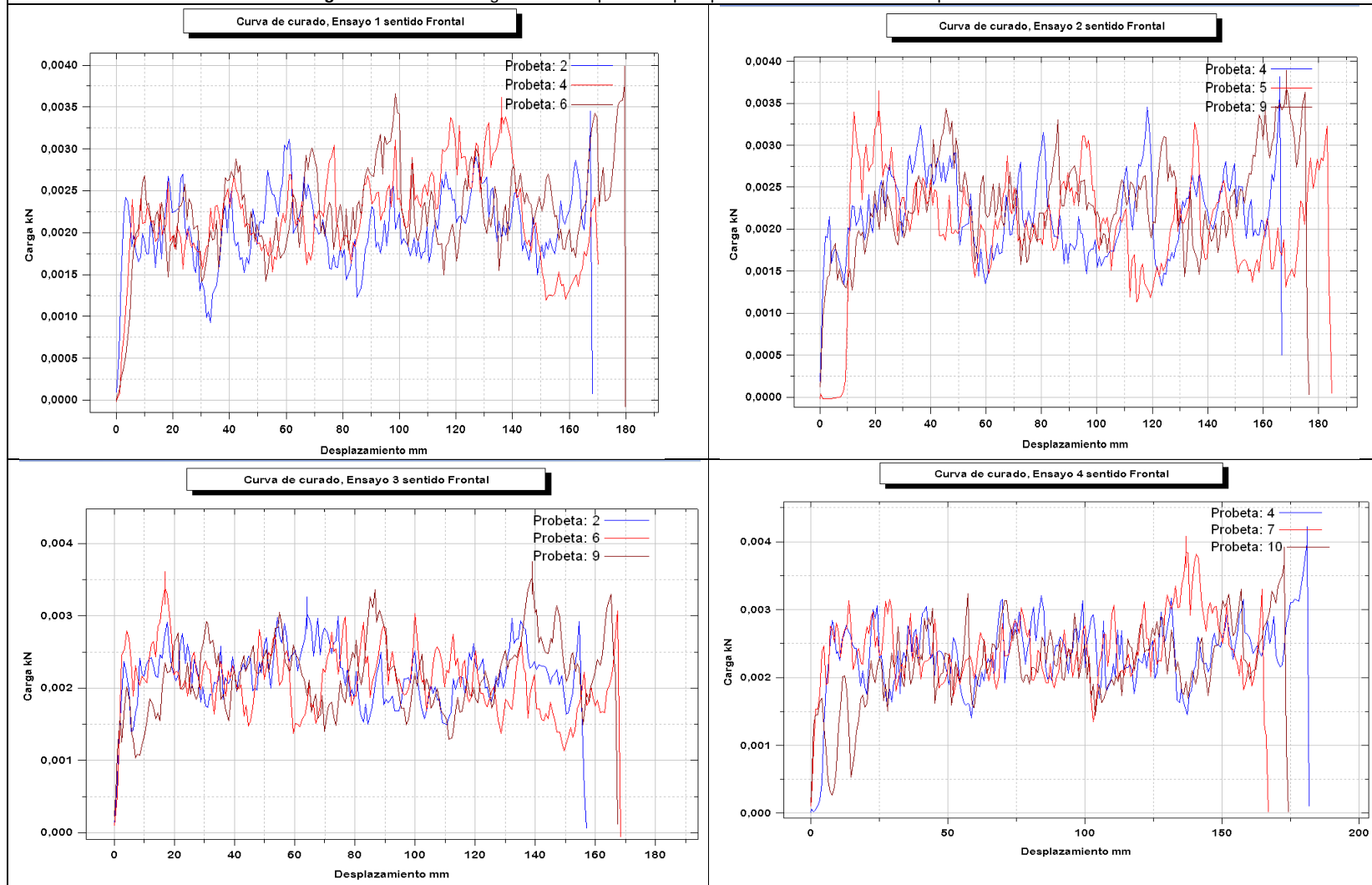


Figura C.8 Resultados gráficos de la prueba T-peel para la curva de curado. 2 da parte. Lado frontal

