

ALBERTO ROSA SIERRA

Estrategia de diseño basada en nuevos materiales



EDITORIAL
UNIVERSITARIA

Libros que transforman

cuaad

Centro Universitario de
Arte, Arquitectura y Diseño

Universidad
de Guadalajara



Estrategia de diseño basada en nuevos materiales

ALBERTO ROSA SIERRA

Estrategia de diseño basada en nuevos materiales

 EDITORI
AL UN
IVE RS
ITARIA
Libros que transforman

cuaad
Centro Universitario de
Arte, Arquitectura y Diseño

**Universidad
de Guadalajara**



Marco Antonio Cortés Guardado
Rectoría General

Miguel Ángel Navarro Navarro
Vicerrectoría Ejecutiva

José Alfredo Peña Ramos
Secretaría General

Mario Alberto Orozco Abundis
Rectoría del Centro Universitario
de Arte, Arquitectura y Diseño

Itzcóatl Tonatiuh Bravo Padilla
Rectoría del Centro Universitario
de Ciencias Económico Administrativas

José Antonio Ibarra Cervantes
Corporativo de Empresas Universitarias

Javier Espinoza de los Monteros Cárdenas
Dirección de la Editorial Universitaria

Primera edición, 2013

Textos
© Alberto Rosa Sierra

Subdirección
Edgardo Flavio López Martínez

Coordinación editorial
Sayri Karp Mitastein

Producción
Jorge Orendáin Caldera

Diseño de interiores, portada y formación
López. Diseño y Comunicación Visual

Corrección
Sandra Elizabeth Hernández Zamora



Este trabajo está autorizado bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercialSinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND) lo que significa que el texto puede ser compartido y redistribuido, siempre que el crédito sea otorgado al autor, pero no puede ser mezclado, transformado, construir sobre él ni utilizado con propósitos comerciales. Para más detalles consúltese <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Todos los derechos de autor y conexos de este libro, así como de cualquiera de sus contenidos, se encuentran reservados y pertenecen a la Universidad de Guadalajara. Por lo que se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso por escrito del titular de los derechos correspondientes. Queda prohibido cualquier uso, reproducción, extracción, recopilación, procesamiento, transformación y/o explotación, sea total o parcial, sea en el pasado, en el presente o en el futuro, con fines de entrenamiento de cualquier clase de inteligencia artificial, minería de datos y texto y, en general, cualquier fin de desarrollo o comercialización de sistemas, herramientas o tecnologías de inteligencia artificial, incluyendo pero no limitando a la generación de obras derivadas o contenidos basados total o parcialmente en este libro y/o en alguna de sus partes. Cualquier acto de los aquí descritos o cualquier otro similar, está sujeto a la celebración de una licencia. Realizar alguna de esas conductas sin autorización puede resultar en el ejercicio de acciones jurídicas.

Rosa Sierra, Alberto
Estrategia de diseño basada en nuevos
materiales / Alberto Rosa Sierra. -- 1a
ed. -- Guadalajara, Jalisco : Editorial
Universitaria : Universidad de Guadalajara.
Centro Universitario de Arte, Arquitectura
y Diseño, 2013.
124 p. : il. ; 23 cm.) -- (Colección
Monografías de la Academia)
Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978 607 450 682 2
1. Diseño industrial 2. Materiales-
Innovaciones tecnológicas I. t. II. Serie

745.2 .R78 CDD
TS171 .R78 LC

D.R. © 2013, Universidad de Guadalajara



Editorial Universitaria
José Bonifacio Andrada 2679
Colonia Lomas de Guevara
44657 Guadalajara, Jalisco

01 800 834 54276
www.editorial.udg.mx

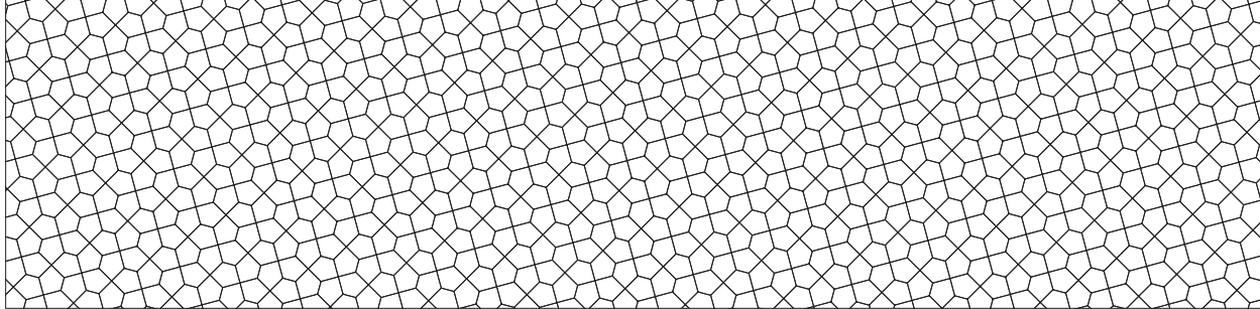
ISBN 978 607 450 682 2

Marzo de 2013

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Índice

- 7 Introducción
- 13 Capítulo 1. Estrategia de diseño basada en nuevos materiales
- 22 Capítulo 2. La historia de los materiales y su influencia en los productos actuales
- 42 Capítulo 3. La caracterización de los materiales
- 80 Capítulo 4. El desarrollo de nuevos materiales
- 95 Capítulo 5. Propiedades sensoriales de los materiales
- 117 Conclusiones



Introducción

Materiales y diseño

Vivimos en un mundo de materiales; son éstos los que proporcionan la sustancia de todo cuanto podemos ver y tocar. Nuestra especie (*Homo sapiens*) se diferencia de las demás, quizá, por la habilidad que tenemos para diseñar (desarrollar cosas con materiales), y en la habilidad para ver en un objeto más que solamente su forma exterior.

Los objetos que creamos, pueden cargar con asociaciones de símbolos o más ideas abstractas. Los objetos que diseñamos, tanto simbólicos como utilitarios, apelan a un lenguaje previamente reconocido, reconociendo así, una temprana evidencia de la cultura social y del razonamiento simbólico.

Algunos de estos objetos tienen un propósito predominantemente funcional: la rueda de molino accionada por agua, el motor de vapor, la turbina de gas, etc. Otros fueron (y son) puramente simbólicos o decorativos: las pinturas rupestres en las cavernas de Lascaux, las máscaras de madera de los tastoanes, las esculturas de mármol de la antigua Grecia, etc. Pero los objetos más significantes combinan la funcionalidad con lo simbólico y decorativo. La combinación es quizá más obvia en la arquitectura; los grandes arquitectos han creado por siglos, algunas estructuras que han tenido funciones prácticas, así como expresan la visión y pensamiento de sus clientes o culturas: el Coliseo de Roma, el edificio Empire State de Nueva York o el Museo Nacional de Antropología en el DF, cada uno como ejemplo de la mezcla de lo técnico y lo estético (figura 1).



Figura 1. Máscaras *tastoanes* fabricadas en Jocotán, Santa Ana Tepetitlán y Tonalá. Museo regional de Tonalá, Jalisco.

Fuente: La Jornada Jalisco. Máscaras de Tastoanes en Tonalá. Imagen tomada del sitio de La Jornada Jalisco: <http://www.lajornadajalisco.com.mx/2012/07/13/mundo-tastoan-un-recorrido-por-las-varias-expresiones-de-una-tradicion/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

En menor escala, los diseñadores de producto buscan la mezcla de lo técnico con lo estético, combinando las funciones prácticas con las funciones perceptuales. Pensemos en las vajillas chinas, el cristal Tiffany, los muebles estilo Chippendale, las sillas Thonet, todos ellos, productos que fueron creados con un propósito eminentemente práctico y funcional, pero que han sobrevivido a lo largo del tiempo y son atesorados actualmente más por su función estética, considerados como clásicos. Ahora pensemos también en los instrumentos musicales: el violín o el clavicordio; o las armas antiguas de guerra: los escudos de caballeros o las cachas decoradas de un revólver antiguo. Todos ellos son productos creados de forma que expresan los aspectos culturales de sus creadores y el deseo de los mismos de elaborar objetos, tanto útiles como atractivos (figura 2).



Figura 2. Silla Thonet No. 14 (1859).

Fuente: TON. Chair No. 14. Imagen tomada del sitio de TON: <http://www.ton.cz/en/chairs-3/detail1/chair-no-14-311014-.html> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

El público —llamado consumidores—, adquiere dichos productos porque le gustan; los aman, incluso. Ahora bien, para tener éxito, el producto debe, obviamente, funcionar apropiadamente, pero no es suficiente: éste debe ser fácil y conveniente de usar, así como poseer una personalidad que satisfaga, que proporcione “placer” al utilizarle. Esto último (*personalidad*) depende fuertemente del diseño industrial del producto. Cuando muchos productos tecnológicamente iguales compiten, el mercado es dominado (o perdido) a través de la apariencia visual o táctil, la asociación que genera el producto, la manera en que éste es percibido y las emociones que genera. El consumidor ahora está a la expectativa de recibir más por su producto que sólo la función utilitaria en cada objeto que compra. Crear esto es la parte central del diseño.

