

**La evaluación objetiva de
propiedades táctiles de las telas.**
Parte I: Modelado de Propiedades Mecánico-Sensoriales

*Objective evaluation of textile properties of fabric
Part 1: Modeling the sensitive mechanical properties*

José A. González
Chaturry Mettananda
Elizabeth M. Crown

**La evaluación objetiva de
propiedades táctiles de las telas.**
Parte I: Modelado de Propiedades Mecánico-Sensoriales
Objective evaluation of textile properties of fabric
Part 1: Modeling the sensitive mechanical properties

José A. González

Centro de Investigación en Ciencias, Universidad Francisco Gavidia
betio.gonzalez@gmail.com.

Chaturry Mettananda

Departamento de Ecología Humana, Universidad de Alberta,
Canadá.
Asistente de Investigación
chathuri@ualberta.ca

Elizabeth M. Crown

Departamento de Ecología Humana, Universidad de Alberta,
Canadá.
Profesora Emérita
betty.crown@ualberta.ca

RESUMEN.

Un método simple basado en la técnica de extracción (método del anillo) ha sido propuesto para evaluar las propiedades mecánico-sensoriales (mano) de las telas. Así también, modelos teóricos fueron desarrollados para explicar matemáticamente seis propiedades mecánico-sensoriales definidas y evaluadas por el método propuesto. Los resultados de las evaluaciones de 16 muestras diferentes de telas mostraron una precisión alta en los valores obtenidos, y el análisis ANOVA de un factor demostró que el método propuesto está en capacidad de diferenciar significativamente telas de diferentes contenidos de fibra (naturales, artificiales, sintéticas y mezclas) y tipos de estructuras (peso y grosor de tela, tejidos de telar, tejidos de punto, no tejidos y telas compuestas). En resumen, se puede afirmar que el método propuesto acá puede medir objetiva y cuantitativamente propiedades mecánico-sensoriales de telas, y caracterizarlas en términos de flexibilidad, extensibilidad, contorno de superficie, compresibilidad, fricción superficial y resiliencia. FIBRAS TEXTILES, TELAS, HILOS, TEJEDORES.

ABSTRACT

A simple method based on the extraction technique (ring method) has been proposed to evaluate the mechanical and sensory properties (hand) fabrics. Also, theoretical models were developed to explain mathematically six-sensory mechanical properties defined and evaluated by the proposed method. The evaluation results of 16 different samples of fabrics showed high precision in the values obtained, and the one-way ANOVA analysis showed that the proposed method is able to significantly differentiate different fabrics content of fiber (natural, artificial, synthetic and mixtures) and types of structures (fabric weight and thickness, loom woven, knitted fabrics, and nonwoven fabrics made). In summary, we can say that the method proposed here can be measured objectively and quantitatively mechanical sensory properties of fabrics, and characterize them in terms of flexibility, extensibility, surface contour, compressibility, surface friction and resilience. TEXTILE FIBERS, FABRICS, THREADS, WEAVERS.

Antecedentes

El confort ha sido considerado como un parámetro clave en las telas para vestuario debido a que es una necesidad fundamental y universal para los consumidores. El confort es identificado por los comercializadores de productos textiles como uno de los principales atributos para conveniencia de los consumidores de prendas de vestir; sin embargo, el confort es un tema complejo por la dificultad de definirlo. Fourt y Hollies (1970) estudiaron la literatura existente, y encontraron que el confort involucra componentes térmicos y no térmicos que se relacionan con situaciones en el uso de la ropa como en el caso de ropas de trabajo, incluyendo condiciones que son críticas y no-críticas.

La ropa, al mantenerse en contacto directo con el cuerpo humano, interactúa con la piel de forma continua y dinámica durante su uso, lo que estimula sensaciones mecánicas, térmicas y visuales. Esto se ha denominado confort sensorial, y la mano o suavidad al tacto es parte de esta evaluación.

Las propiedades de la mano contribuyen sustancialmente a la aceptación general de las telas por parte de los consumidores o a la preferencia individual de tejidos y productos textiles; estas propiedades se consideran como medidas de calidad y apariencia de la tela. Kim y Vaughn (1975) expusieron

que la mano es uno de los atributos esenciales para determinar la conveniencia de un tejido para un determinado uso final, y en la selección de una tela por un cliente potencial, quien hace un juicio valorativo en el punto de compra de un producto textil en términos de atractivo, desempeño, valor y servicio. Es así como en las últimas ocho décadas, investigadores han intentado utilizar el sentido del tacto para medir las propiedades mecánico-sensoriales en diferentes tipos de telas (Ellis & Garnsworthy, 1980).

El método tradicional para evaluar la mano en telas es la técnica sensorial táctil. Según Brand (1964), la mano debe ser evaluada subjetivamente por personas, ya que los conceptos estéticos de telas son básicamente la preferencia de la gente. Por lo tanto, las personas que utilizan los descriptores de los atributos mecánico-sensoriales, tales como suavidad, tersura, rigidez o dureza, evalúan subjetivamente la mano. Sin embargo, puede haber algunas dificultades con este método de evaluación subjetivo.

Algunos de los problemas que se pueden presentar son: La comunicación entre los evaluadores puede no ser clara y fluida, puede existir una limitada sensibilidad de evaluación, alto consumo de tiempo y costo de mano de obra en las pruebas de evaluación, entre otros. Es posible también que las evaluaciones subjetivas de la mano no provean

resultados que se puedan utilizar en la dirección para la fabricación y diseño de textiles con una calidad constante. La conclusión ha sido que una evaluación subjetiva fiable de la propiedad de la mano es posible pero, obviamente, los métodos subjetivos actuales no facilitan el rápido desarrollo de los productos textiles (Pan, Yen, Zhao y Yang, 1988a).

La necesidad de evaluar los efectos de la tecnología aplicada en la producción de nuevas telas, los cambios percibidos en las propiedades mecánico-sensoriales y la aceptación generalizada de dichas telas ha estimulado varios intentos para definir la terminología y las escalas de calificación, desarrollar paneles de capacitación, estandarizar las condiciones de prueba y/o correlacionar los resultados del panel con mediciones instrumentales (Behery, 1986). Como resultado de su importancia comercial y técnica, se han hecho intentos para evaluar la mano instrumentalmente y objetivamente como, por ejemplo, en el trabajo clásico de Peirce (1930). El investigó como la calidad de una tela es influenciada por las propiedades de la mano en términos de propiedades físico-mecánicas; su trabajo estableció que el juicio personal de aquellos aspectos de la mano de una tela podría ser correlacionado con mediciones físicas sencillas, y que esta propiedad sensorial es la sumatoria de varias mediciones de las propiedades mecánicas y físicas textiles correspondientes (Pierce, 1930). También, se han hecho esfuerzos para entender el concepto de la propiedad de la mano de telas y las características relacionadas en términos de las propiedades de las fibras textiles (Hoffman & Beste, 1951).

Es ampliamente aceptado que la mano es un término complejo de muchas propiedades que están integradas en el curso de una eva-

luación subjetiva. Sin embargo, durante las últimas tres décadas, el tema que se denomina a menudo como la medida objetiva de una tela (FOM por sus siglas en inglés) se ha convertido en un área importante de investigación textil, principalmente debido a las obras de Kawabata (1973, 1982) en Japón, y Postle (1989) y otros en Australia.

Aunque el significado de la FOM es entendida generalmente en este contexto, tiene el potencial de inducir a error, sobre todo para quienes no están familiarizados con los desarrollos en esta área de evaluación textil y especificación. Una definición más aceptable del tema podría ser "... la evaluación de la mano de una tela y los atributos relacionados con el desempeño de una tela, en términos de propiedades mensurables objetivamente" (Bishop, 1994). Una definición más completa fue dada por Postle (1989), "... un conjunto necesario y suficiente de mediciones instrumentales a efectuarse en telas con el fin de especificar y controlar la calidad y el desempeño fundamental de telas de vestir."

Una de las preocupaciones más importantes en la evaluación de la mano es el hecho de que la valoración subjetiva depende del tiempo y del lugar, las estaciones del año, las modas, la educación, y las predilecciones personales y raciales, así como la capacitación que un evaluador pueda tener, como fue señalado por Peirce (1930). Por lo tanto, para que cualquier técnica FOM pueda tener éxito, la evaluación objetiva debe basarse en mediciones físicas que estén estrechamente relacionadas con la evaluación subjetiva, las cuales deben apoyarse en mediciones psicofísicas de los atributos de la tela, produciendo resultados consistentes de un evaluador a otro, sin importar sus conocimientos y experiencia.

Además, la mayoría de los atributos subjetivos relacionados con la mano de una tela han sido asociados a propiedades físicas de la tela que son medidas objetivamente (Elder, Fisher, Armstrong & Hutchison, 1984). Sin embargo, cualquier correlación entre las evaluaciones subjetivas y objetivas será contingente sobre la construcción de la tela y/o uso final, ya que algunos atributos subjetivos pueden verse afectados por otras características subjetivas. También es importante observar que las mediciones de las propiedades físicas que involucran cualquier deformación de una tela normalmente deberían llevarse a cabo usando tensiones aplicadas de magnitud similar a las que se aplican durante la manipulación de la tela (Pan, Yen, Zhao, & Yang, 1988b). Aunque un trabajo de investigación exhaustivo se ha llevado a cabo sobre este tema, poca atención se le ha dado a la aplicación de estas tensiones en regímenes de carga adecuados.