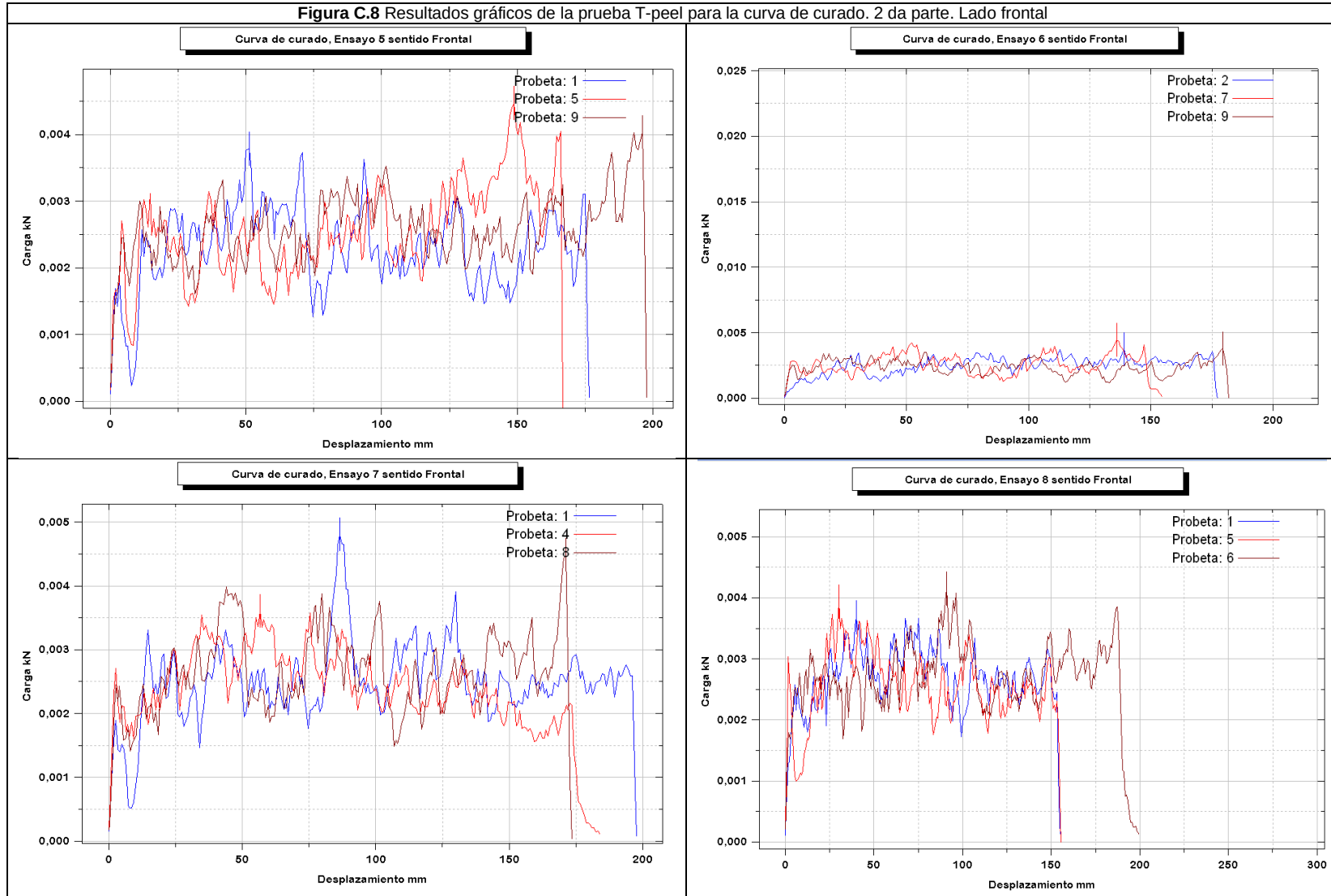


Figura C. 9 Resultados gráficos de la prueba T-peel para la curva de curado. 1 ra parte. Lado posterior