Ahora bien, los avances tecnológicos en los materiales ayudan grandemente al avance del diseño industrial. Es aquí que requerimos la definición de una palabra: “inspiración”, habilidad para estimular pensamientos creativos. Los desarrollos de nuevos materiales y procesos son fuente de inspiración para diseñadores de producto, sugiriendo nuevas soluciones visuales, táctiles, esculturales y espaciales al diseño de productos.

Cabe mencionar que los ejemplos actuales son una muestra de ello: la habilidad de pigmentar y moldear polímeros brillantes, o de obtener formas traslúcidas; la capacidad de moldear elastómeros para obtener texturas suaves junto a rígidas (como los productos *Ergo-safe* de Black & Decker); superficies de alto brillo, o que reflejan o difuminan la luz; fibras compuestas de carbono de extraordinaria resistencia (como las usadas en las cañas de pesca); estructuras delicadas, y muchas aplicaciones más. En cada uno de estos ejemplos, los productos innovadores han sido inspirados por el uso creativo de materiales y procesos (figura 3).



Figura 3. Línea de electrodomésticos “Ergo-safe” de Black & Decker.

Fuente: Chef’s Joy. Black & Decker EHC650 Ergo 3-Cup Chopper. Imagen tomada del sitio Chef’s Joy: <http://www.chefsjoy.com/food-processors/black-decker-ehc650-ergo-3-cup-chopper/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Es así que los materiales cumplen con dos principales roles en la conformación de productos: la parte que aporta una función técnica, y aquella que crea la personalidad del producto. No obstante, es aquí donde se nota un claro desbalance entre ambas funciones. Los diseñadores “técnicos” (ingenieros), tienen normalmente acceso a la información técnica que se requiere para el manejo y proceso de materiales (manuales, *software* especializado para la selección de materiales, servicios técnicos de los proveedores de materiales, etc.), así como información para el análisis y optimización del

uso de materiales, y procesos para el desarrollo de productos. Por otra parte, los diseñadores industriales expresan frustración por la carencia de un soporte técnico equivalente. En la educación superior dicha discrepancia existe: la enseñanza de la ciencia de materiales en las carreras de ingeniería es altamente desarrollada y sistematizada, apoyada por numerosos textos, revistas y conferencias. No existe tal abundancia de apoyos para la enseñanza de materiales y procesos en diseño industrial.

Así pues, intentar disminuir esta brecha de información y métodos no es sencillo. El lenguaje técnico utilizado por los ingenieros no es de uso común entre los diseñadores industriales. Por otra parte, los diseñadores industriales expresan sus ideas para el uso de materiales de tal manera, que los ingenieros la describen como “vaga y de pobre análisis cualitativo”. La meta o intención de este texto es tratar de describir de manera simple, y sobre todo muy práctica, el conocimiento de la ciencia de materiales, así como su aplicación en el diseño y desarrollo de productos.

Para terminar, cabe agregar el comentario de que el presente texto está elaborado a partir de diferentes escritos que, a manera de conferencias, ponencias y artículos, se han elaborado en los últimos años. El hilo conductor de todos ellos es el uso de materiales y su aplicación al diseño y desarrollo de productos. Algunos de los textos son muy técnicos; sin embargo, se ha considerado conveniente dejar este nivel de técnica para que el diseñador se empape de la terminología utilizada en la ciencia de materiales.

CAPÍTULO 1

Estrategia de diseño basada en nuevos materiales

Introducción

¿Qué tienen en común los productos de compañías tan diferentes como los productos de Apple, Nike, Nokia o BMW? Bueno, pues además de ser líderes en sus diferentes segmentos de mercado, estas compañías están ahora desarrollando productos con un alto grado de innovación. De hecho, todas ellas están creando sus productos con una nueva metodología de diseño conocida como “*Innovation driven by design*”, que traducida al castellano sería “Innovación dirigida por diseño”.

El mejor ejemplo de esta metodología lo podemos observar en la línea de productos de Apple, que inició con el lanzamiento del iPod el 23 de octubre de 2001. Según Walter Isaacson, en el libro biográfico de Steve Jobs, después de desarrollar la plataforma iTunes, creada para no dejar fuera al Mac del negocio de la música, descubrió que los reproductores de MP3 que ya existían eran muy limitados, así que se aventuró a crear un dispositivo excepcional para su época, poniendo a su equipo como reto que debía almacenar al menos 1,000 canciones... algo inimaginable en esa fecha. Y en efecto, sabemos que lo lograron; sin embargo, el éxito estribaba en que además de ser un excepcional producto (figura 4), se comunicaba de manera natural con la plataforma en línea iTunes, cosa que ningún otro reproductor MP3 tenía.



Figura 4. Primer reproductor iPod, Apple Computer (2001).

Fuente: Imagen tomada del sitio de Doobybrain.com: <http://www.doobybrain.com/2009/08/20/press-images-of-the-first-generation-ipod-5gb/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

De esta manera, la empresa Apple desarrollo no sólo el producto, sino que le dio valor añadido al dotarlo de la plataforma en línea, expandiendo así la experiencia hacia el servicio.

El principio de esta metodología de diseño, es la de crear experiencias asociadas a cada producto (Shedroff, 2008), siendo estas experiencias intensas y de fácil recordación. Y es aquí que, para lograr esas experiencias y sensaciones en el uso de los productos, se recurre al uso de nuevos materiales, desarrollados en muchos de los casos especialmente para ser aplicados a productos específicos.

Factores de innovación

En estos tiempos, los diseñadores deseamos que todo producto que surja de nuestra mente sea tan innovador como sea posible; no obstante, debemos de observar que existen tres tipos de factores de innovación para la empresa. El primero es el factor que involucra a los consumidores, y al cual llamaremos “deseabilidad”. En este factor el producto debe de ser lo suficientemente atractivo y deseable, para lo cual el diseñador debe de conocer muy bien al usuario al que va dirigido el producto: ¿Qué le gusta?, ¿con

qué se identifica?, ¿qué colores, líneas, etc., le atraen a este consumidor?, de tal manera que podamos conseguir esa deseabilidad en nuestro producto.

Por otra parte, el segundo factor es de negocio. No perdamos de vista que el diseño, desarrollo y fabricación de productos atienden a un requerimiento empresarial en el cual se trata de hacer negocio de manera lícita. Para ello, el empresario desea obtener una “viabilidad” económica que permita obtener ganancias de la fabricación de este producto.

Finalmente, el tercer factor es de tipo técnico, y al cual llamaremos “factibilidad”, lo que significa que el producto diseñado sea posible de reproducir de la manera más fácil, lógica y económicamente posible. Es entonces que surge la pregunta: ¿Qué se puede hacer durante el diseño y desarrollo de productos para atender de la mejor manera estos tres factores de innovación? La respuesta es sencilla: el material que conforma al producto es la clave, ya que una atinada elección del mismo logrará que el producto sea “deseable”, tenga “viabilidad” económica y sea “factible” de producirse. Asimismo, las empresas que han decidido cumplir estos tres factores basándose en la selección de materiales, son las que están desarrollando una *estrategia de diseño basada en materiales*.

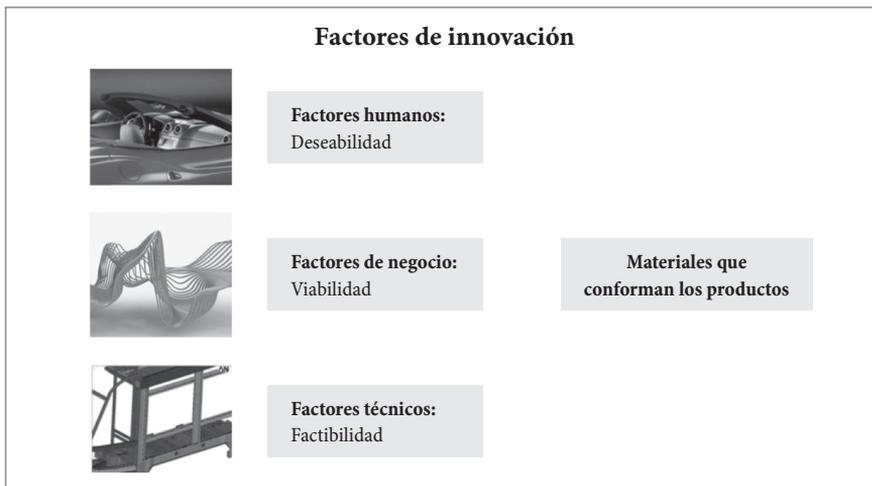


Figura 5. Factores de innovación.

Fuente: Elaboración propia.

Veamos algunos casos que ejemplifican esta propuesta.

Ordenadores portátiles de uso rudo

Un ejemplo de esta estrategia lo encontramos en la computadora portátil de Apple MacBook, fabricada enteramente en aluminio, lanzada al mercado en octubre de 2008. Según comenta Jonathan Ive, jefe de diseño de Apple, son tres las propuestas de valor que presenta dicho producto: el primero, es el material y proceso de fabricación usado en el portátil. Para darle robustez y ligereza se eligió una placa de aluminio de 20 mm de espesor, fundido y rolando especialmente para Apple. Una vez obtenida la placa, se procesa mediante maquinaria de control numérico computarizado (CNC), dejando los huecos donde irán las teclas y los componentes internos. Las perforaciones de las bocinas se fabrican con láser. De esta forma, se obtiene un cuerpo para el ordenador ligero (2,490 g y 2.41 cm de grosor, para el modelo de pantalla de 15”), pero resistente al rudo uso que reciben los ordenadores portátiles (figura 6).