Bishop (1994) enumeró y analizó los factores para la promoción de un sistema objetivo de medición universalmente aceptado, con el cual se pueda identificar y cuantificar las propiedades de la mano de la tela y otras propiedades físico-mecánicas, las cuales a su vez determinan la percepción de la calidad de los productos. Estos factores pueden ser: Incremento en la variedad de tejidos y acabados disponibles para determinados usos finales, limitada experiencia en la evaluación de la mano, aumento en el costo laboral relacionado con la evaluación subjetiva, etc. Así también, Postle (1989) identificó áreas en las que la tecnología FOM se podría aplicar, por ejemplo: medición objetiva de la calidad de la tela y de la mano, la medición y el control del confort, durabilidad y estabilidad de telas en prendas de vestir durante su uso, evalua-

ción objetiva de la calidad y apariencia de telas en de prendas de vestir terminadas.

De acuerdo con estos requisitos para la evaluación de la mano, Kawabata diseñó el sistema KES-FB en 1972 (Kawabata, 1973; Kawabata, 1982) basado en su trabajo clave de las propiedades mecánicas de los tejidos y en su trabajo con el Comité de Normalización y Evaluación de la Mano (HESC, por sus siglas en inglés) en la evaluación de las propiedades de la mano y la calidad.

Kawabata (1973, 1982) identificó la necesidad de instrumentos que pudiesen medir los parámetros correctos lo más rápido posible con una alta precisión y una buena reproducibilidad. El sistema KES-FB mide seis diferentes tipos de propiedades y al menos dieciséis parámetros son medidos o calculados (Kawabata, Niwa, Ito, y Nitta, 1990). El sistema consta de cuatro instrumentos y los parámetros medidos por estos cuatro instrumentos están relacionados con la resistencia a la tracción, cizalladura, flexión, compresión, fricción y rugosidad.

Una preocupación importante con el KES-FB es su elevado precio debido a su estructura y funciones sofisticadas. Otra preocupación es que para las mediciones de rutina y la aplicación de las propiedades objetivas de tela particularmente pertinentes para la industria, sólo una fracción de la información obtenida por el KES-FB se necesita.

Es a partir de esta consideración que CSIRO en Australia ha desarrollado su propio sistema de medición de tejido llamado FAST (garantía de tejido a través de una prueba simple). Este es un sistema mucho más sencillo en comparación con el KES-FB y mide menos parámetros. Es un sistema que inclu-

ye tres instrumentos y un método de prueba que fue desarrollado por CSIRO en Australia para medir las propiedades de la lana y tejidos con mezclas de lana que afectan el desempeño de los productos textiles y la apariencia de las prendas de vestir en uso (Tester & De Boos, 1990).

Como tal, FAST no es, estrictamente hablando, un sistema FOM en el contexto dado en el presente trabajo, ya que no se intenta predecir la percepción subjetiva de la mano de la tela. Sin embargo, tiene como objetivo predecir algunos aspectos de la calidad, y puede ser utilizado como una alternativa al sistema KESF-FB en muchas aplicaciones tales como el desarrollo de telas, optimización de rutas de acabado, evaluación de nuevas tecnologías (sistemas de hilatura, maquinaria de acabado), entre otros.

A pesar de algunos aspectos positivos de las dos técnicas, los sistemas KES-FB y FAST no están exentos de inconvenientes. Sus procedimientos de prueba requieren mucho tiempo, la interpretación de los resultados es complicada, y las discrepancias resultan por los diferentes orígenes de los evaluadores para correlacionar el valor total de la mano con las propiedades mecánicas (Pan et al, 1988b). También puede haber correlación elevada entre los parámetros seleccionados, lo que significa que los parámetros seleccionados pueden superponerse y contener información duplicada. Estos parámetros innecesarios no sólo pueden aumentar la complejidad de los instrumentos y aumentar los costos, sino también, principalmente, aumentar la dificultad de interpretar los resultados.

Estas limitaciones hacen que los sistemas KES-FB y FAST sean menos adecuados para

aplicaciones industriales, y especialmente para los pequeños fabricantes de ropa y textiles y comerciantes (Grover, Sultan & Spivak, 1993; Pan & Yen, 1992; Pan, Zeronian & Ryu, 1993). Para superar estas limitaciones, varios grupos de investigadores han descrito diversas variaciones de métodos de tracción/extracción.

Estos métodos se utilizan para la evaluación de la mano de telas que depende del análisis de la curva fuerza-desplazamiento obtenida cuando una muestra circular de tela, sostenida de su centro, es extraída a través de una boquilla (anillo) de diámetro apropiado mediante el uso de un medidor de tensión Instron®, u otro instrumento similar de ensayo universal (Alley & McHatton, 1976; Behery, 1986; Pan et al, 1992). Este método también se denomina método del anillo.

Alley et al (1976) calcularon inicialmente un módulo de la mano de una tela a partir de la curva fuerza-desplazamiento, el coeficiente de fricción de la tela, el grosor de la tela y la geometría de la boquilla. Más tarde, sin embargo, Alley (1980) desarrolló un modelo basado en la teoría de la membrana, aunque esto siguió siendo un modelo muy idealizado, ignorando la complejidad del pliegue de la tela durante el proceso de extracción. Pan y Yen (1992) consideraron que era un paso alentador hacia la descripción de la deformación durante la extracción en términos de propiedades físicas y mecánicas de una muestra y la geometría del dispositivo de extracción.

Behery y Monson (1981) utilizaron el método de extracción y la ecuación del módulo de la mano originalmente desarrollada por Alley (1980) para derivar los módulos de la mano de telas, los cuales correlacionaron

con las propiedades físicas de las telas y los dictámenes de expertos sobre la propiedad de la mano. Más recientemente, Behery (1986) utilizó el mismo método de extracción junto con la teoría revisada de Alley para obtener módulos de la mano de 145 telas disponibles en los mercados de EE.UU. y Japón, destinadas principalmente para los uniformes de personal.

Pan y Yen (1992) analizaron la forma general de la curva de fuerza-desplazamiento o de extracción y utilizaron un método de selección de características de reconocimiento de patrones, combinado con un análisis de correlación estadística, para determinar características específicas en la curva correspondiente a propiedades de tejidos comunes, según lo medido por el sistema de KES-FB. Como Behery, ellos fueron capaces de concluir que la curva de extracción en su conjunto era fuertemente influenciada por la mayor parte de las propiedades de superficie y mecánicas de la tela representadas por los parámetros KES-FB.

También se examinaron la relación entre las curvas de extracción y el tipo de tela o uso final (Pan et al, 1992). Para este estudio, caracterizaron las curvas de 30 telas, en un rango amplio de construcción, contenido de fibra y peso, usando cinco parámetros característicos: la ubicación del pico principal "L" (distancia de extracción), el valor máximo "P" (fuerza de extracción máxima), la anchura de pico "W" a la mitad de la fuerza "F", el área bajo la curva "A", y la pendiente nominal "S". Así también, algunos efectos de la construcción de la tela sobre la localización del valor de la fuerza máxima se identificaron y discutieron. Se observó que, a pesar de que las tres características restantes también podrían ser utilizadas para la

identificación de las propiedades de tejidos, aún quedaba bastante por hacer sin más información detallada que se quisiese obtener a partir de las complejas interacciones de estos cinco parámetros con propiedades específicas de los tejidos.

Pan et al (1992) explicaron también las relaciones entre las propiedades de telas relacionadas con la mano, propiedades medidas por el sistema KES-FB y los datos derivados de una curva de extracción. Ellos caracterizaron la curva de extracción con cinco características geométricas derivadas de la curva y desarrollaron un modelo teórico que puede simular la forma de la curva de extracción y proporcionar interpretaciones fundamentales de su significado físico. En su conclusión final, ellos observaron que este estudio había revelado la posibilidad de medir varias propiedades de un tejido a través de una sola evaluación utilizando el método de extracción, y que la técnica debería ser utilizada más ampliamente para la evaluación de la calidad.

Aunque el método de extracción es un método eficaz para la evaluación de la mano de tela en general, tiene limitaciones en la separación de las distintas propiedades mecánicas que están relacionados con la mano de las telas (Kim & Slaten, 1996). Este método puede aproximarse muy cerca a lo que la propiedad táctil humana en realidad puede sentir al momento de hacer contacto con una tela, y ha demostrado eficacia en la detección de cambios en las propiedades mecánico-sensoriales afectadas por estructuras de tejidos diferentes y acabados.

Una de las principales limitaciones de los métodos de tracción/extracción es que los resultados de las pruebas normalmente pro-

ducen un único valor de la fuerza máxima relacionada con la mano (Kim & Vaughn, 1975). Y aunque este valor es simple y fácil de usar, puede no proporcionar una información adecuada sobre los diferentes atributos sensoriales que se consideran relacionadas con la evaluación subjetiva de la mano y las propiedades físicas de superficie asociadas.