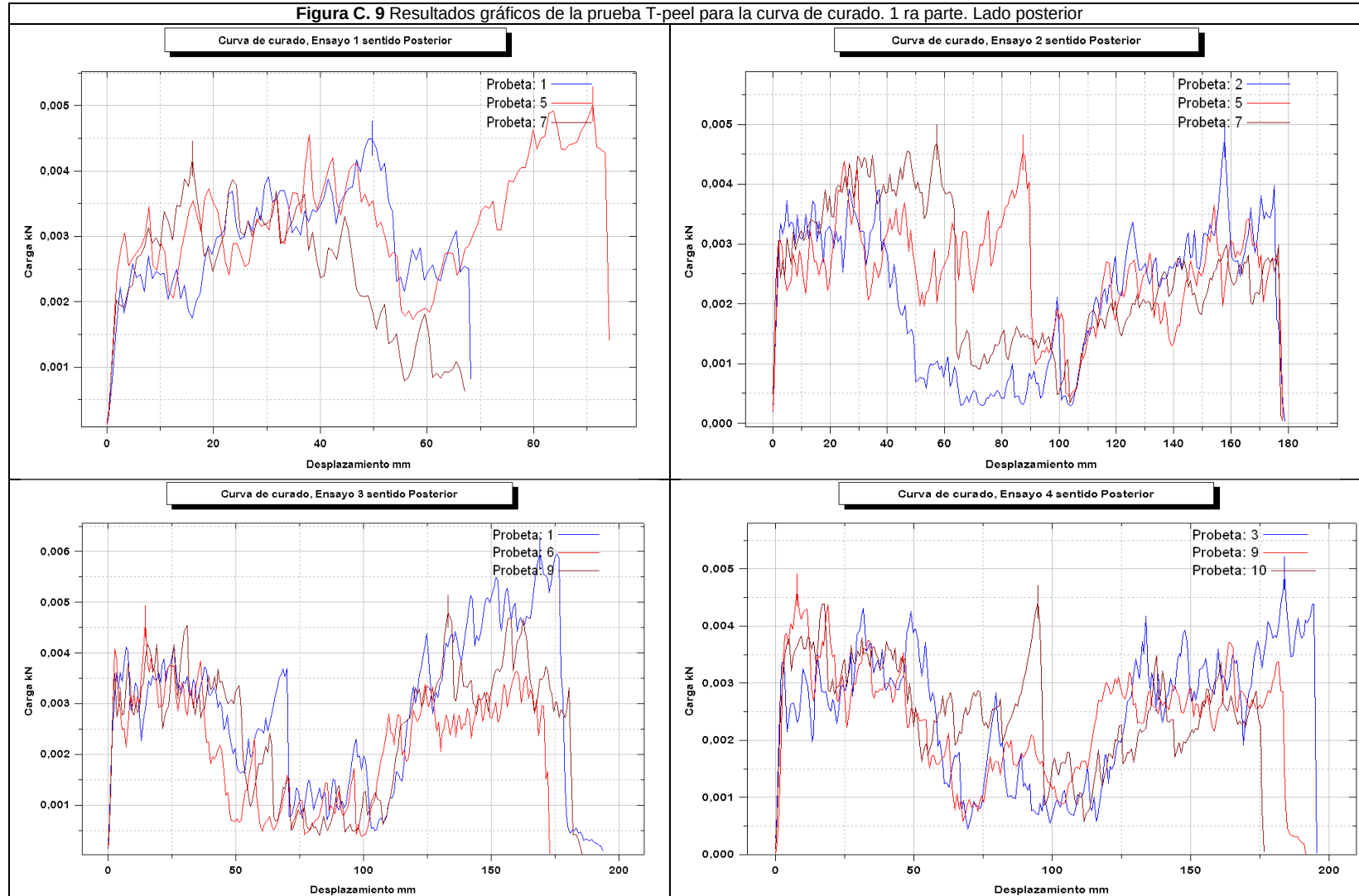


Figura C. 10 Resultados gráficos de la prueba T-peel para la curva de curado. 1 da parte. Lado posterior

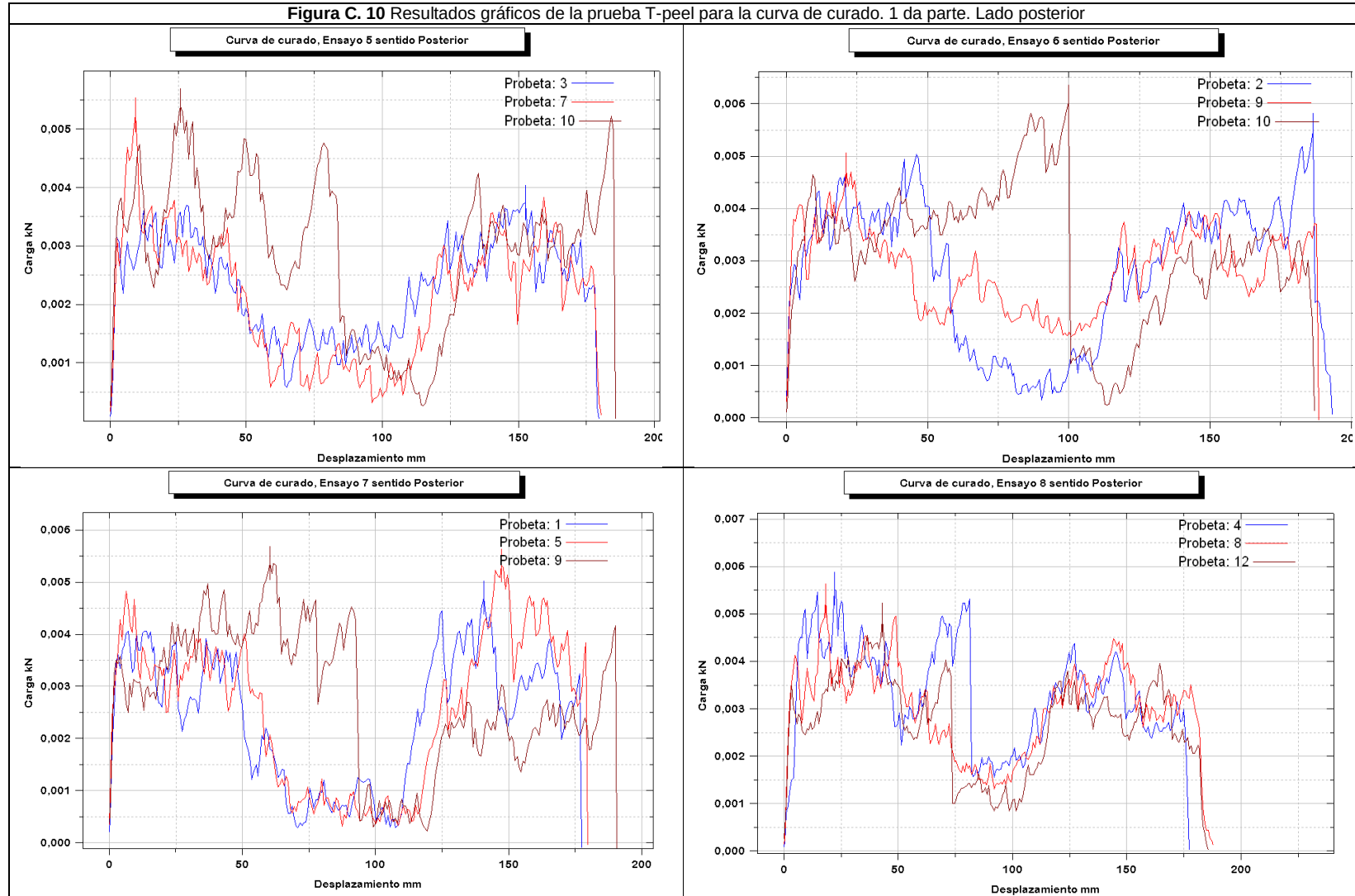


Figura C. 11 Resultados gráficos de la prueba T-peel del diseño experimental. Lado frontal. 1ra parte