Figura 6. Computadora portátil MacBook Pro, Apple Computer (2008).

Fuente: Imagen tomada del sitio de Appleizados: <http://appleizados.com/wp-content/uploads/2012/10/macbookpro133.jpg> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Las otras dos propuestas de valor de dicho portátil son: el alto grado de usabilidad que esta marca se ha empeñado en buscar, en este caso, con la introducción de un gran “*trackpad*” personalizable a diferentes movimientos naturales de la mano. En tercer lugar, se mencionan los adelantos en la electrónica interna del equipo, especialmente la introducción de una tarjeta de procesamiento de video. Es curioso, pero este apartado fue siempre el gran argumento de venta de este tipo de productos, siendo relegado cada vez más por la usabilidad, y muy especialmente, en este caso, por el uso de materiales.

Espumas súper ligeras

Así como Apple está desarrollando una estrategia de diseño basada en el uso de nuevos materiales, la compañía de artículos deportivos Nike, está introduciendo modelos de zapatillas deportivas, cuyo diseño, además de seguir las tendencias actuales, presenta grandes avances en el desarrollo de materiales. Un ejemplo de esto es el modelo denominado “*Lunar trainer*”, cuya suela está fabricada con un material patentado por Nike llamado “*Lunar Foam*”. Dicho compuesto es súper ligero, hasta un 30% menos que un espumado plástico común para suela de zapatilla. Además, este material ha sido desarrollado por Nike en conjunto con la NASA en sus laboratorios, empleando más de 3 años para su desarrollo. A modo de ejemplo, una zapatilla del número 9 de este modelo pesa sólo 250 g, mientras que una zapatilla normal de entrenamiento ligera pesa aproximadamente 340 g. Actualmente Nike desarrolla un modelo llamado “*Lunaracer*”, especial para correr la prueba de maratón, el cual tiene como objetivo que sólo debe de pesar 156 g.



Figura 7. Zapatilla deportiva Nike, modelo “*Lunar trainer*” (2008).

Fuente: Nike Lunar Trainer Womens 2008. Imagen tomada del sitio de Shoeguide: http://www.shoeguide.co.uk/media/product_images/main/PRO832_922_nike-lunar-trainer-womens-2008-6.jpg (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Nuevas relaciones hombre-máquina

Por su parte, la empresa automotriz alemana BMW, dentro de su programa de investigación, presentó en el Automóvil Show de Ginebra de 2008, un nuevo auto concepto. Su nombre es GINA, que significa en inglés: “*Geometry*

in N adaptations”, el cual rompe un paradigma en la fabricación de vehículos, puesto que es un automóvil tipo “roadster” (de dos plazas), mismo que no está construido por placas metálicas convencionales para formar la carrocería, sino que su estructura es una malla forrada de un tejido que se adapta a dicha estructura como una piel, lo más parecido a un “zeppelin”.

Bajo el tejido, la malla es dinámica, pues ésta se adapta a las necesidades del vehículo; por ejemplo, al adquirir velocidad en el camino, una computadora central acciona unos mecanismos que hacen que se eleve la parte trasera del vehículo, formando un “spoiler” que desvía el aire desplazado, logrando mayor adherencia del auto al camino. Asimismo, las puertas se “abren” de manera natural, sin bisagras o goznes; lo mismo para abrir el cofre o capó. En el video de presentación, la compañía automotriz se hace una serie de reflexiones acerca de la nueva manera de cómo se plantea la relación hombre-automóvil, ya que por las posibilidades de adaptación de esta nueva propuesta automotriz, los autos se “acomodarán” al tamaño y características físicas del usuario, y no al revés, como pasa actualmente.

Obviamente, la tecnología de materiales y fabricación aplicada en este concepto es muy costosa, lo que por el momento lo hace inviable para su comercialización. Sin embargo, muestra muy bien el concepto que ahora estas empresas están desarrollando, basando su innovación en el uso de nuevos materiales.



Figura 8. GINA, BMW (2009).

Fuente: DieselStation.com. BMW GINA Concept Car 2009. Imagen tomada del sitio de DieselStation.com: <http://www.dieselstation.com/wallpapers/albums/BMW/GINA-Concept/bmw-gina-concept-2009-14.jpg> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

El uso de materiales a futuro

El desarrollo de nuevos materiales ha ido dejando obsoletas las clasificaciones tradicionales de los materiales, siendo ahora las nuevas familias: cerámicas, metales, polímeros, materiales compuestos, biomateriales, semiconductores, superconductores, materiales magnéticos y catalizadores. El futuro está en la mezcla de todo ellos.

Así, los nuevos materiales con que conformaremos nuestros productos durante el siglo XXI, se desarrollarán a partir de materiales ordinarios (cerámicas, metales, polímeros, materiales compuestos y biomateriales), y tendrán tres adjetivos principales: serán nanomateriales, materiales inteligentes y materiales biomiméticos.

Es decir, la habilidad para controlar, manipular y diseñar materiales en la escala será de tamaño nanométrica (la escala nanométrica equivaldría a la visión humana aumentada 100,000 veces). Los nanomateriales serán uno de los motores conductores de los avances tecnológicos del siglo XXI. Los materiales inteligentes revolucionarán nuestra forma de concebir la síntesis de materiales: al estar diseñados para responder a estímulos externos, extender su vida útil, ahorrar energía, o simplemente ajustarse para ser más confortables al ser humano.

Al respecto, ya Nokia lanzó en 2008 el concepto “*Morph*”, que está desarrollando conjuntamente con el Centro de Investigaciones en Nanociencias de la Universidad de Cambridge, Inglaterra. El concepto que han desarrollado consta de un aparato multifuncional, mezcla de teléfono, agenda, ordenador, reproductor de música, etc., el cual tiene como principal característica el estar fabricado con un polímero flexible; con una red nano-electrónica, lo cual hace invisible al ojo humano los circuitos, además de poder recargarse vía panel solar.



Figura 9. Concepto Nokia Morph (2008).

Fuente: Imagen tomada del sitio de Future Generation Technology: <http://posteritytechnology.blogspot.mx/2011/06/nokia-morph-nanotechnology-mobile-phone.html> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Por otra parte, el desarrollo de materiales “inteligentes” los hará auto-replicantes, auto-reparables e, incluso, si es necesario, auto-destructibles, reduciéndose con ello los residuos, y aumentando su eficiencia. Los materiales biomiméticos buscan replicar o “mimetizar” los procesos y materiales biológicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Conocer mejor los procesos utilizados por los organismos vivos para sintetizar minerales y materiales compuestos servirá, por ejemplo, para desarrollar materiales ultra-duros y, a la vez, ultraligeros.

Conclusión

Los ejemplos de la aplicación de estrategias de diseño, basada en nuevos materiales aplicados en productos son muchos, desde la introducción de nuevos materiales en ambientes donde antes no se utilizaban; por ejemplo, el uso de carcasas de madera en ordenadores de sobremesa y portátiles, hasta la adaptación y/o sustitución de materiales con una fuerte carga de sustentabilidad.

Cabe resaltar que aunque los ejemplos anteriormente citados son de grandes empresas que invierten millones de dólares en programas de in-

vestigación, es posible aplicar los mismos principios a pequeñas empresas productoras de bienes de consumo locales.

La tarea del diseño es acercarse a la ciencia de materiales, romper la barrera que separa a los expertos en materiales y a los que imaginamos y materializamos los productos; una de las áreas que los ingenieros de materiales ven como frontera es cómo el uso de los materiales aplicados a un producto crea la personalidad del mismo.

Asimismo aún se encuentra en discusión la relación entre el uso de los materiales y la percepción que el usuario tiene de ellos, así como las funciones asociativas de los materiales en la aplicación en productos (Ashby, 1992). En este sentido es la valía del trabajo del diseño y desarrollo de productos que apenas se está reconociendo por la ciencia de materiales. A lo largo del presente texto se tratará con mayor profundidad esta relación entre el uso de materiales y las cuestiones perceptuales por parte de los usuarios.

Bibliografía

ASHBY, M. (1992). *Materials selection in mechanical design*. Oxford: Elsevier books.

ISAACSON, W. (2011). *Steve Jobs: La biografía*. Barcelona: Random House Mondadori.

SHEDROFF, N. (2008). *Experience design 1*. San Francisco, California: Waite Group Press.

CAPÍTULO 2

La historia de los materiales y su influencia en los productos actuales

2.1 Desarrollo histórico de los materiales para el envasado de tequila

El tequila es para México, en lo general, y el estado de Jalisco, en lo particular, un producto que representa y sintetiza la imagen de nuestra cultura; fruto de la mezcla de lo indígena y lo español, lo local y lo extranjero, una perfecta simbiosis, un mestizaje completo.

Desde tiempos precolombinos, los indígenas nahuas conocían las bondades del pulque y el aguamiel: jugos fermentados extraídos de los agaves y magueyes del imperio azteca.

Este rico brebaje, conocido como pulque, era destinado a las grandes festividades, a los altos miembros de la realeza, sacerdotes y ancianos, quienes podían beberlo con moderación. De hecho, la embriaguez era mal vista en las culturas precortesianas. Además, la diosa Mayahuel era quien había traído desde alguno de los trece cielos del panteón azteca la bebida sagrada, por lo que se le reverenciaba siempre que se ingería.