En conclusión, los parámetros geométricos y únicos no tienen alguna relación directa con las unidades físicas de las propiedades objetivas y subjetivas relacionadas con la mano. El presente trabajo de investigación se ha enfocado en estas limitaciones, estableciendo un análisis más detallado del método de extracción y el desarrollo de modelos matemáticos para el análisis de la curva de carga-desplazamiento y de seis propiedades mecánico-sensoriales relacionadas con las propiedades físicas de la superficie de las telas, proporcionando cantidades físicas con valores significativos y relacionados.

Propósito Principal y Objetivos Específicos

El propósito principal de la investigación acá presentada fue la de desarrollar un método para evaluar propiedades táctiles-sensoriales de superficies textiles, basado en el método de extracción (del anillo), y utilizando un equipo de medición de propiedades mecánicas. Este método fue ideado con la finalidad de proveer una evaluación objetiva y cuantitativa de propiedades mecánico-sensoriales, a saber: flexibilidad, extensibilidad, contorno de superficie, compresibilidad, fricción superficial y resiliencia.

Los objetivos específicos de la investigación fueron:

1. Construcción de boquilla de extracción apropiada para un rango amplio de tipos de telas;
2. Determinación de las propiedades mecánico-sensoriales que el método propuesto es capaz de evaluar;
3. Desarrollo de modelos teóricos que expliquen matemáticamente las propiedades evaluadas;
4. Evaluar un número significativo de telas con rangos variados de construcción y contenido de fibras; y
5. Evaluar la exactitud, precisión, tamaño de la muestra a evaluar y la capacidad del método de diferenciar telas en término de las propiedades mecánico-sensoriales.

Modelos Teóricos

Investigaciones anteriores determinaron que algunos de las principales propiedades relacionadas con la mano eran la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cizalladura, peso grosor de la tela (Kim & Vaughn, 1975; Pan & Yen, 1992). En general, se reconoce que los datos de propiedades mecánicas de una tela se pueden obtener a partir de una curva de extracción (Kim & Slaten, 1999). Pero, existe todavía un malentendido acerca de la relación entre las propiedades mecánicas individuales de una tela y las propiedades mecánico-sensoriales de una tela evaluadas por medio de las técnicas existentes.

En la medida que un espécimen de tela entra a través de una boquilla o anillo de prueba, este se dobla y es cizallado. Entonces, es comprimido, alargado y frotado contra el interior de la boquilla. El efecto de las diferentes fuerzas que actúan sobre la tela durante el proceso de deformación es muy complejo y, por lo tanto, la lectura de una propiedad mecánica particular desde la curva de extracción lo es. Sin embargo, esta investigación determinó, de acuerdo con investigaciones anteriores, que las variables tomadas de la curva carga-desplazamiento están relacionadas con propiedades de la tela tales como flexión, cizalladura, compresión, fricción, entre otros.

Se observó durante las pruebas iniciales que el valor máximo de la fuerza ocurre cuando el 50-60% de la muestra ha pasado a través del anillo. Además, las fuerzas involucradas en la deformación inicial están relacionadas con el módulo de flexión y la fricción de superficie. En la medida que la prueba progresa y el espécimen de tela se aprieta a las paredes de la boquilla, la fuerza debido a la compresión juega un papel más importante. Finalmente, la capacidad de recuperación (elasticidad/flexibilidad) de la tela afecta principalmente a la fuerza de salida (ver Figura 1). Por lo tanto, seis diferentes descriptores de las propiedades mecánico-sensoriales (mano) se establecieron a partir del gráfico de la curva de extracción; estos descriptores de la mano y su significado físico se describen a continuación como se leen desde la curva de extracción:

Flexibilidad: La cantidad de energía requerida para doblar la tela en la medida que entra en la boquilla, la cual es representada por la integración del área debajo de la curva entre el desplazamiento a 10 y 25 mm, y expresada

en N • m. Por lo tanto, entre más energía es necesaria para doblar el espécimen de tela, más rígida es la tela.

$$flexibilidad = \int_{x=10}^{x=20} F_x dx \quad E. 1$$

Extensibilidad: La cantidad de desplazamiento de la tela desde el tamaño original del espécimen al desplazamiento de fuerza máxima, y expresada en porcentaje [%]; d_{max} es el desplazamiento en el momento de fuerza máxima. Por lo tanto, a medida que el valor de extensibilidad es mayor, mayor es la capacidad de estiramiento de la tela.

$$Extensibilidad \quad E. 2$$

$$= (d_{max} \div longitud\ de\ espécimen) \times 100 \%$$

Contorno de superficie: La suma de variaciones de la fuerza ejercida entre la superficie de la tela y la pared interior de la boquilla durante el desplazamiento entre 10 y 20 mm, expresado en Newtons [N]. Por lo tanto, entre más alto es el valor, la superficie de la tela es más áspera.

$$contorno = \sqrt{\sum_{x=10}^{x=20} (y_2 - y_1)^2} \quad E. 3$$

Compresibilidad: La cantidad de energía requerida para comprimir la mayoría del espécimen dentro del anillo al momento de la carga máxima, y expresada en N • m/m². Por lo tanto, entre más energía se necesita para comprimir el espécimen, la tela es más difícil de comprimir.

$$compresibilidad = \frac{\int_{x=20}^{x=peak} F_x dx}{A} \quad E. 4$$

Fricción superficial: La cantidad de fuerza necesaria para deslizar la superficie de la tela a través de las paredes interiores del anillo, medida al desplazamiento de 20 mm, y expresada en Newtons [N]. Por lo tanto, entre mayor es la fuerza necesaria para deslizar el espécimen, la tela es más áspera.

$$\text{Fricción superficial} = F_x \text{ a } 20 \text{ mm} \quad E. 5$$

El coeficiente de fricción entre el espécimen y la pared interior de la boquilla es igual a:

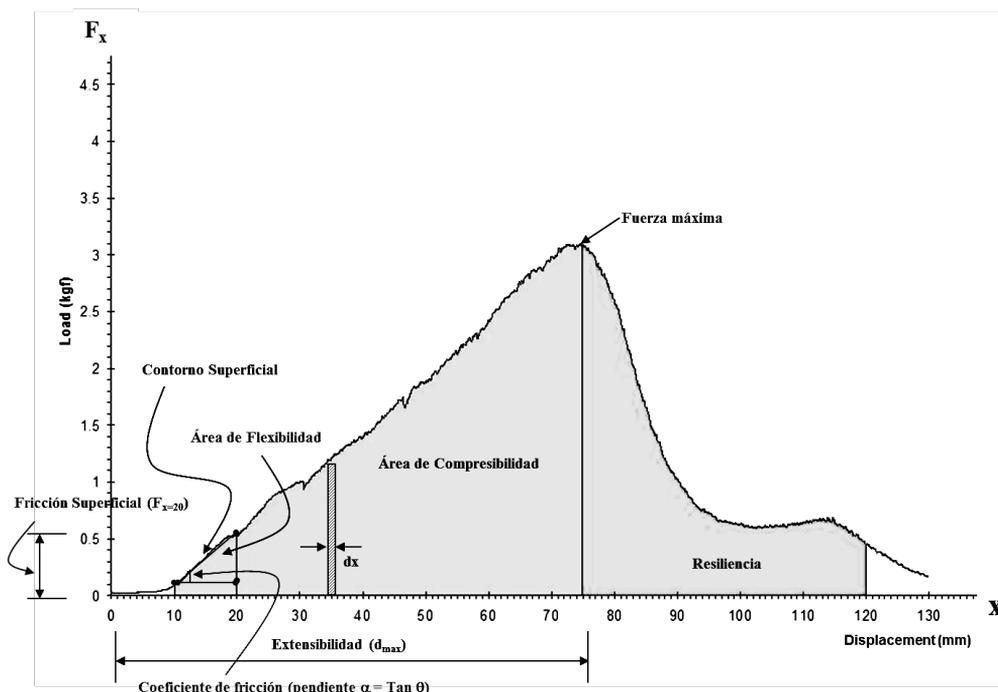
$$\text{Pendiente } \alpha = \text{Tan } \theta \quad E. 6$$

θ es el ángulo formado entre la curva de extracción y el eje horizontal de la curva entre $d_{L1} = 10$ y $d_{L2} = 20$ mm

Resiliencia (Capacidad de Recuperación): Es la cantidad de la energía liberada producida por el espécimen al final de la extracción, la cual es representada por la integración del área bajo la curva entre el desplazamiento en la carga máxima y a 120 mm, y es expresada en N • m. Por lo tanto, entre más energía es producida, más elástica es la tela.

$$\text{resiliencia} = \int_{x=\text{peak}}^{x=120} F_x dx \quad E. 7$$

Figura 1.
Modelo de curva carga-desplazamiento.



Fuente: Elaboración propia

Densidad de Tela: Si bien esta propiedad no es medida por el método, se considera muy importante por su incidencia en las otras propiedades mecánico-sensoriales. Se define como la masa de la tela por unidad de volumen, y expresada en gramos por centímetros cúbicos [g/cm³]. Entre más alto es el valor de la densidad, más compacta es la tela.

$$D = \frac{M_f}{A * t} \quad E. 8$$

Experimentación: Método y Materiales

Para probar los modelos teóricos desarrollados, un aparato de medición de tensión marca Instron® modelo 4400 y un accesorio de boquilla de extracción construido específicamente para la presente investigación se utilizaron para llevar a cabo la extracción de 16 muestras de telas diferentes. La Figura 2 muestra el diagrama del accesorio adaptado para el aparato Instron®. Las condiciones de ensayo fueron como sigue en el Cuadro 1.