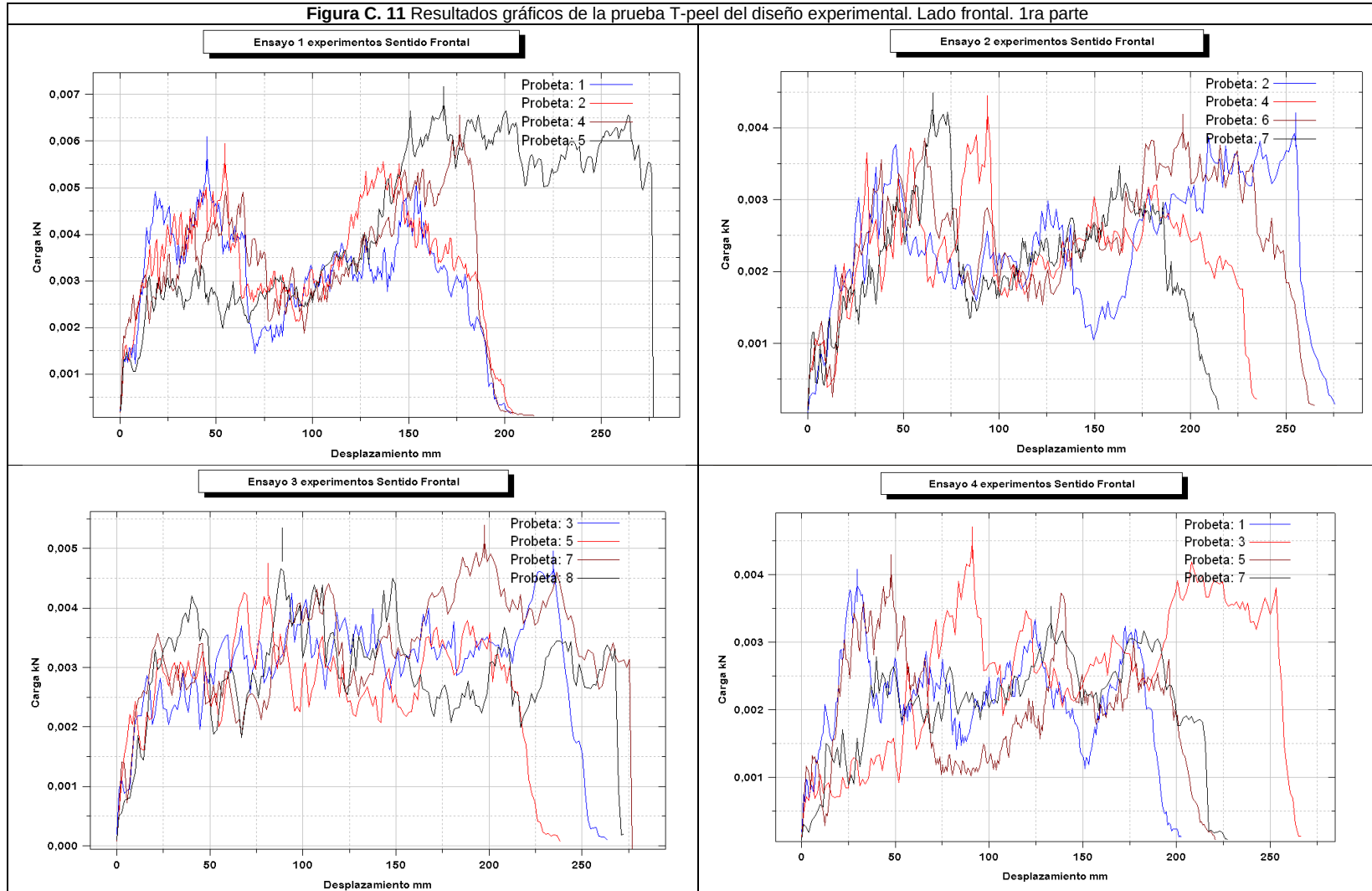


Figura C.12 Resultados gráficos de la prueba T-peel del diseño experimental. Lado frontal. 2da parte