Por otra parte, es hasta que los españoles arriban al nuevo mundo, que se prohíbe la producción de fermentados y licores, para favorecer las importaciones de la corona, por lo que el nacimiento del tequila debió aguardar trescientos años hasta el triunfo de la independencia; un nuevo producto

que recoge viejas prácticas mediante un proceso que ya no va a estar en manos de la comunidad indígena: la destilación quedó en manos de los españoles, quienes iniciaron una actividad productiva que se vinculó al mercado más temprano que tarde. Se inició así el desarrollo de plantaciones propiamente dichas.

Para el siglo XVII y XVIII, eran indiscutiblemente los hacendados españoles quienes detentaban los recursos económicos necesarios para desarrollar este proceso productivo y generar el inicio de especialización en la región.

Hay que señalar que no sólo la planta que le da origen y, por supuesto, el conocimiento respecto a su tratamiento agrícola, constituyen la herencia prehispánica, sino que también forman parte de esta herencia algunas técnicas del proceso de transformación, como la cocción o tatemación; los españoles intervinieron sólo al final del proceso introduciendo la destilación, vieja práctica europea de origen árabe.

Es así, como menciona Luna Zamora (1993), que a diferencia de los anteriores cultivos y productos que podemos considerarlos como ibéricos, el tequila se agrega como un producto mestizo al patrón de consumo del país.

Sin lugar a dudas, durante los primeros doscientos años de existencia de la industria del tequila, obtuvo un crecimiento modesto. Su escasa difusión en este periodo no es una casualidad, ya que en pleno auge del dominio colonial, no podía ser menos que un producto marginal a la agricultura europea, prohibido como lo fueron durante la colonia ésta y otras bebidas, ya que “[...] la elaboración de aguardientes fue pertinazmente prohibida para favorecer la importación de ‘caldos, vinos y aguardientes’ españoles” (Florescano y Gil, 1976: 271).

Asimismo, es importante subrayar que al igual que las manufacturas desarrolladas en Jalisco, la industria del tequila tuvo un origen artesanal; parte importante del proceso productivo fue una herencia prehispánica. Su surgimiento resulta similar, y puede, como hemos dicho, entenderse en el marco del Jalisco del siglo XVIII.

Sin embargo, su difusión no fue mayor que a la región de Tequila y la capital del estado: Guadalajara. Las primeras ventas fuera de la región se dieron hacia la zona minera de Guanajuato, donde los mineros buscaban ahogar sus penas con bebidas fuertes. Durante doscientos años la venta del vino-tequila se presentó a granel, siendo su distribución en barricas o toneles de poca capacidad, apenas para poder ser cargada a lomo de burro.

Los primeros envases

Los primeros envases en los cuales se comercializaba el vino de mezcal, eran barricas de madera, siguiendo la usanza española de conservar los vinos en barricas. Esto para efectos de maduración no tiene ningún sentido, ya que al ser el tequila un doble destilado, es muy difícil que cambie de manera natural su color o aroma, tal y como lo hacen los vinos de uva. Sin embargo, por la tradición vitivinícola, el uso de la barrica o tonel fue lo que prevaleció hasta fines del siglo XIX, además, la industria del vidrio en México tardó en desarrollarse (figura 10).



Figura 10. Interior de la destilería "La Riojeña" (1795), donde se muestra el envasado de tequila en barricas y en "damajuanas".

Fuente: Michael Calderwood, Revimundo. Sin título. 1998. Imagen tomada del libro *Tequila, tradición y destino* de Enrique Martínez Limón.

Todo intento por establecer una industria vítrea en la Nueva España, por pequeña que fuese, se veía obstaculizado con severos impuestos por parte de la corona española. Al tiempo, debido a la abundancia de la plata en México,

el vidrio no reemplazó fácilmente el uso de vajillas metálicas entre las familias acomodadas. La población indígena y otros sectores sociales continuaron utilizando vasos y recipientes de cerámica, porcelana y madera primordialmente, y asimilaron la costumbre del uso del vidrio de forma paulatina.

Por otra parte, la escasez de la “barrilla”, variedad vegetal esencial para la producción del vidrio mexicano, así como la crisis que afectó al vidrio español durante el siglo XVII, y casi lo llevó a la bancarrota, se reflejó también en las colonias americanas. Además, a diferencia de varias naciones europeas que contaban con establecimientos protegidos por los monarcas o por el Estado, en México no hubo una fábrica “oficial” para la elaboración del vidrio durante los tres siglos de virreinato. En consecuencia, el vidrio mexicano continuó trabajándose en forma artesanal y en pequeños talleres.

Ahora bien, los primeros envases de vidrio para conservación de vinos y licores fabricados en México, son unos botellones obtenidos mediante el proceso de sople en vidrio verde. A éstos les conoció popularmente como “damajuanas” o “damasanas”, siendo el primer nombre el más común. Normalmente la capacidad de estos botellones es de 20 litros aproximadamente, y se utilizaron para conservar alcoholes, vinagres, vinos, destilados y solventes. Era muy común en las boticas el uso de estos recipientes, por lo que fácilmente se introdujeron a la hacienda tequilera. Se fabricaban originalmente en Monterrey, en la recién inaugurada Vidriera Monterrey (1901), ya que en Jalisco, el único taller de vidrio, el taller de la familia Ornelas, se dedicaba a la creación de piezas decorativas y pequeños recipientes, tales como perfumeros, jarras y vasijas (figura 11).



Figura 11. Damajuana realizada en vidrio soplado recubierta de carrizo.

Fuente: Imagen tomada en el Museo del Tequila, Tequila, Jalisco. Colección particular del autor.

Para su fácil transportación y almacenamiento, las damajuanas fueron dotadas de estructuras metálicas o de madera para asirse al cargar. Sin embargo, para el tequila, especialmente, se confeccionaron “botas” o tejidos en carrizo, otate y mimbre, siendo este último el que más resistía para su transportación por los arrieros desde las destilerías de Tequila hacia Guadalupe, el Puerto de San Blas y el Bajío, zonas de consumo de vino-mezcal.



Figura 12. Damajuana forrada con fibras vegetales para evitar su roce con otras al cargarse en lomos de caballos.

Fuente: Michael Calderwood, Revimundo. Sin título. 1998. Imagen tomada del libro *Tequila, tradición y destino* de Enrique Martínez Limón.

Cabe decir que este tipo de botellones se continuó utilizando hasta entrado el siglo xx, cayendo en desuso al desaparecer los arrieros y sus sistemas de distribución a “lomo de caballo”. No obstante, la introducción del tequila en botellas etiquetadas para su venta al menudeo fue muy lenta, ya que la costumbre era la venta a “granel”.

A saber, la creación de la primera botella de tequila corresponde a don José Cuervo, quien en 1845, para festejar el primer cincuentenario de la creación de la destilería “La Riojeña”, decide regalar a sus clientes y amigos producto envasado. Para ello, encarga la fabricación de botellas de cerámica, siendo éstas las primeras botellas de tequila. La forma de estas botellas recuerda más un contenedor de perfume que de licor, no presenta etiqueta, sino que llevan marcadas en las paredes laterales el nombre “José Cuervo” y la palabra “Cincuentenario” (figura 13).



Figura 13. Primera botella de tequila de la Casa José Cuervo.

Fuente: Imagen tomada de la colección particular de “Los Tequilas de Don Rafael”.

Asimismo, la aparición de la primera etiqueta corresponde también a don José Cuervo, quien para la exposición de 1888 de Artes y Oficios en Guadalajara exposición realizada a la usanza de las exposiciones europeas tan en boga a fines del siglo XIX fabrica en cerámica otro modelo de botellas, a las cuales les integra su escudo heráldico, creando con esto, la primera etiqueta (figura 14).



Figura 14. Primera etiqueta de tequila de la Casa José Cuervo.

Fuente: Imagen tomada de la colección particular de “Los Tequilas de Don Rafael”.

Por otra parte, la misma destilería encarga a principios de siglo un embarque de licoreras a Alemania, siendo éste el primer envase de vidrio para tequila, lamentablemente, aún no hemos localizado ninguna muestra.

Desde entonces, y a muy pequeña escala, se fueron introduciendo poco a poco botellas de tequila; sin embargo, existía una limitante muy grande, siendo que no existía en la región una fábrica de vidrio que soportara la demanda que la industria del tequila requería, implicando traer botellas desde la capital del país, lo que encarecía el proceso de embotellado.

Así pues, es hasta 1949, con motivo de la gran adulteración de tequila que se practicaba, que se emitió una disposición de carácter federal que obligaba a todas las empresas a vender su producto envasado y no en barriles. Tuvieron que pasar varios meses para que todos los industriales del tequila acataran esta disposición; esta nueva norma creó dificultades a grandes y pequeños industriales, sobre todo a estos últimos, pues les exigía realizar inversiones en maquinaria, personal y reacondicionamiento de locales donde poder ubicar la envasadora, además de establecer los conductos por medio de los cuales garantizar el aprovisionamiento constante de botellas, corcholatas, etiquetas y cajas de cartón, insumos provenientes de la ciudad de México. Finalmente, es hasta 1951, con la inauguración de la Vidriera Guadalajara, que este problema de suministro de botellas queda subsanado (figura 15).