Los especímenes fueron fijados a un gancho/perno plástico, y posteriormente fueron jalados a través del anillo de extracción por otro gancho sostenido entre las cachas superiores del cabezal (ver Figura 3 para

más detalles). Este accesorio proporcionó un agarre firme del espécimen, y sosteniendo una fuerza de tracción uniforme sin el riesgo de rasgar la tela durante el proceso de extracción.

Las muestras de tela utilizadas para las pruebas empíricas se describen en la Cuadro 2. Los diferentes tipos de telas fueron seleccionados por tipo de construcción (es decir, tejido de telar, tejido de punto, no tejido, tela compuesta); contenido de fibras: naturales, artificiales, sintéticas y mezclas; y por el acabado: no tratada, blanqueada, teñida, terminado contra fuego (FR), fieltro y franela. Además, cuatro muestras de algodón 100% se ensayaron para observar el efecto de la masa de la tela.

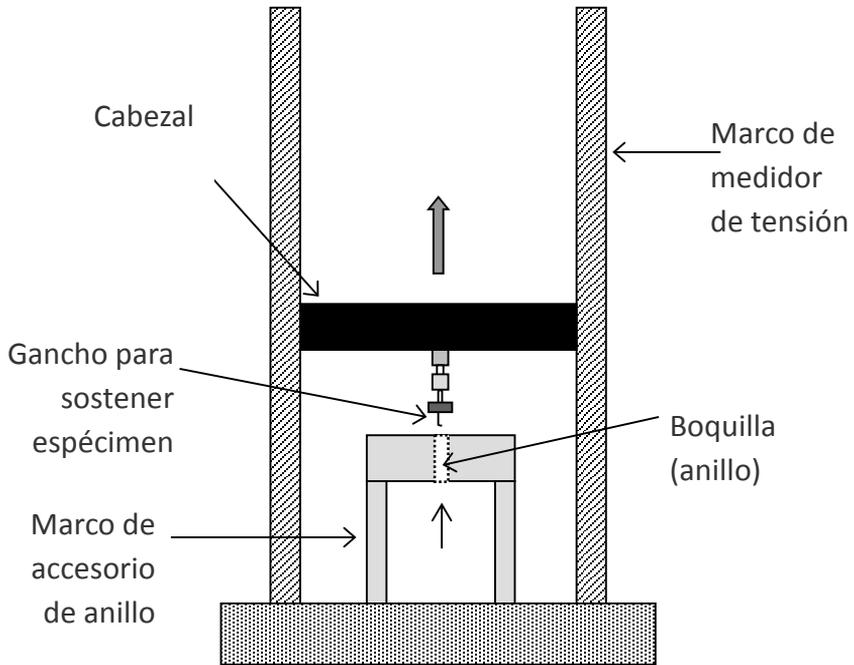
El peso de la tela de cada muestra fue determinado utilizando la norma CAN/CGSB-4.2 No. 5.1 M90, Peso Unitario de Telas; el grosor de la tela fue determinado utilizando la norma CAN/CGSB-4.2 No. 37-2002, Grosor de Tela. La densidad de tela fue calculado dividiendo el peso por área de la tela entre el grosor de la misma (Ecuación 8).

Cuadro 1
Condiciones del ensayo.

Velocidad de cabezal: 75 mm/min	Celda de carga de tensión: 500 N (50 kg)
Diámetro interno de anillo: 20 mm	Longitud de anillo: 44 mm
Material del anillo: Acero inoxidable	Área superficial de espécimen: 2.25 x 10 ⁻² m ²
Temperatura de prueba: 20°C	Humedad relativa de prueba: 65%

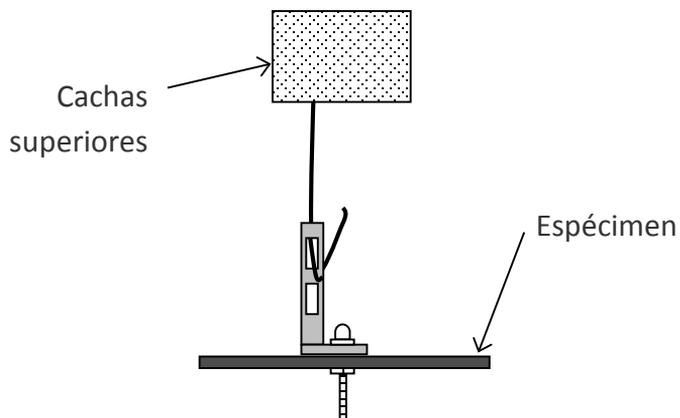
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.
Diagrama del accesorio de boquilla de extracción y el medidor de tensión Instron®.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.
Diagrama del espécimen de prueba fijado por el accesorio del gancho/perno plástico.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2
Lista de telas evaluadas utilizando el método propuesto.

Código	Muestras de Telas	Grosor (mm)	Peso e Tela (g/m ²)	Densidad de Tela (g/cm ³)	Porosidad (ε)
001	100% algodón sin tratar A: lona	2.0757	29.062	0.0704	0.7798
002	100% algodón sin tratar B: sarga	0.9310	18.606	0.0360	0.7486
003	Algodón blanqueado C: popelina	0.4697	8.561	0.0166	0.7707
004	Algodón teñido D: franela	1.3255	14.376	0.0279	0.8636
005	100% algodón FR: sarga	0.9987	21.479	0.0416	0.7294
006	100% fieltro de lana cruda	2.2892	20.239	0.0392	0.8692
007	100% acetato brillante: plano	0.2227	5.955	0.0119	0.5948
008	100% poliéster (PET): de punto	0.8368	7.221	0.0140	0.8789
009	93% meta-aramida/5% para-aramida/2% cobertura de carbón	0.8810	14.327	0.0278	0.7704
010	50/50% meta-aramida/rayón viscosa FR: sarga	0.8463	14.16	0.0283	0.7672
011	80% meta-aramida/20% Polybenzim-idazole (PBI): plano	0.7346	8.717	0.0169	0.8313
012	60% para-aramida/40% Polybenzim-idazole (PBI): plano	1.0399	13.552	0.0263	0.8171
013	No tejido 100% polipropileno de tres capas ¹	0.3876	2.808	0.0056	0.8408
014	86% Nomex IIIA®, 14% poliuretano (Vapro 525 NWR®)	0.7730	16.239	0.0315	0.6946
015	86% Nomex IIIA®, 14% poliuretano (Vapro 625 WR®) ₂	0.7634	33.63	0.0652	0.3595

Código	Muestras de Telas	Grosor (mm)	Peso e Tela (g/m ²)	Densidad de Tela (g/cm ³)	Porosidad (ε)
016	88% Nomex IIIA®, 12% poliuretano (X-liner 60®)2	0.9034	35.805	0.0694	0.4266

Fuente: Elaboración propia

La porosidad (ε) fue calculada a partir del volumen de material sólido o factor de empaquetado (φ), el cual a su vez es calculado combinando el peso por área (m), proporción de fibra por peso (p_w), grosor (t) y la densidad de fibra:

$$\varphi = \frac{p_w m'}{\rho_f t} \quad \text{y} \quad \varepsilon = 1 - \frac{p_w m'}{\rho_f t}$$

Todos los especímenes fueron pre-acondicionados a 20°C a una humedad relativa de 0% por 24 horas, y acondicionados a 20°C a una humedad relativa de 65% por 48 horas antes de las pruebas. Diez especímenes fueron evaluados sin ser lavados, y se ensayaron sólo una vez, ya que se encontró durante la pre-pruebas de que algunos de los parámetros tales como la capacidad de recuperación y la compresibilidad cambiaban de valores después de la primera prueba.

Resultados y Discusión

Antes de iniciar la extracción, las muestras colgantes también se evaluaron visualmente por rigidez y caída de tela (número de capas formadas) como se muestra en la Figura 4 con tres ejemplos de muestras al inicio de la prueba, exponiendo el proceso de pliegue de la tela. Se puede ver en las Figuras 4a, b y c la diferencia en el número de pliegues de

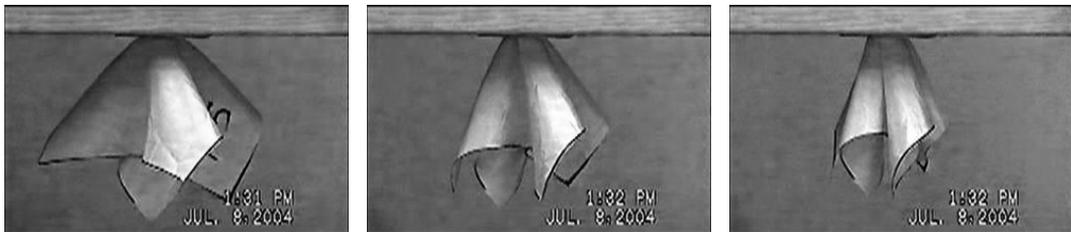
la tela y las formas que toma mientras el espécimen cuelga, correlacionando altamente con el valor de flexibilidad [N•m] para cada muestra, que fue de 1.64, 10.12 y 35.73 N•m para 100% de acetato, 50/50% meta-aramida/rayón viscosa FR y 88/12% Nomex® IIIA/poliuretano, respectivamente.