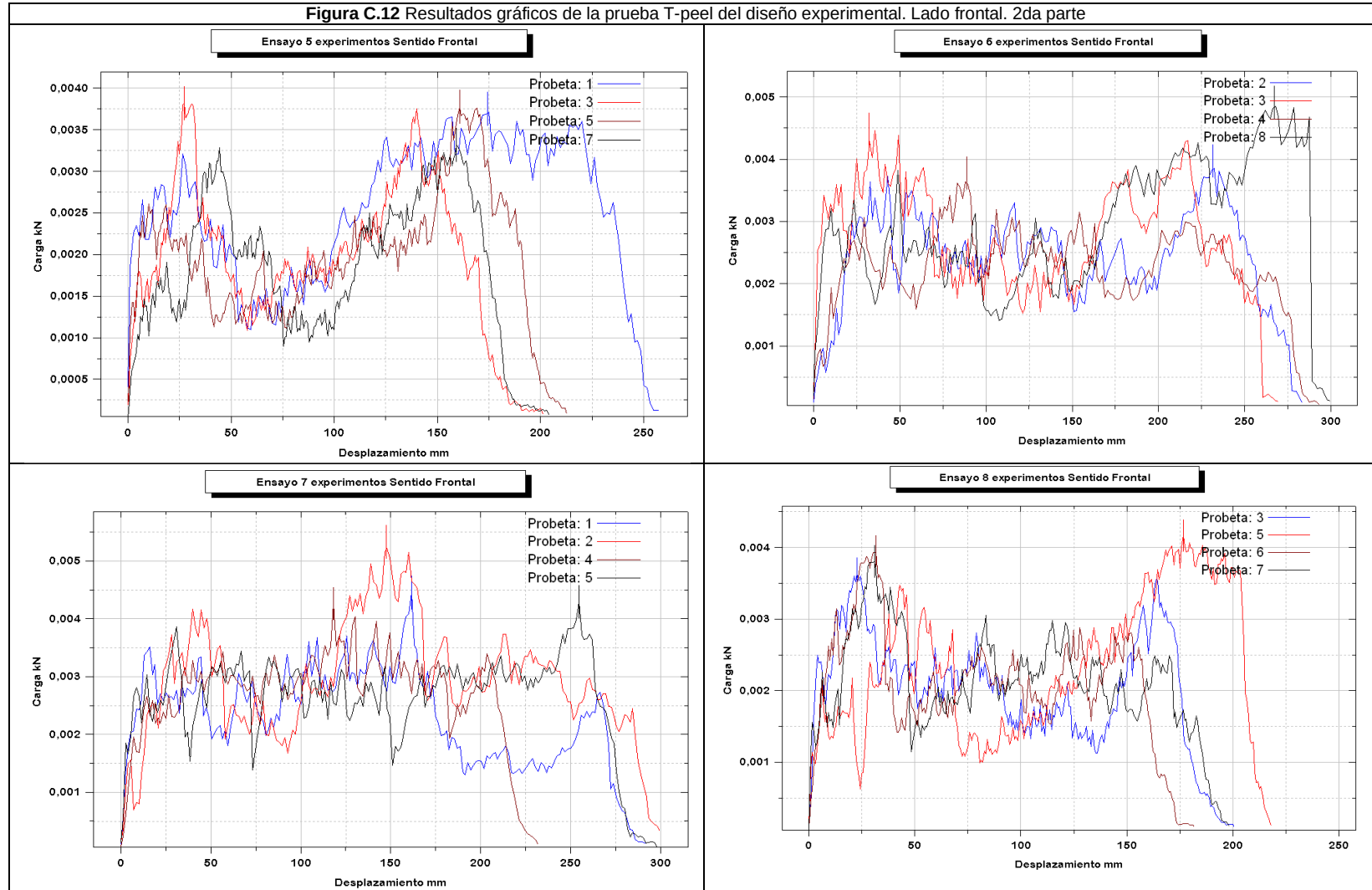


Figura C.13 Interacción entre la temperatura y el ángulo del rodillo para la fuerza máxima (SPSS)

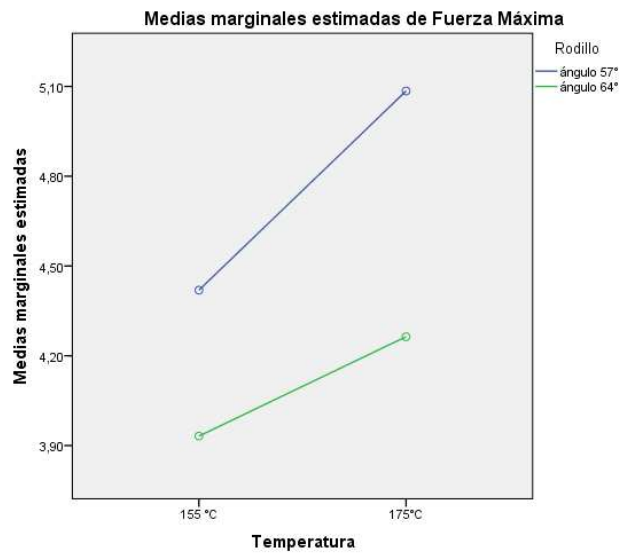


Figura C. 14 Interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la fuerza máxima (SPSS)

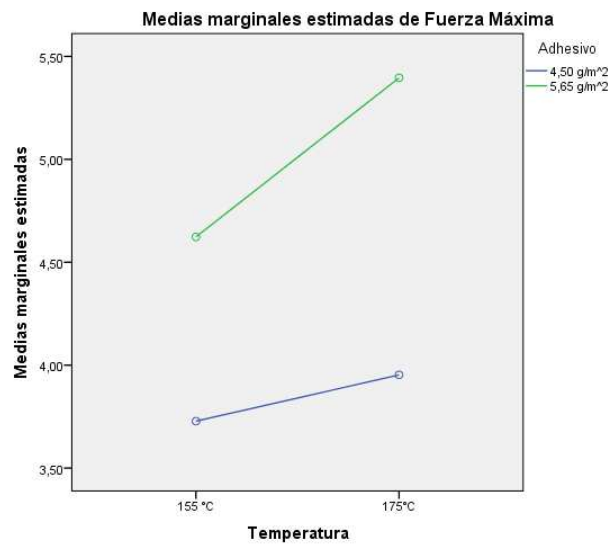
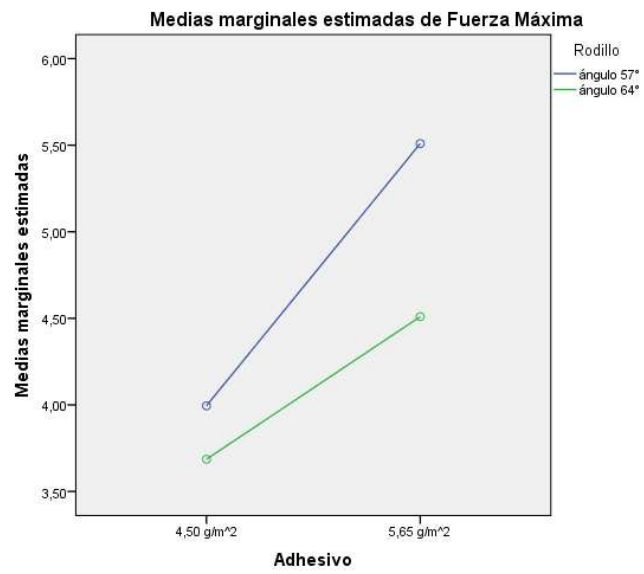