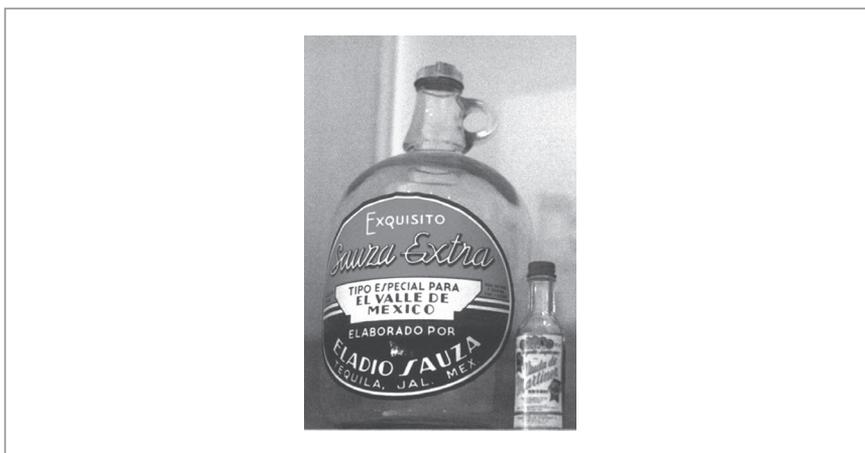


Figura 15. Uso de bidones genéricos para los primeros envases de tequila.

Fuente: Imagen tomada en el Museo del Tequila, Tequila, Jalisco. Colección particular del autor.

El tequila y el cine

Aparejada a la disposición de envasado, se dio un fenómeno social muy interesante que vino a popularizar el consumo del tequila. Este fenómeno es la llamada “Época de oro del cine mexicano”, aparecida durante la Segunda Guerra Mundial; cuando en Hollywood se dedican a realizar películas de instrucción para la guerra, en el país se dan las condiciones para el auge del cine. Una de las temáticas recurrentes de ese periodo, es el campo y las tradiciones de México, por lo que es casi obligado que en estas cintas aparezca una cantina y el protagonista detrás de una botella de tequila, bebiéndolo “derecho”, esto es, “puro”, utilizando limón y sal como acompañantes. Con lo que el cine vino a dar al tequila la mejor publicidad posible, convirtiéndose así, en parte de la identidad nacional, junto con la música de mariachi y la charrería (figura 16).

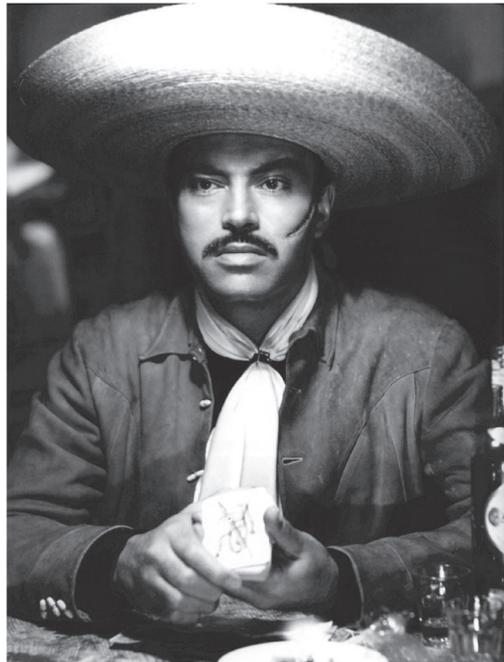


Figura 16. Fotograma de película de la llamada “Época de oro” del cine nacional. Se destaca la botella de tequila en primer plano.

Fuente: Fotograma de la película *Juan Charrasqueado* (1947), interpretada por Pedro Armendáriz y dirigida por Ernesto Cortázar.

En cuanto a la evolución del envase y la etiqueta del tequila, en la segunda mitad del siglo xx se dio en forma exponencial, alcanzando su auge en el llamado “boom del tequila” a mediados de los años ochenta, debido a esta gran demanda y a la aparición de nuevas marcas, propiciado por los mismos productores, quienes solicitan al gobierno la modificación de la norma oficial, permitiendo la elaboración de tequila con tan sólo el 51% de azúcares provenientes del agave. Hasta este momento, el envasado y etiquetado seguía conservando su aspecto tradicional, sobre todo, las marcas que provenían de las destilerías tradicionales.

Sin embargo, por tratar de satisfacer la creciente demanda, el gobierno facilitó la inserción de extranjeros y personas sin tradición en la industria tequilera, lo que resulta en la creación de marcas y envases que rayan en lo ridículo. Algunas de estas marcas, no sólo se alejan de la tradición y contexto cultural del tequila, sino que además lo ridiculizan y degradan su fuerte carga de historia y contexto socio-cultural.

Por tal motivo, es a través de este estudio —que se encuentra en proceso—, que se busca establecer los patrones históricos y culturales que han formado el envasado y etiquetado de la bebida nacional, misma que es considerada dentro y fuera de México como parte intrínseca de nuestra nacionalidad. La intención, además, es poder sugerir a las autoridades que regulan esta actividad, directrices de cómo deben ser realizadas las botellas, etiquetas y marbetes, para que, sin coartar la creatividad, no se alejen de los símbolos tradicionales que confluyen en nuestra bebida. Asimismo, se pretende diseñar una serie de botellas, de las cuales se donarán los derechos de uso a los organismos que aglutinan a los pequeños productores, para que éstos puedan utilizar dichos envases para competir con las grandes productoras.

Primera fase del estudio

Análisis formal de las “damajuanas”

En esta primera etapa de la investigación se procedió a realizar un análisis formal de una “damajuana”, para ello se consiguió una pieza antigua que aún se utiliza para almacenar “raicilla”, la cual es un mezcal serrano que se produce en la zona de Mascota, Jalisco (figura 17).

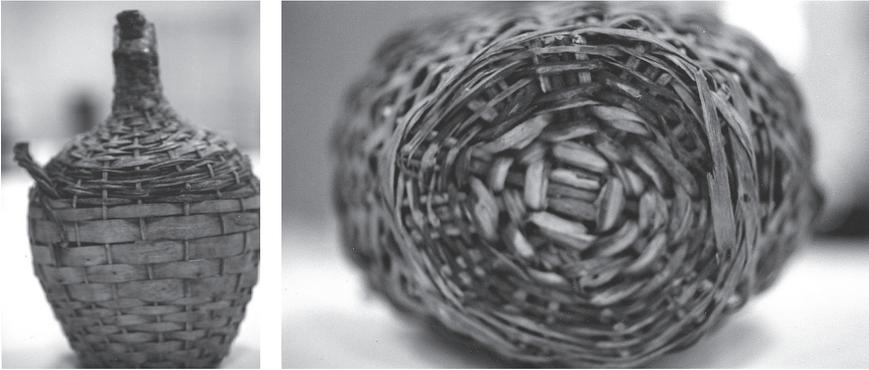


Figura 17. Damajuana usada para el estudio formal.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Para el análisis se utilizó el método propuesto por György Doczi (1999) en su obra *El orden de las cosas*, arquitecto húngaro, estudioso de la geometría, y que propone el llamado método dinérgico, el cual se explica a continuación:

[...] El nombre sección áurea (de oro) se debe tanto a la singularidad de esta relación proporcional como al valor característico que se le atribuye. En cualquier línea existe un solo punto donde se la puede dividir en dos partes desiguales de este modo singularmente recíproco; se lo llama el punto de la sección áurea. La total reciprocidad de esta proporción nos impacta, en particular por armoniosa y placentera, lo cual ha sido demostrado desde fines del siglo XIX por numerosos experimentos científicos. También es evidente la preferencia por esta proporción en la normalización de los tamaños de papel, incluso en el papel moneda, los cheques y las tarjetas de crédito, que tienden a reproducirla.

Con frecuencia se ha demostrado que las proporciones de la sección áurea aparecen comúnmente en los patrones del desarrollo orgánico, en particular entre los crecimientos antiguos y nuevos, que se hallan cerca unos de otros. Ésa es la razón por la que el biólogo C.H. Waddington propuso llamar a esta proporción parentesco entre vecinos.

Muchas palabras se refieren a distintos aspectos del proceso de formación según el modelo de unión de los opuestos, pero aunque resulte extraño, ninguno expresa su poder generativo. Polaridad implica los opuestos, pero no

indica el nacimiento de algo nuevo. Dualidad y dicotomía señalan división, pero no aluden a la unión. Sinergia indica unión y cooperación, pero no se refiere específicamente a los opuestos.

Ya que no existe un único término adecuado para describir este proceso universal de creación con base a determinado modelo, proponemos una nueva palabra: dinergia, compuesta por los vocablos griegos, día “de un lado al otro, a través, opuesto”, y “energía” (pp. 2-3).

Utilizando este método, se procedió a la graficación e interpretación de resultados que a continuación se muestran (figuras 18 y 19).

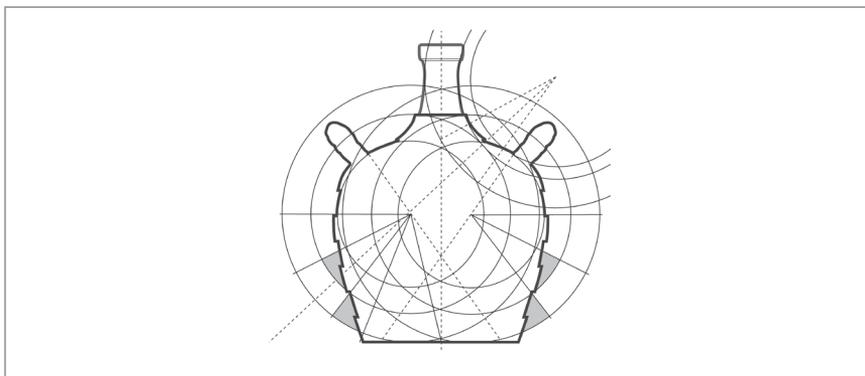


Figura 18. Primera parte del análisis formal (método dinérgico) de las botellas “damajuanas”. Fuente: Elaboración propia.