Durante el presente trabajo de investigación, cada extracción fue video-grabada para registrar la trayectoria del espécimen a través del anillo durante la extracción. Imágenes cada cinco segundos durante 60 segundos fueron extraídas del video proporcionando una herramienta visual muy útil para entender cómo el espécimen se pliega al momento de entrar en la boquilla, deslizarse completamente a través de ella y el efecto de resorte a la salida (Figura 5).

Los datos sin procesar para cada extracción generada por el software del equipo Instron® se importaron a MS Excel® versión 2010, y el desplazamiento y los valores de carga para las diez extracciones fueron promediados, generando así una curva de extracción promedio para cada una de las muestras, como se puede observar en las figuras (6a) a (6p). A partir de los gráficos de las curvas de extracción de cada muestra se puede determinar visualmente que cada una tiene una forma diferente, dependiendo de las características y propiedades de las telas, y los seis

Figura 4.

Ejemplos de muestras al inicio de la prueba, exponiendo el proceso de pliegue de la tela.



5 sec.

10 sec.

15 sec.

Figura 4(a). 100% rayón acetato brillante [007]



5 sec.

10 sec.

15 sec.

Figura 4(b). 50% meta-aramida/50% rayón viscosa FR [010].



5 sec.

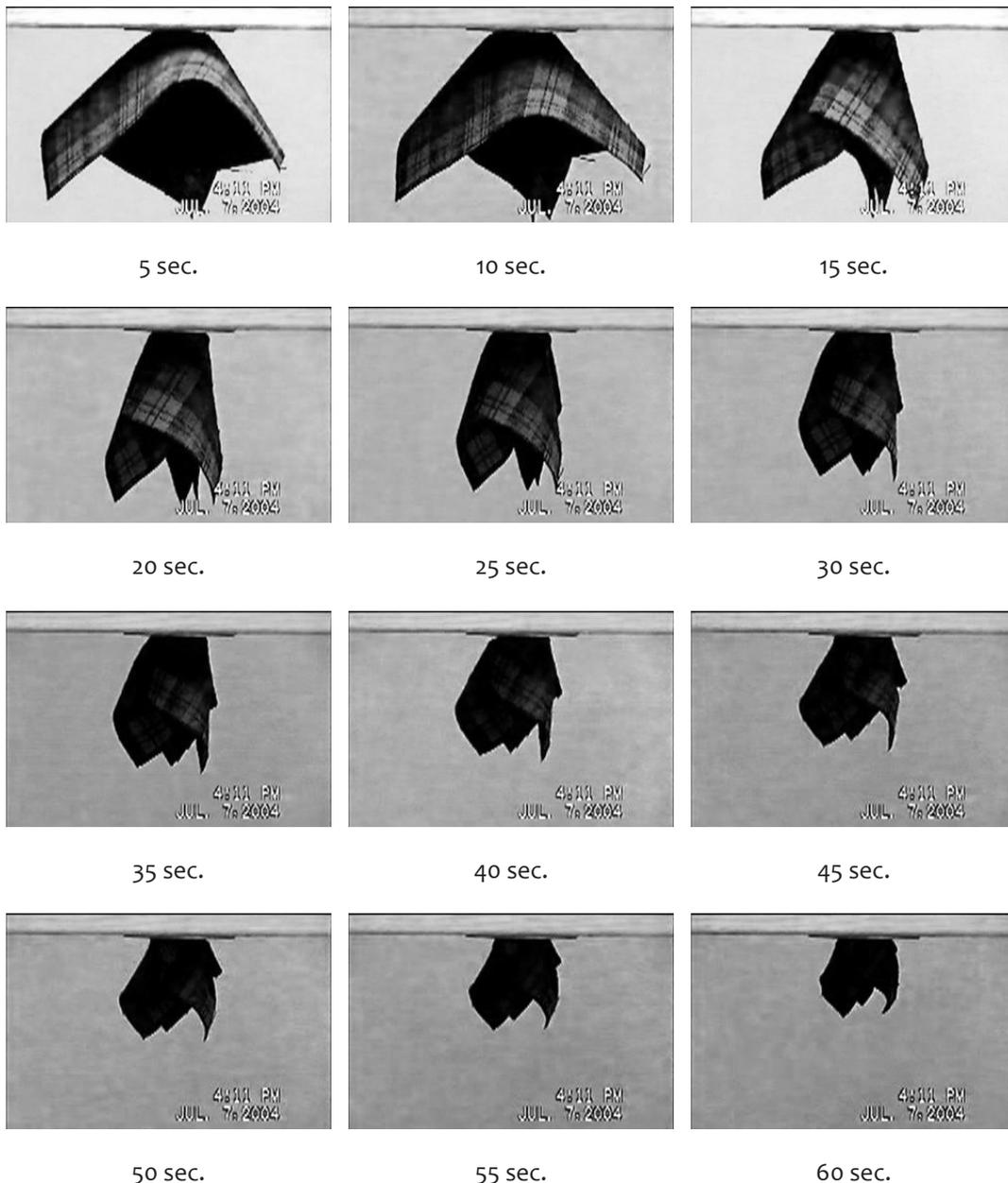
10 sec.

15 sec.

Figure 4(c). 88% Nomex IIIA®, 12% poli-uretano [016].

Fuente: Elaboración propia

Figura 5
Secuencia de extracción para 100% algodón (franela), código 004.



Fuente: Elaboración propia

descriptores mecánico-sensoriales pudieron ser identificados y calculados desde estas curvas de extracción, según lo establecido por los modelos desarrollados.

De cada uno de estos gráficos, los cálculos de los parámetros relacionados con la mano como lo especifican los modelos teóricos fueron efectuados, y los resultados se muestran en el Cuadro 3. Se puede observar a partir de estos resultados que todos los parámetros relacionados con las propiedades mecánico-sensoriales tienen una tendencia similar conforme a las características de las telas evaluadas con algunas excepciones, las cuales pueden ser explicadas por el parámetro específico y condición de la tela en particular.

La flexibilidad se define como la facilidad de flexión, y denominada como flexible (alta) a rígida (bajo); también se define como la cantidad de energía necesaria para doblar el tejido cuando entra en el anillo. Del Cuadro 3 se puede observar que el tejido de punto 100% poliéster (código 008) y el tejido 100% acetato (código 007) fueron los más flexibles, obteniendo 1.25 y 1.64 N•m, respectivamente. La tela compuesta 88/12% Nomex® IIIA/poliuretano (código 016) y la tela 100% algodón (código 001) fueron los más rígidos, produciendo 35.73 y 68.01 N•m, respectivamente.

La compresibilidad se define como la facilidad de exprimir, y denominada como suave (alta) a dura (bajo); es también definida como la cantidad de energía necesaria para comprimir la mayor parte del espécimen en el interior del anillo hasta alcanzar la carga máxima. Durante las pruebas empíricas, las telas 100% acetato y 100% poliéster produjeron valores de propiedad suave de 2.98×10^5

y 3.87×10^5 N•m/m², respectivamente. Los especímenes de aramida/poliuretano [016] y la tela 100% algodón produjeron valores de propiedad dura de 9.35×10^5 y 9.51×10^5 N•m/m², respectivamente.

La extensibilidad se define como la facilidad de estirar, y denominada como elástica (alto) a no elástica (bajo); es también definida como la cantidad de desplazamiento de la tela de la longitud inicial del espécimen hasta el desplazamiento de la carga máxima. Las telas código 007 (100% de acetato) y 003 (100% algodón C) fueron las menos elásticas con 32.54 y 30.40%, respectivamente. Los códigos de tela 008 (100% poliéster) y 006 (100% lana) fueron las más elásticas con 51.83 y 51.90%, respectivamente.

La capacidad de recuperación se define como la habilidad para recuperarse de la deformación, y denominada como resorte (alto) a lacio (bajo); es también definida como la cantidad de energía liberada por el espécimen al final de la extracción. Las telas de acetato y poliéster produjeron resultados considerados como los más lacios (38.94 y 69.41 N•m, respectivamente). Las telas de aramida/poliuretano (016) y la lona de algodón produjeron los resultados más elevados del efecto de resorte (839.9 y 2,125.99 N•m, respectivamente).

La fricción superficial se define como la resistencia al deslizamiento que ofrece la superficie, y denominada como áspero/duro (alto) a resbaladizo (bajo); también se define como la cantidad de fuerza requerida para deslizar la superficie de la tela de las paredes del anillo interior con un desplazamiento igual a 20 mm. Las muestras de 100% poliéster (0.32 N) y 100% acetato (0.39 N) fueron las más resbaladizas, y las mues-

tras de la tela compuesta aramida/ poliuretano [016] con 9.88 N y la lona 100% algodón con 13.63 N fueron las muestras más ásperas/duras.