Figura C.15 Interacción entre la temperatura y la cantidad de adhesivo para la fuerza máxima



ANEXO D: Figuras y tablas obtenidas de Libros

Figura D.1 Comportamiento de algunas propiedades de los polímeros en función de la temperatura [28]

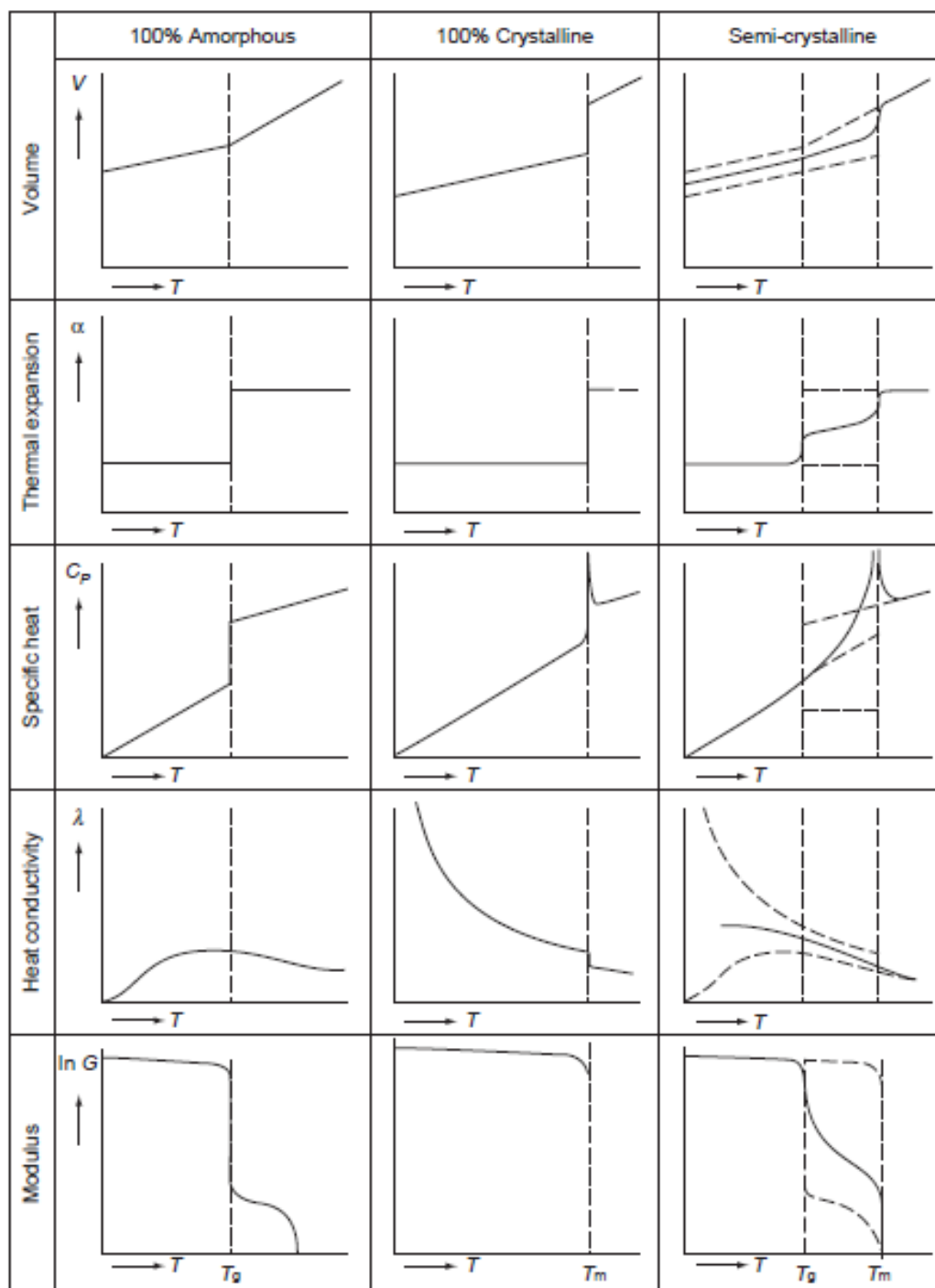


Figura D.2 Factores de tolerancia para distribuciones normales. [31]