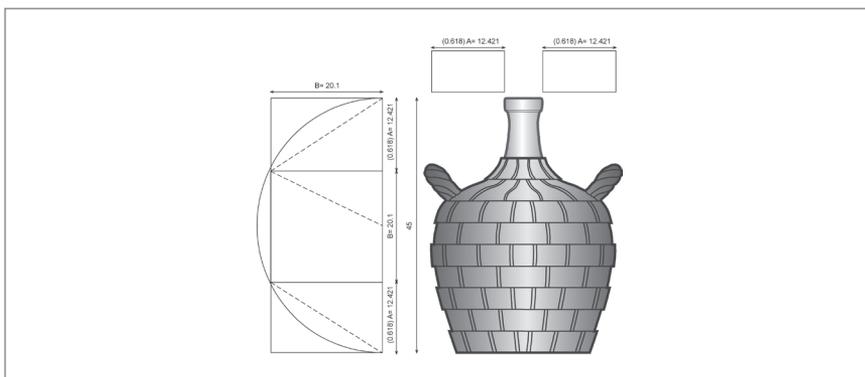


Figura 19. Segunda parte del análisis formal (método dinérgico) de las botellas “damajuanas”. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

De acuerdo al estudio geométrico y una vez establecidas las proporciones geométricas y las relaciones (derivaciones) dinérgicas, se establece la siguiente conclusión: la forma de las damajuanas está dada por dos justificaciones, la física y la plástica. La primera corresponde al mundo material, que corresponde al proceso de sople con el cual se fabricaban estos contenedores; en los cuales el vidrio al rojo se encuentra en un estado plástico de la materia, por lo que al ser soplado, sigue la forma de una gran gota de vidrio fundido. En la naturaleza las formas son bellamente proporcionales y armónicas, en tanto, el resultado de esta “gran gota” de vidrio, no podría ser otra que una que sigue los patrones áureos.

Por su parte, la justificación plástica es muy simple, ya que intuitivamente el hombre actúa y razona siguiendo los patrones naturales, mismos que se encuentran dentro de los cánones de la sección áurea. Es muy probable que los creadores de las damajuanas, al ser un producto artesanal, no repararan en medir y establecer un patrón específico para las botellas; sin embargo, la maestría en el manejo del material y la habilidad en el proceso de sople les confirió a los recipientes una belleza plástica digna de los mejores ejemplos de la cerámica utilitaria fabricada en la antigua Grecia.

El siguiente paso de la investigación nos deberá llevar a establecer si las botellas de tequila utilizadas durante el periodo “clásico” (1940-1970), hasta antes del llamado “boom del tequila” —que es donde intervienen personas ajenas a la tradición—, de alguna manera conservan estos patrones de proporción. Habrá que tomar en cuenta que estas botellas son ya producidas de manera industrial con moldes, ya no de manera artesanal; sin embargo, algunas, como el modelo clásico de José Cuervo, establecieron un patrón a seguir dentro de la industria tequilera.

Segunda fase del estudio

Catálogo de botellas

Esta fase se encuentra actualmente en proceso, y consiste en la clasificación de todas las botellas de tequila que han surgido al mercado desde 1845 a la fecha. Como podrá entenderse, es un proceso arduo y que implica revisar

con coleccionistas, productores y aficionados para reunir la mayor cantidad posible de botellas y etiquetas. Hasta el momento llevamos más de 300 botellas registradas. Obviamente, las más antiguas son difíciles de localizar, mas continuamos en la labor (figura 20).

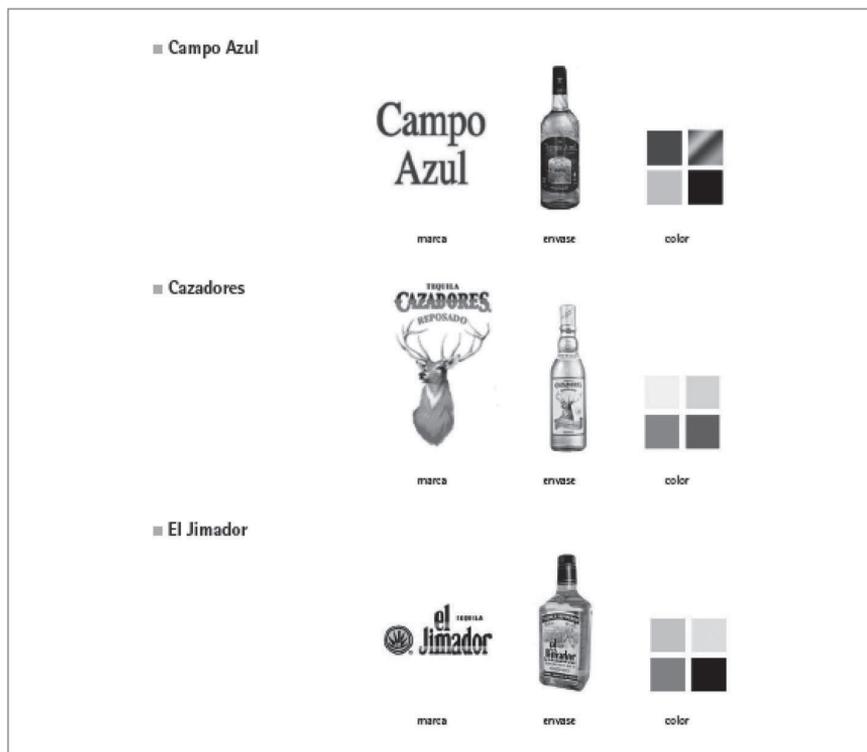


Figura 20. Parte del catálogo de botellas, marcas y elementos gráficos.

Fuente: Imagen cedida por el diseñador Edgardo Flavio López Martínez, Catálogo visual de marcas, botellas y colores de etiquetas de tequila.

Conclusión

La participación del diseño en el presente estudio permitirá conocer el desarrollo del envasado y etiquetado de nuestra bebida nacional, aportando a las autoridades lineamientos que permitan en un futuro la creación de normas para la introducción de envases que dignifiquen y reflejen la herencia cultural que nuestra bebida posee y ha ganado a lo largo del tiempo.

Bibliografía

- DOCZI, G. (1999). *El poder de los límites: proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura*. Buenos Aires: Editorial Troquel.
- FLORESCANO, E. Y GIL, S.I. (1976). La época de las reformas borbónicas y el crecimiento económico, 1750-1808. En Cosío Villegas, D. (Comp.), *Historia general de México*. Tomo 2. México: El Colegio de México.
- LUNA ZAMORA, R. (1993). Mestizaje y el tequila. En Fernández Sotelo, R.D. (Ed.), *Herencia española en la cultura material de las regiones de México. Casa, vestido y sustento* (pp. 407-430). Michoacán: El Colegio de Michoacán.

2.2 El futuro del plástico

Intentar predecir el futuro es tarea ingrata, pero intentaremos, con base a la información con que contamos, plantear un panorama del futuro del plástico.

Básicamente podemos agrupar las tendencias de desarrollo de la industria del plástico en tres grandes áreas:

- Nuevas tecnologías para el procesamiento y el acabado.
- Nuevas formulaciones y compuestos.
- Aspectos medioambientales y económicos de la industria del plástico.

Nuevas tecnologías en el proceso

Es importante mencionar que en esta área el avance es significativo, ya que la informática, la microelectrónica, la automatización y los sistemas CAD-CAE (Diseño asistido por computadora e Ingeniería asistida por computadora) dejan sentir su avance en la maquinaria de transformación del plástico. A modo de ejemplo, podemos comentar que las nuevas máquinas de inyección eléctricas mejoran en precisión y velocidad a las tradicionales inyectoras hidráulicas. Por otra parte, la integración de sistemas de CAE permiten el mejor control de la producción.

Asimismo, los avances también se dan en el diseño y desarrollo de maquinaria especializada para determinados procesos u operaciones. Un ejemplo de ello son las máquinas de moldes rotatorios que permiten in-

yectar espumas y que, al girar el molde, permiten que estas espumas se expandan; otro ejemplo son las máquinas de inyección multicomponente que permiten inyectar piezas de diferentes colores y materiales al mismo tiempo (figura 21).



Figura 21. Luces traseras Renault Scenic 2010, inyección multicomponente en 3 colores y sobreinyección.

Fuente: HD Car wallpapers. 2010 Renault Scenic rear lights. Imagen tomada del sitio de HD Car wallpapers: <http://www.listofcarbrands.com/2010-renault-scenic-rear-lights/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

La tecnología de moldes también ha avanzado gracias a la electrónica, ya que los nuevos moldes cuentan con sensores que monitorean el proceso de inyección en todo momento.