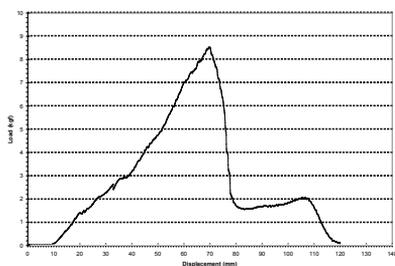
El contorno superficial se define como la divergencia en llaneza de la superficie, y denominado como rugoso (alta) a liso (bajo); también es definido como la suma de las variaciones de la fuerza causada por la variación superficial ejercida durante $D = 10$ a 20 mm. Las muestras de poliéster [008] y acetato [007] produjeron resultados considerados como lisos con 0.0278 y 0.0540 N, respectivamente. Las muestras de aramida/poliuretano [016] y lona 100% algodón [001] generaron resultados considerados como rugosos con 0.7236 y 0.9832 N, respectivamente.

Una revisión exhaustiva de los videos tomados durante las pruebas de las diferentes muestras y un análisis detallado de los diagramas generados por el programa del

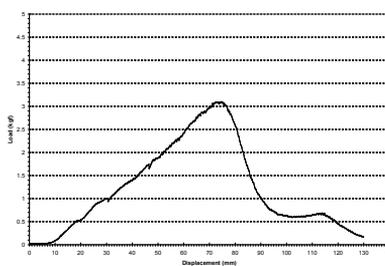
equipo Instron®, así como los resultados mostrados en la Cuadro 3, permitieron caracterizar las 16 muestras de acuerdo a los parámetros de las propiedades mecánico-sensoriales, definidos en los modelos teóricos desarrollados en el presente estudio (ver Cuadro 4).

Se puede observar de los resultados mostrados en el Cuadro 13 que el método logró establecer diferencias entre las 16 muestras para los seis parámetros mecánico-sensoriales evaluados, aunque manteniendo diferenciación entre las telas flexibles y ligeras de las telas rígidas y pesadas. Es importante destacar que cada parámetro evaluado muestra un orden diferente a los demás, aunque dentro de cierto rango. Esto permite determinar visualmente que el método propuesto para evaluar las seis propiedades mecánico-sensoriales (mano) puede diferenciar diferentes tipos de telas, las cuales pueden tener estructuras similares así como diferentes.

Figura 6a-6b.
Diagramas del promedio de 10 curvas de extracción generadas por el medidor de tensión Instron®.



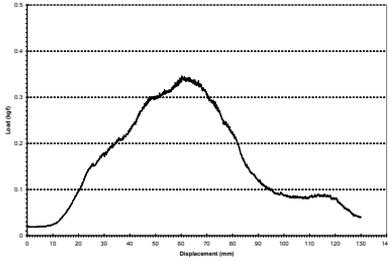
(a) 100% algodón sin tratar A [001]



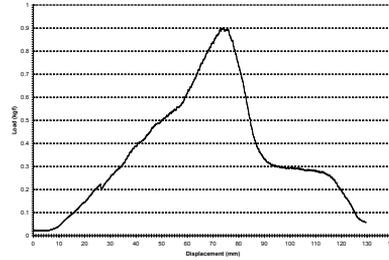
(b) 100% algodón sin tratar B [002]

Fuente: Elaboración propia

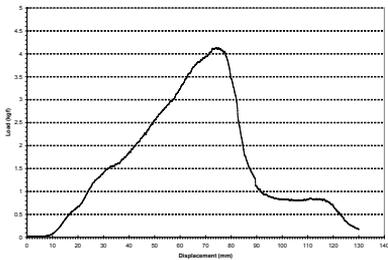
Figura 6c-6h.
Diagramas del promedio de 10 curvas de extracción
generadas por el medidor de tensión Instron®.



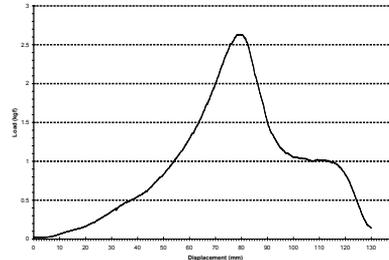
(c) 100% algodón blanqueado C [003]



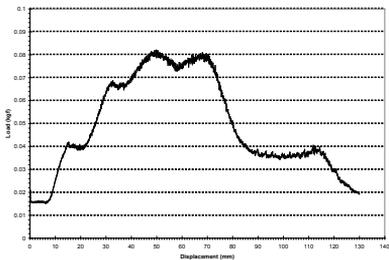
(d) 100% algodón teñido D [004]



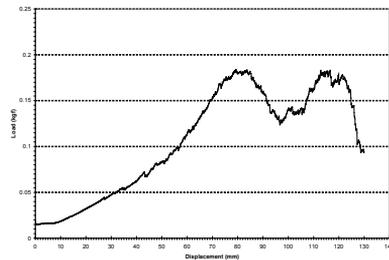
(e) 100% algodón FR [005]



(f) 100% fieltro de lana cruda [006]



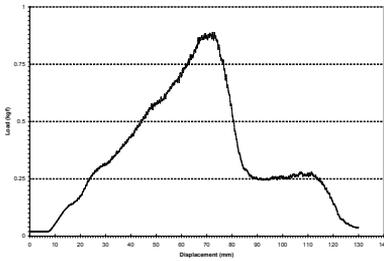
(g) 100% acetato brillante [007]



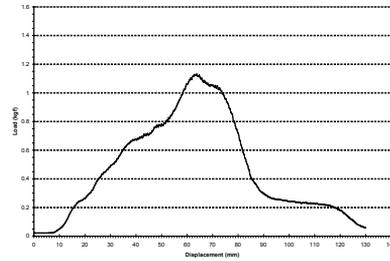
(h) 100% poliéster (PET) [008]

Fuente: Elaboración propia

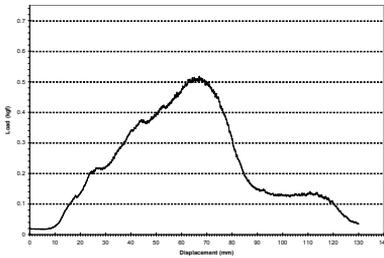
Figura 6i-6n.
Diagramas del promedio de 10 curvas de extracción
generadas por el medidor de tensión Instron®.



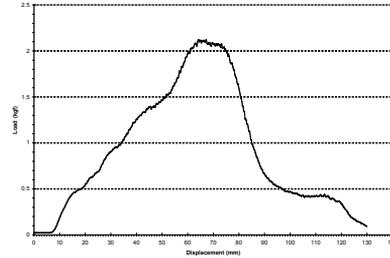
(i) 93% meta-aramida/5% para-aramida/2% cobertura de carbón [009]



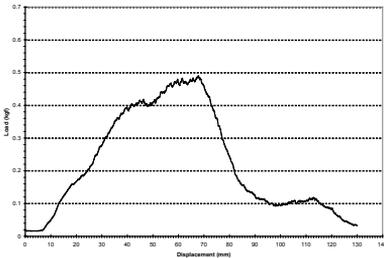
(j) 50/50% meta-aramida/rayón viscosa [010]



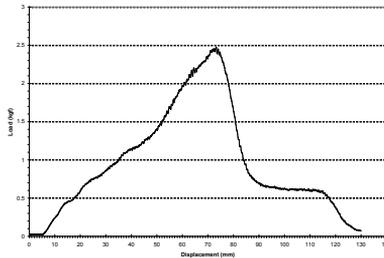
(k) 80% meta-aramida/20% Poly-benzimidazole (PBI) [011]



(l) 60% para-aramida/40% Poly-benzimidazole [012]



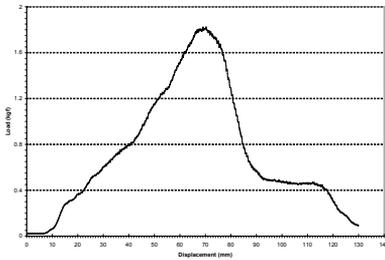
(m) No tejido 100% polipropileno [013]



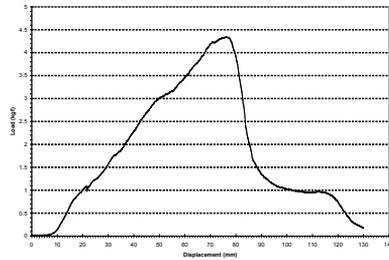
(n) 86% Nomex IIIA®, 14% poliuretano [014]

Fuente: Elaboración propia

Figura 6i-6n.
Diagramas del promedio de 10 curvas de extracción generadas por el medidor de tensión Instron®.



(o) 86% Nomex IIIA®, 14% poliuretano [015]



(p) 88% Nomex IIIA®, 12% poliuretano [016]

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3
Resumen de resultados de propiedades mecánico-sensoriales calculadas usando los modelos desarrollados.