Tabla A.7* Factores de tolerancia para distribuciones normales

n	Intervalos bilaterales						Intervalos unilaterales					
	$\gamma = 0.05$			$\gamma = 0.01$			$\gamma = 0.05$			$\gamma = 0.01$		
	$1 - \alpha$			$1 - \alpha$			$1 - \alpha$			$1 - \alpha$		
	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
2	32.019	37.674	48.430	160.193	188.491	242.300	20.581	26.260	37.094	103.029	131.426	185.617
3	8.380	9.916	12.861	18.930	22.401	29.055	6.156	7.656	10.553	13.995	17.170	23.896
4	5.369	6.370	8.299	9.398	11.150	14.527	4.162	5.144	7.042	7.380	9.083	12.387
5	4.275	5.079	6.634	6.612	7.855	10.260	3.407	4.203	5.741	5.362	6.578	8.939
6	3.712	4.414	5.775	5.337	6.345	8.301	3.006	3.708	5.062	4.411	5.406	7.335
7	3.369	4.007	5.248	4.613	5.488	7.187	2.756	3.400	4.642	3.859	4.728	6.412
8	3.136	3.732	4.891	4.147	4.936	6.468	2.582	3.187	4.354	3.497	4.285	5.812
9	2.967	3.532	4.631	3.822	4.550	5.966	2.454	3.031	4.143	3.241	3.972	5.389
10	2.839	3.379	4.433	3.582	4.265	5.594	2.355	2.911	3.981	3.048	3.738	5.074
11	2.737	3.259	4.277	3.397	4.045	5.308	2.275	2.815	3.852	2.898	3.556	4.829
12	2.655	3.162	4.150	3.250	3.870	5.079	2.210	2.736	3.747	2.777	3.410	4.633
13	2.587	3.081	4.044	3.130	3.727	4.893	2.155	2.671	3.659	2.677	3.290	4.472
14	2.529	3.012	3.955	3.029	3.608	4.737	2.109	2.615	3.585	2.593	3.189	4.337
15	2.480	2.954	3.878	2.945	3.507	4.605	2.068	2.566	3.520	2.522	3.102	4.222
16	2.437	2.903	3.812	2.872	3.421	4.492	2.033	2.524	3.464	2.460	3.028	4.123
17	2.400	2.858	3.754	2.808	3.345	4.393	2.002	2.486	3.414	2.405	2.963	4.037
18	2.366	2.819	3.702	2.753	3.279	4.307	1.974	2.453	3.370	2.357	2.905	3.960
19	2.337	2.784	3.656	2.703	3.221	4.230	1.949	2.423	3.331	2.314	2.854	3.892
20	2.310	2.752	3.615	2.659	3.168	4.161	1.926	2.396	3.295	2.276	2.808	3.832
25	2.208	2.631	3.457	2.494	2.972	3.904	1.838	2.292	3.158	2.129	2.633	3.001
30	2.140	2.549	3.350	2.385	2.841	3.733	1.777	2.220	3.064	2.030	2.516	3.447
35	2.090	2.490	3.272	2.306	2.748	3.611	1.732	2.167	2.995	1.957	2.430	3.334
40	2.052	2.445	3.213	2.247	2.677	3.518	1.697	2.126	2.941	1.902	2.364	3.249
45	2.021	2.408	3.165	2.200	2.621	3.444	1.669	2.092	2.898	1.857	2.312	3.180
50	1.996	2.379	3.126	2.162	2.576	3.385	1.646	2.065	2.863	1.821	2.269	3.125
60	1.958	2.333	3.066	2.103	2.506	3.293	1.609	2.022	2.807	1.764	2.202	3.038
70	1.929	2.299	3.021	2.060	2.454	3.225	1.581	1.990	2.765	1.722	2.153	2.974
80	1.907	2.272	2.986	2.026	2.414	3.173	1.559	1.965	2.733	1.688	2.114	2.924
90	1.889	2.251	2.958	1.999	2.382	3.130	1.542	1.944	2.706	1.661	2.082	2.883
100	1.874	2.233	2.934	1.977	2.355	3.096	1.527	1.927	2.684	1.639	2.056	2.850
150	1.825	2.175	2.859	1.905	2.270	2.983	1.478	1.870	2.611	1.566	1.971	2.741
200	1.798	2.143	2.816	1.865	2.222	2.921	1.450	1.837	2.570	1.524	1.923	2.679
250	1.780	2.121	2.788	1.839	2.191	2.880	1.431	1.815	2.542	1.496	1.891	2.638
300	1.767	2.106	2.767	1.820	2.169	2.850	1.417	1.800	2.522	1.476	1.868	2.608
∞	1.645	1.960	2.576	1.645	1.960	2.576	1.282	1.645	2.326	1.282	1.645	2.326

*Adaptada de C. Eisenhart, M. W. Hastay y W. A. Wallis, *Techniques of Statistical Analysis*, capítulo 2, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1947. Se utiliza con autorización de McGraw-Hill Book Company.

ANEXO E: Procedimientos

Anexo E. 1 Procedimiento de aforo del adhesivo

1. Se registra las velocidades de las bombas en la cual se va a realizar el aforo, así como también las Rhi y la velocidad de máquina.
2. Se determina el número de observaciones por aplicación, se corta los cartones requeridos al tamaño necesario y se pesan los cartones en una balanza calibrada en gramos, con resolución de 0,1 g, se consigue los cronómetros requeridos.
3. Se registra en los cartones sus pesos iniciales y se enumeran.
4. Se para la máquina, y se programan en tanque las bombas en manual. Se Implementa los equipos de seguridad.
5. Para el aforo se pone una base debajo del aplicador para que no exista contaminación. Se da arranque al aplicador durante 30 segundos para que purgue y equilibre el flujo; después de éste tiempo se dispone el cartón previamente pesado debajo del aplicador al mismo tiempo que se inicia el cronómetro, hasta un minuto normalmente de espera. Posteriormente se pone otro cortón y se contabiliza otro minuto, hasta terminar
6. Una vez aforado los cartones necesarios, nuevamente se pesan y se registra la diferencia de peso, ésta diferencia equivale al flujo másico en (g/min).
7. Se saca el promedio de las observaciones por aplicador y se obtiene el flujo másico real de la aplicación correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