En el aspecto de simulación, los avances en *software* de modelado por elementos finitos permiten pasar del diseño previo de la pieza a una simulación total de la producción para calcular tiempos, costos y posibles fallos en las piezas. La tendencia, incluso, es realizar pruebas de desempeño mecánico (el término correcto es: *caracterización mecánica*) de estas mismas piezas con estos paquetes computacionales, mucho antes de que las piezas estén siquiera fabricadas, con lo que se ahorra tiempo y dinero (figura 22).

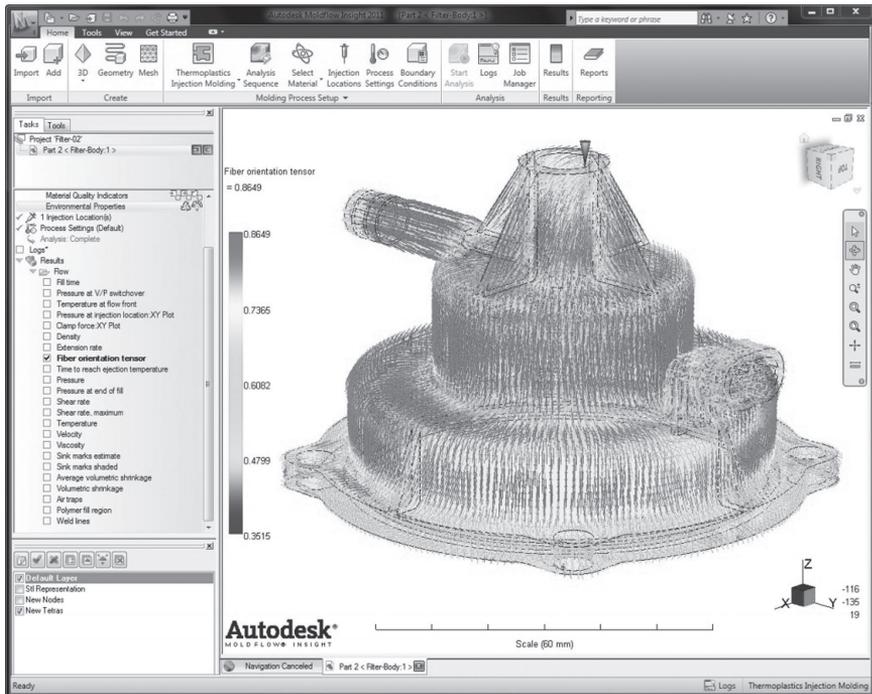


Figura 22. Software de simulación de inyección (Autodesk Moldflow Insight 2011). En este caso se simula la orientación de fibra al finalizar el llenado de la cavidad.

Fuente: Moldflow Algor Interop. Sin título. Imagen tomada del sitio de Form Loves Function: <http://www.formlovesfunction.com/category/process/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Otro avance significativo y con gran futuro es en el área de acabados. Ahora se están desarrollando técnicas novedosas, como el llamado *In mould decoration*, que consiste en colocar dentro del molde de inyección: textiles, calcomanías o impresos, para que al momento de sacar las piezas del molde, éstas ya estén terminadas. Un ejemplo de esto lo vemos en los paneles de puertas de automóviles, donde en el momento de la inyección se ha colocado un textil que es el acabado final. Las calcomanías permiten obtener envases decorados desde el proceso de inyección (figura 23).



Figura 23. Ejemplo de *In mould decoration*, interior de puerta (Audi A3) con aplicaciones textiles laminadas al momento de la inyección.

Fuente: Peguform, Bötzingen. Sin título. Imagen tomada del sitio de Konsens: [http://www.konsens.de/44.html?&tx_ttnews\[tt_news\]=53&cHash=06349501893be614d1fd72ceaae03c43&L=1](http://www.konsens.de/44.html?&tx_ttnews[tt_news]=53&cHash=06349501893be614d1fd72ceaae03c43&L=1) (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Nuevas formulaciones y compuestos

La historia del plástico es una donde siempre se ha buscado mejorar las prestaciones del material, siendo ésta una historia que aún tiene mucho para concluir. La estructura química de las macromoléculas o polímeros no es muy complicada, ya que están formadas por una o varias estructuras químicas sencillas que se repiten decenas o miles de veces; de ahí su gran tamaño. Este tipo de estructura característica, es lo que permite combinar diferentes tipos de componentes para formular polímeros que cumplan los requerimientos de nuestros diseños. Al respecto, las grandes industrias químicas, cada año lanzan al mercado nuevos tipos de plásticos con mayores prestaciones en comportamiento mecánico (más resistencia al impacto, mejor resistencia al rayado, etc.), al comportamiento térmico (más resistencia al calor) o mejoras en sus cualidades físicas (más transparentes o mejores colores).

Por otra parte, se formulan aditivos y pigmentos que mejoran a los polímeros clásicos de toda la vida. Nuevos colores, colores nacarados, fosforescentes o reflejantes son sólo un ejemplo de la introducción de novedades en esta área. Un ejemplo de avances en aditivos es el utilizado para marcaje por láser. Al plástico común empleado para fabricar botellas (polipropileno, por ejemplo) se le adiciona este aditivo, el cual permite —al exponer las botellas a una fuente de láser— marcar o grabar las botellas (figura 24).



Figura 24. Marcaje con láser de piezas plásticas gracias a un aditivo sensible.

Fuente: GCSAL. Sin título. Imagen tomada del sitio de GCSEAL: <http://www.cngcseal.com/bolt-seals/> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Un caso especial es el desarrollo de materiales compuestos (*composites*), los cuales prometen un futuro de materiales con una dureza y resistencia extraordinaria, junto con ligereza y posibilidades de moldeo sin límites. Así la tradicional fibra de vidrio (resina poliéster reforzada con fibra de vidrio), ha dado paso a una nueva gama de materiales compuestos; un ejemplo de ello son las fibras de carbono y las fibras de boro, las cuales tienen una resistencia superior a la de algunos metales, con la ventaja de que pesan hasta un tercio menos.

Otra área en expansión es la de las espumas, a las que se busca que sean cada vez más resistentes con menor peso.

Asimismo, la nanotecnología también ha encontrado en el sector de los plásticos cabida. Ahora se están introduciendo cargas de nanopartí-

culas a los polímeros para mejorar sus características. Así, con la adición de cargas de arcilla se ha podido doblar la resistencia de filmes utilizados para fabricar bolsas o recubrimiento de frutas y carnes; la ventaja es que el compuesto añadido es de tamaño nanométrico (0.000000001 mm), por lo que no afectan las propiedades visuales de la película, es decir, sigue igual de transparente y brillante. Esta área aún experimental promete mejorar las características de los polímeros hasta niveles jamás pensados (figura 25).



Figura 25. Prototipo de automóvil deportivo "zaZen", desarrollado por Rinspeed y Bayer Material Science. El uso exploratorio del plástico en este auto predice el uso de este material en los próximos años: cúpula del techo y armazones de los asientos transparentes y ligeros, luz de freno holográfica, recubrimiento de poliuretano autocurativo, asientos con cojines de gel transparente y rines en polímero ultra-resistente (2008).

Fuente: Bayer MaterialScience. Sin título. Imagen tomada del sitio de Bayer MaterialScience: <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/industries/automotive/index.html> (fecha de recuperación: 9 de febrero de 2013).

Aspectos medioambientales y económicos de la industria del plástico

El plástico encuentra en el tema de la ecología su principal detractor. La imagen que desde la escuela primaria nos acompaña de un vertedero es una montaña de basura coronada por bolsas plásticas de supermercado y botellas de plástico. Por ello el tema del medio ambiente impacta en el desarrollo futuro de la industria del plástico.

Al respecto, se ha trabajado en varias vertientes, la primera de ellas es en el reciclaje. Las investigaciones actuales están dirigidas a investigar la reutilización de los diferentes tipos de plásticos. Un problema que se presenta es que, por término general, un material plástico reciclado es de mayor costo que el original, debido a los gastos utilizados en la recogida, separación, reproceso y comercialización. Sin embargo, las estrategias comerciales avanzan en la producción de polímeros de alto rendimiento a bajo costo a partir de material reciclado (figura 26).

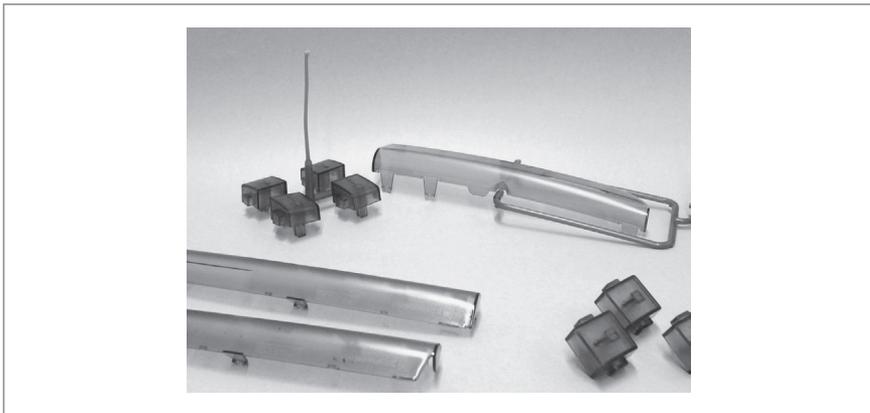


Figura 26. Piezas de televisión realizadas en PET procedentes de botellas de refresco recicladas. Centro Catalán del Plástico (2004).