Código	Telas	Flexibilidad	Energía de Compresión	Extensibilidad	Resiliencia	Fricción Superficial	Coefficiente de Fricción	θ	Contorno de Superficie
		[N • m]	[N • m/m ²]	[%]	[N • m]	[N]	Pendiente $\alpha = \tan\theta$	(N)	
1	100% algodón A	68.01	9.5117E+06	45.52%	2125.99	13.63	0.9004	42.0	0.9832
2	100% algodón B	20.66	5.8113E+06	48.76%	607.22	5.33	0.4877	26.0	0.4895
3	100% algodón C	3.60	8.6501E+05	39.40%	114.10	0.95	0.0787	4.5	0.0917
4	100% algodón D	5.56	1.0768E+06	48.52%	217.21	1.42	0.0963	5.5	0.0950
5	Algodón FR	25.49	7.1105E+06	48.48%	826.08	6.61	0.5430	28.5	0.5210
6	100% lana	6.51	1.7184E+06	51.90%	655.54	1.61	0.0875	5.0	0.0884
7	100% acetato	1.64	2.9769E+05	32.54%	38.94	0.39	0.0524	3.0	0.0540

Código	Telas	Flexibilidad	Energía de Compresión	Extensibilidad	Resiliencia	Fricción Superficial	Coefficiente de Fricción	θ	Contorno de Superficie
		[N•m]	[N•m/m ²]	[%]	[N•m]	[N]	Pendiente $\alpha = \tan\theta$	(N)	
8	100% poliéster	1.25	3.8657E+05	51.83%	69.41	0.32	0.0175	1.0	0.0278
9	Aramida / carbón	7.04	1.6549E+06	47.24%	193.18	1.68	0.1405	8.0	0.1464
10	Aramida / viscosa FR	10.12	1.6368E+06	41.69%	317.47	2.60	0.1944	11.0	0.1979
11	Meta-aramida/ PBI	5.36	1.0353E+06	43.53%	138.63	1.35	0.1139	6.5	0.1192
12	Para-aramida/ PBI	21.34	2.5299E+06	41.97%	646.60	5.38	0.2867	16.0	0.3450
13	100% polipropileno	6.29	2.1772E+06	44.34%	108.63	1.65	0.1051	6.0	0.1104
14	Aramida / poliuretano	22.99	5.2299E+06	47.86%	509.66	5.87	0.3057	17.0	0.3654
15	Aramida / poliuretano	13.48	3.5161E+06	45.89%	448.24	3.54	0.2493	14.0	0.3045
16	Aramida / poliuretano	35.73	9.3469E+06	49.74%	839.92	9.88	0.5430	28.5	0.7236

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4 Clasificación de telas de acuerdo a sus propiedades mecánico-sensoriales (mano).

	Flexibilidad	Compresibilidad	Extensibilidad	Resiliencia	Fricción Superficial	Contorno Superficial
Flexible ↑	100% polyester	100% acetato	100% acetato	100% acetato	100% poliéster	100% poliéster
	100% acetato	100% poliéster	100% algodón C	100% poliéster	100% acetato	100% acetato
	100% algodón C	100% algodón C	Aramida/ viscosa FR	100% polipropileno	100% algodón C	100% lana
	Meta-aramida/PBI	Meta-aramida/PBI	Para-aramida/ PBI	100% algodón C	Meta-aramida/ PBI	100% algodón C
	100% algodón D	100% algodón D	Meta-aramida/PBI	Meta-aramida/PBI	100% algodón D	100% algodón D
	100% polipropileno	Aramida/ viscosa FR	100% polipropileno	Aramida/ carbón	100% lana	100% polipropileno

Continúa en la siguiente página.

	Flexibilidad	Compresibilidad	Extensibilidad	Resiliencia	Fricción Superficial	Contorno Superficial
↓ Neutro ↑	100% lana	Aramida/ carbón	100% algodón A	100% algodón D	100% polipropileno	Meta- aramida/PBI
	Aramida/ carbón	100% lana	15 Aramida/ poliuretano	Aramida/ viscosa FR	Aramida/ carbón	Aramida/ carbón
	Aramida/ viscosa FR	100% polipropileno	Aramida/ carbón	15 Aramida/ poliuretano	Aramida/ viscosa FR	Aramida/ viscosa FR
	15 Aramida/ poliuretano	Para-aramida/ PBI	14 Aramida/ poliuretano	14 Aramida/ poliuretano	15 Aramida/ poliuretano	15 Aramida/ poliuretano
	100% algodón B	15 Aramida/ poliuretano	Algodón FR	100% algodón B	100% algodón B	Para-aramida/ PBI
	Para-aramida/ PBI	14 Aramida/ poliuretano	100% algodón D	Para-aramida/ PBI	Para-aramida/ PBI	14 Aramida/ poliuretano
	14 Aramida/ poliuretano	100% algodón B	100% algodón B	100% lana	14 Aramida/ poliuretano	100% algodón B
	Algodón FR	Algodón FR	16 Aramida/ poliuretano	Algodón FR	Algodón FR	Algodón FR
	16 Aramida/ poliuretano	16 Aramida/ poliuretano	100% poliéster	16 Aramida/ poliuretano	16 Aramida/ poliuretano	16 Aramida/ poliuretano
	↓ Rígido	100% algodón A	100% algodón A	100% lana	100% algodón A	100% algodón A

Viene de la página anterior
Fuente: Elaboración propia

Para determinar la exactitud, precisión del método desarrollado y el tamaño mínimo de la muestra a evaluar, se calcularon las desviaciones estándares y coeficientes de variación de la carga máxima para cada muestra basados en los diez especímenes evaluados. El Cuadro 5 muestra los resultados de estos cálculos, en donde se puede observar que la variación estándar varía con el valor promedio de las muestras, aunque los coeficientes de variación muestran menos variación, con un valor promedio de $14.56 \pm 5.6\%$. Esta pequeña variación puede ser explicada en función de la variedad de estructuras, tipos de fibras evaluadas y el uso de solo una boquilla de extracción; es posible que, dependiendo de la estructura de una tela, sea necesario el uso de varios diámetros de boquillas y establecer un factor de corrección por diámetro.

El factor de precisión del método fue establecido utilizando la ecuación dada en la norma CAN/CGSB-4.2 No. 1 M87, Exactitud y Precisión de Mediciones, párrafo 8.4 ya que se estableció que la desviación estándar varía con el valor promedio de cada muestra:

$$\frac{\sigma'_\mu}{\mu'} = \frac{\sigma'}{\mu'} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}} \tag{E. 9}$$

El valor de precisión calculado fue de 0.0460 ± 0.0178 N. Este resultado permite establecer que el método puede medir variaciones en el rango de centi-Newtons.

El tamaño de la muestra fue determinado utilizando la ecuación dada también por la norma CAN/CGSB-4.2 No. 1 M87, párrafo 8.6.2:

$$N = \left(\frac{v'}{E} \right)^2 \quad E. 10$$

En donde: N es el número de especímenes a evaluar por muestra, v' es el promedio de los coeficientes de variación, y E es el error estándar de la muestra expresado en porcentaje.

El valor de N fue calculado en 9 especímenes para un valor de E = 5%, y de solo 3 especímenes para un valor de 10%, el cual es la norma. En esta investigación se evaluaron 10 especímenes por muestra. Se puede de-

ducir de lo anterior que una evaluación de cinco especímenes por muestra podrá generar resultados precisos.

Para establecer la capacidad de diferenciación del método propuesto, se condujo un análisis de varianza (ANOVA) de un factor utilizando la herramienta estadística en Excel® versión 2010 (Cuadro 6).

Los resultados muestran que las 16 muestras son significativamente diferentes en el nivel de 95% de confianza, por lo que se rechaza la hipótesis nula de la igualdad de medias entre las muestras.

Cuadro 5
Variación estadística de los resultados por muestra

Código	Muestras de Telas	Carga Máxima [N]	Variación Estándar [N]	Coefficiente Variación [%]
001	100% algodón sin tratar A: lona	89.11	9.2434	10.37%
002	100% algodón sin tratar B: sarga	32.69	4.7290	14.47%
003	Algodón blanqueado C: popelina	3.74	0.5065	13.56%
004	Algodón teñido D: franela	9.21	0.7935	8.62%
005	100% algodón FR: sarga	43.23	7.1166	16.46%
006	100% fieltro de lana cruda	26.19	2.2698	8.67%
007	100% acetato brillante: plano	0.97	0.1676	17.37%
008	100% poliéster (PET): tejido de punto	2.21	0.2010	9.09%
009	93% meta-aramida/5% para-aramida/2% cobertura de carbón: plano	9.28	1.3603	14.66%
010	50/50% meta-aramida/rayón viscosa FR: sarga	11.81	2.2089	18.70%
011	80% meta-aramida/20% Poly-benzimidazole (PBI): plano	5.51	0.9125	16.56%
012	60% para-aramida/40% Poly-benzimidazole (PBI): plano	22.81	2.8167	12.35%

Continúa en la siguiente página.