- 1], ASTM 1876-08. Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)
- [2]. PETRIE E. M, "Handbook of adhesive and sealant", Edition 1, 1999.
- [3]. DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 1, Chapter 8. 2002. KINLOCH A. J and WILLIAMS J. G; "The mechanics of peel test"
- [4]. DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 2, Chapter 2. 2002. MANGIPUD V.S. I, and FALSAFI A., "Direct estimation of the adhesion of solid polymers".
- [5]. DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 2, Chapter 11. 2002. EVERAERTS A., and CLEMENS L.M. "Pressure sensitive adhesive"
- [6] BENEDEK Istvan, and FELDSTEIN Mikhail. "Fundamentals of pressure sensitivity". CRC press. Chapter 7, 2008. H. Kim, D. Lim, Y. Park, "Peel resistance"
- [7] CENGEL Y, and CIMBALA J, "Mecánica de fluidos". Capítulo 14 y Capitulo 2. 2006
- [8] SHIGLEY, Joseph. "Diseño en ingeniería mecánica". Capitulo 9. 6th edition. McGraw-Hill / interamericana de México, 2002
- [9] DONG-HYUK Lim; HYUN-SUNG Do y HYUN-JOONG Kim. "PSA performances and viscoelastic properties of SIS-based PSA blends with H-DCPD tackifiers". Article Journal of Applied Polymer Science. 2006
- [10] DAE-JUN Kim. "Performance of SIS-based Hot-melt Pressure Sensitive Adhesives". Thesis for PhD. 2003
- [11] DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 1, Chapter 13 2002. YARUSSO David. "Effect of rheology on PSA performance"
- [12] PACKHAM D.E. "Handbook of adhesion". Second edition WILEY. 2005
- [13] MARTINEZ Ma, Luisa. "Adhesivos termofusibles en base EVA: modificación de las propiedades en función de la composición". Tesis Doctoral. 1997
- [14] YUHONG Hu and KISHAN Puwar; "Use of rheology in hot melt PSA formulation". Article. 2010.
- [15] BENEDEK, Istvan; and FELDSTEIN Mikhail. "Technology of pressure sensitive adhesive and products". CRC Press, Chapter 3. YUHONG Hu; and CHARLES Paul; "Block Copolymer Based Hot-Melt Pressure-Sensitive adhesives". 2009
- [16] DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 2. Chapter 15. Charles P.; "Hot melts adhesives"
- [17] ASKELAND Donald; and PHULE Pradeep; "Ciencia e ingeniería de los materiales". Capitulo 15. Thompson. 2004.

- [18] BARNES Howard; FLETCHER John; WALTERS Kenneth; "An introduction to rheology". Elsevier. 1989
- [19] FERRY John D. "Viscoelastic properties of polymer". Wiley. 1980
- [20] ASTM 4065 – 12 "Standard Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures"
- [21] DILLARD D.A and POCIUS A.V, "Mechanics of adhesion" Vol 1, Chapter 12 2002. BERKER. "Rheology for adhesion science and technology"
- [22] BENEDEK Istvan; and FELDSTEIN Mikhail. "Fundamentals of pressure sensitivity". CRC press. Chapter 1. SOBOLEVA Oksana; SEMAKOV Alexander; ANTONOV Sergey; and KULICHIKIN Valery. "Surface Phenomena on a Solid–Liquid Interface and Rheology of Pressure Sensitivity". 2008
- [23] BENEDEK Istvan; and FELDSTEIN Mikhail. "Fundamentals of pressure sensitivity". CRC press. Chapter 4. DERAÏL Christophe; and MARIN Gerard; "Role of Viscoelastic Behavior of Pressure-Sensitive Adhesives in the Course of Bonding and Debonding Processes". 2008
- [24] OSSWALD Tim; MENGES Georg, FLOREZ Martinez, FLOREZ Laura; "Ciencias de polímeros para ingenieros". Capítulo 4. Editorial Guaduales. 2010.
- [25] "Infrared hot melt adhesive detection provides seal verification for primary and secondary packaging" [online <http://www.tappi.org>]
- [26] CENGEL Yunus, and GHAJAR Afshin; "Transferencia de calor y masa". Mc Graw Hill. 2011
- [27] "Effect of Reflectivity & Emissivity on Temperature"; [online <http://www.coolroofs.org>]
- [28] VAN KREVELEN D.W, and NIJENHUIS K. "Properties of polymers". Chapter 2. ELSEVIER. 2009
- [29] RUSSEL S.J; "Handbook of nonwovens". CRC. 2007. Chapter 9. MAO. N; and RUSSELL; "Characterisation, testing and modeling of nonwoven fabric"
- [30] MILTON Susan; and ARNOLD Jesse; "Probabilidad y estadística con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales". Cuarta edición. Mc Graw Hill. 2004
- [31] WALPOLE R., MYERS R., MYERS S., KEYING Y.; "Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias". Octava edición. Pearson Prentice Hall. 2007
- [32] KAEUBLE D. H. "Theory and analysis of peel adhesion: Adhesive thickness effects. Article. 1991.
- [33] MOORE D.R and WILLIAMS J.G. "Peel testing of flexible laminates". Fracture mechanics testing methods for polymers adhesive and composites. ELSEVIER. 2001