Código	Muestras de Telas	Carga Máxima [N]	Variación Estándar [N]	Coficiente Variación [%]
013	No tejido 100% polipropileno de tres capas (Spunbond (filamentos de 3 denier) – Meltblown (3-10 micrones) – Spunbond	5.92	1.8050	30.48%
014	86% Nomex IIIA®, 14% poli-uretano (Vapro 525 NWR®): compuesta	25.84	3.6160	13.99%
015	86% Nomex IIIA®, 14% poli-uretano (Vapro 625 WR®): compuesta	19.08	1.5389	8.07%
016	88% Nomex IIIA®, 12% poli-uretano (X-liner 60®): compuesta	45.82	8.9264	19.48%

Viene de la página anterior
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6
Análisis de varianza (ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	75326.06	15	5021.737	278.7399	2.8784E-98	1.736359
Dentro de los grupos	2594.283	144	18.01586			
Total	77920.34	159				

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y Recomendaciones

Durante la presente investigación se estableció un método cuantitativo para evaluar las propiedades mecánico-sensoriales (mano) de superficies textiles. Así también, modelos teóricos de propiedades mecánico-sensoriales fueron desarrollados desde curvas de extracción generadas por el método de extracción (del anillo), y siete descripto-

res de propiedades mecánico-sensoriales (mano) han sido propuestos. Estas magnitudes físicas están también relacionadas con términos relacionados con la evaluación subjetiva de la mano de telas como es definida por la norma ASTM D123-07, A3. Términos Relacionados con la Mano de Telas.

De los análisis de cada diagrama de extracción, los valores de las seis magnitudes de

los descriptores calculadas usando los modelos desarrollados y de los valores de las características de construcción de las telas evaluadas, se concluyó que los modelos teóricos matemáticos establecidos durante este estudio pueden evaluar cuantitativamente las propiedades mecánico-sensoriales (mano) de diferentes tipos de telas en términos de tipo de tejido, peso y grosor de la tela, acabados de superficie, etc.

Además, se estableció mediante los cálculos del factor de precisión y el tamaño de la muestra a evaluar que el método propuesto es bastante preciso y se pueden obtener resultados apropiados con un número reducido de especímenes, con un valor del 5% de error estándar. El análisis ANOVA de un factor demostró que el método es capaz de diferenciar significativamente telas en términos de sus propiedades mecánico-sensoriales en el 95% de las veces, al comparar el valor de F de 278.74 y el valor crítico de F de 1.74.

Para ahondar en la exactitud, precisión y universalidad del método propuesto, así como confirmar las validaciones interna y externa del mismo, se recomienda continuar las siguientes investigaciones, a saber:

Investigar el uso de boquillas de extracción de diferentes diámetros, y otros tipos de materiales como cerámica, plástico, bronce, entre otros.

Adaptar el método desarrollado para otros tipos de aparatos medidores de propiedades mecánicas de telas.

Comparar los resultados cuantitativos obtenidos siguiendo el método acá propuesto con resultados de evaluaciones subjetivas siguiendo

métodos estandarizados como la evaluación AATCC, Procedimiento 5.

Establecer un protocolo de evaluación entre diferentes laboratorios para establecer la validación externa.

Notas

1. (Spunbond (filamentos de 3 denier) – Meltblown (3-10 microns) – Spunbond.
2. Tela compuesta de dos capas.
3. Todas las definiciones dadas fueron tomadas de ASTM D123-07, A3. Términos relacionados con la mano de telas.
4. La segunda definición es dada por los modelos teóricos desarrollados durante este estudio.
5. Las seis propiedades mecánico-sensoriales son determinadas a partir de los valores de carga y desplazamiento.
6. American Association of Textile Chemists & Colorists (Asociación Americana de Químicos y Teñidores Textiles).
7. A measure of the total amount of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) emissions of a defined population, system or activity, considering all relevant sources, sinks and storage within the spatial and temporal boundary of the population, system or activity of interest. Calculated as carbon dioxide equivalent (CO₂e) using the relevant 100-year global warming potential (GWP₁₀₀) (Wright, Kemp, and Williams, 2011).

Bibliografía

- Alley Jr., V.L. and McHatton, A.D. (1976). A proposed quantitative measure of fabric handle and the relative characterisation of some aerospace materials by handle moduli (Una medición cuantitativa propuesta de la mano de las telas y la caracterización relativa de algunos materiales aeroespaciales por el módulo de la mano). US Air Force Geophysics Laboratory Special Report No. 200 (AFGL-TR-76-0306).
- Alley, V.L., Jr. (1980). Revised theory for the quantitative analysis of fabric hand (Revisión de la teoría de los análisis cuantitativos de la mano de telas). *Journal of Engineering and Industry*, 102, 25–31.
- Behery, H. M. (1986). Comparison of fabric hand assessment in the United States and Japan (Comparación de las evaluaciones de la mano de telas en los EE.UU y Japón). *Textile Research Journal*, 56, 227.
- Behery, H.M. and Monson, J.A. (1981). Evaluation of an engineering approach to assessment of fabric hand (Evaluación de un método de ingeniería para la evaluación de la mano de tela). *Industry Engineering Chemistry, Product Research Development*, 20, 13.
- Bishop, D.P. (1994). *Fabrics: Sensory and mechanical properties (Telas: Propiedades sensoriales y mecánicas)*. *Textile Progress*, 26 (3). The Textile Institute.
- Brand, R H., (1964). Measurement of fabric aesthetics - analysis of aesthetic components (Medición de la estética de tela- análisis de los componentes estéticos). *Textile Research Journal*, 34, 791.
- Elder H. M., Fisher S., Armstrong K., Hutchison G. (1984). Fabric softness, handle, and compression (Suavidad de tela, mano y compresión). *Journal of the Textile Institute*, 75 (1), 3-46.
- Ellis, B.C. and Garnsworthy, R.K. (1980). A review of techniques for the assessment of hand (Una revisión de las técnicas para la evaluación de la mano). *Textile Research Journal*, 50, 231.
- Fourt, L. and Hollies, N.R.S. (1970). *Clothing: Comfort and function (Vestuario: Confort y función)*. New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- Grover, G., Sultan, M. A., and Spivak, S. M. (1993). A screen technique for fabric handle (Una técnica de detección de la mano de telas). *Journal of the Textile Institute*, 84, 486–494.
- Hoffman, R. M., and Beste, L. F. (1951). Some relations of fiber properties to fabric hand (Algunas relaciones entre propiedades de las fibras y la mano de telas). *Textile Research Journal*, 21, 66-77.
- Kawabata, S. (1973). Characterization method of the physical property of fabrics and the measuring system for handle-feeling evaluation (Caracterización del método de la propiedad física de las telas y el sistema de medición para la evaluación de la sensación de la mano). *Textile Machinery Society of Japan*, 26 (10), 721-728.

- Kawabata, S. (1982). The development of the objective measurement of fabric handle (El desarrollo de la medición objetiva de la mano de telas). In "Proceedings of First Japan-Australia Symposium on Objective Specification of Fabric Quality, Mechanical Properties, and Performance, Kyoto, 1982" (edited by S. Kawabata, R. Postle, and M. Niwa), Textile Machinery Society of Japan, Osaka, Japan, pp. 31-59.
- Kawabata, S., Niwa, M., Ito, K., and Nitta, M. (1990). Application of objective measurement to clothing manufacture (Aplicación de la medición objetiva a la manufactura de ropas). *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2(3), 18-33.
- Kim, J.O. and Slaten. B. L. (1996). Objective assessment fabric handle in fabrics treated with flame retardants (La evaluación objetiva de la mano en telas tratadas con retardantes a la llama). *Journal of Testing and Evaluation*, 24(4), 223-228.
- Kim, C.J. and Vaughn, E.A. (1975). Physical properties associated with fabric hand (Propiedades físicas asociadas con la mano de telas), in *Book of Papers, AATCC Conference, 1975* (pp. 78-95). Research Triangle Park, NC: American Association of Textile Chemist and Colorists.
- Postle, R. (1989). Fabric objective measurement technology: 1. Historical and background development (Tecnología de medición objetiva de telas: 1. Desarrollo histórico y de fondo). *Textiles Asia*, 20 (7), 64-66.
- Pan, N., Yen, K. C., Zhao, S. J., and Yang, S. R. (1988a). A new approach to the objective evaluation of fabric handle from mechanical properties. Part I: Objective measure for total handle (Un nuevo enfoque para la evaluación objetiva de la mano de tela desde propiedades mecánicas. Parte I: Medición objetiva de la mano total). *Textile Research Journal*, 58, 438-444.
- Pan, N., Yen, K. C., Zhao, S. J., and Yang, S. R. (1988b). A new approach to the objective evaluation of fabric handle from mechanical properties, Part II: Objective measure for primary handle (Un nuevo enfoque para la evaluación objetiva de la mano de tela desde propiedades mecánicas. Parte II: Medición objetiva de la mano primaria). *Textile Research Journal*, 58, 531-537.
- Pan, N., and Yen, K. C. (1992). Physical interpretations of curves obtained through the fabric extraction process for handle measurement (Interpretaciones físicas de curvas obtenidas mediante el proceso de extracción de telas para la medición de la mano). *Textile Research Journal*, 62, 279-290.
- Pan, N., Zeronian, S. H., and Ryu, H. S. (1993). An alternative approach to the objective measurement of fabrics (Un enfoque alternativo para la medición objetiva de telas). *Textile Research Journal*, 63, 33-43.
- Peirce, F. T. (1930). The handle of cloth as a measurable quantity (La mano de telas como una cantidad medible). *Journal of the Textile Institute*, 21, T377-T416.
- Tester, D., and De Boos, A. (1990). Get it right FAST time (Hacerlo bien en tiempo FAST). *Textile Horizon*, 10(8), 13.