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Otra vía es el uso de procesos de degradación favorecidos por aditivos en la formulación del producto original; un ejemplo de ello son los fotoaditivos, que con la exposición a los rayos UV del sol comienzan la degradación del material, y el desarrollo de bacterias que puedan degradar los plásticos.

CAPÍTULO 3

La caracterización de los materiales

3.1 Estudio de la adhesión en estructuras poliméricas bicapas, obtenidas por diferentes métodos de transformación¹

Introducción

La tendencia actual del mercado demanda productos que presenten características ergonómicas avanzadas al tacto, como el agarre, la protección contra impacto, el aislamiento de vibraciones y la estética del producto. Así pues, una manera de obtener las características ergonómicas deseadas en los productos es combinando materiales rígidos y flexibles (Varma, 2003). Para ello se utilizan TPE's (elastómeros termoplásticos) sobrepuestos por diferentes técnicas de producción sobre polímeros rígidos. El proceso de transformación más empleado es la llamada inyección multicomponente; otros procesos de transformación han sido poco reportados en la literatura (Messouid, 2003; Selden,

¹ El presente apartado es un reporte técnico de una investigación en materiales realizada por el autor. El lector encontrará mucha información técnica del proceso y de la caracterización de los materiales. Para efectos del presente texto, se han dejado estos términos técnicos, para de alguna manera denotar que el diseñador debe de empaparse y conocer de los mismos, si es que desea verdaderamente influir en el diseño y aplicar la estrategia de diseño basada en el uso de materiales. *Investigación desarrollada en el Centro Catalán del Plástico, España.*

2000), por lo que se ha considerado interesante estudiarlos para contrastar los resultados de los ensayos con los del método de sobreinyección.

Existen varias teorías que se han desarrollado para explicar el proceso de adhesión en las estructuras. Individualmente, cada una de ellas no permite describir el complejo proceso de adhesión en la mayoría de los casos; sin embargo, cada teoría contribuye a entender el proceso (Wu, 1982; Kinloch, 1987). Dichas teorías son denominadas como: Teoría de la adhesión mecánica, Teoría de la difusión, Teoría de la atracción de carga eléctrica y Teoría de la absorción.

Cabe mencionar que en el presente estudio hemos considerado estas teorías para explicar el fenómeno de la adhesión en las estructuras bicapa; esta primera etapa de la investigación se ha enfocado al estudio de la interfase de los componentes en función de diversas variables que afectan a la adhesión entre los componentes del sistema (temperatura, presión y rugosidad de las superficies), modificando las mismas en la medida que los diferentes procesos de transformación lo permiten.

Procedimiento experimental

Materiales

La parte superficial de la estructura bilaminar es un poliuretano termoplástico (TPU), Pearlthane D15N70, que con dureza Shore 72 A, fue proporcionado por la industria química Merquinsa. El sustrato rígido empleado es un copolímero de metacrilato de metilo y ABS (MABS), Terlux 2812 TR (MFI= 220 °C/10 min/10 kg/28 g), que ha sido proporcionado por la compañía alemana BASF.

Preparación de probetas

Para obtener las probetas para ensayos se han preparado cuatro tipos de estructuras bilaminares en forma de placas planas y probetas tipo halterio, ambas obtenidas por sobreinyección, placas obtenidas por compresión y filmes bicapa obtenidos por coextrusión.

En la realización de las placas sobreinyectadas (100 x 100 mm), se ha utilizado la técnica de transferencia, en la que el material que es previamente inyectado (MABS) sirve como núcleo o sustrato para el segundo (TPU). En

todos los casos el TPU se inyecta sobre el MABS debido a que la temperatura de distorsión de este último es mayor que la del TPU, minimizándose el alabeo. El espesor del MABS fue de 2 mm y del TPU 1 mm. Las placas obtenidas por sobreinyección se cortaron para obtener cuatro probetas por placa (100 x 25 mm). Asimismo, para poder estudiar la variable rugosidad, en conjunto con la presión y la temperatura, se fabricaron probetas tipo halterio en MABS, las cuales se cortaron por mitad. Estas mitades fueron pulidas en 3 diferentes rugosidades ($Rz_1 = 3.24 \mu\text{m}$, $Rz_2 = 16.37 \mu\text{m}$, $Rz_3 = 31.33 \mu\text{m}$). Posteriormente, se les sobre-inyectó TPU en una conformación conocida como *Butt-joint* (figura 27), es decir, introduciendo la mitad de la probeta en la cavidad del molde e inyectando la otra mitad desde un punto opuesto a la superficie de interfase; con este procedimiento podemos comprobar la adhesión por intercalación molecular. Las placas de compresión se realizaron con una prensa hidráulica de platos calientes (IQAP PL-15), usando como variables la presión y la temperatura (figura 28). Por último, y para involucrar al proceso de coextrusión, se produjo película bicapa en varios espesores, utilizando una extrusora multicapa, cuidando de conservar la relación 2:1 entre los espesores de MABS y TPU.

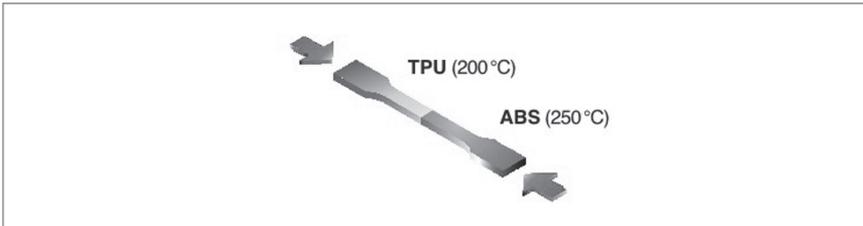


Figura 27. Sobreinyección de probetas halterio.

Fuente: Elaboración propia.

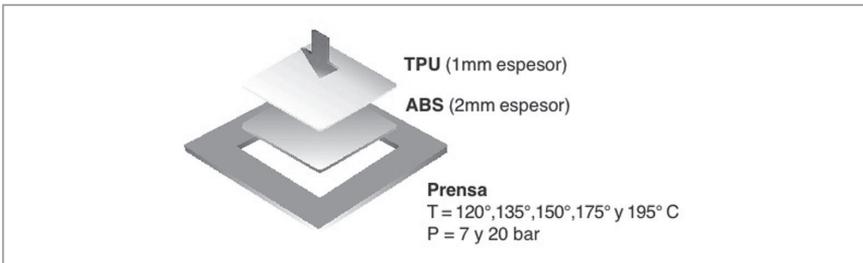


Figura 28. Preparación de probetas en prensa de platos calientes.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para los ensayos mecánicos se siguió la norma ASTM D 903-98 [6], empleando una máquina de ensayos universales Galdabini Sun 2500, realizando todos los ensayos a una velocidad de 20 mm/min (figura 29).

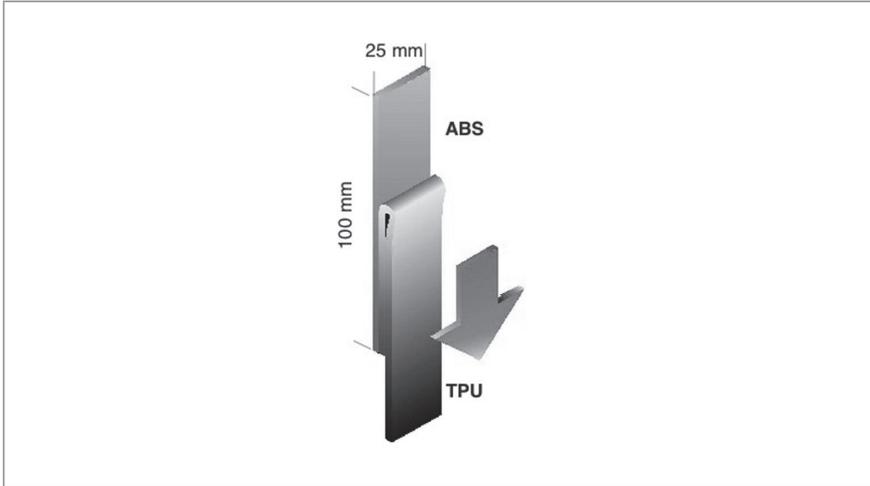


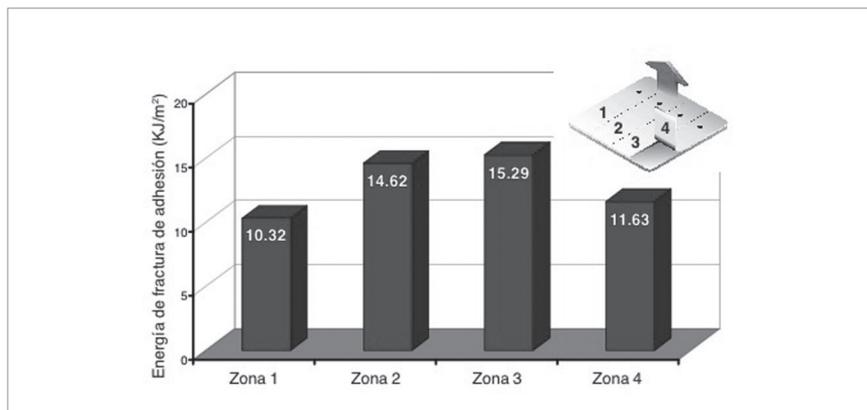
Figura 29. Esquema de probetas y ensayo de *peeling* a 180°.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Sistema laminar bicapa obtenido por sobreinyección

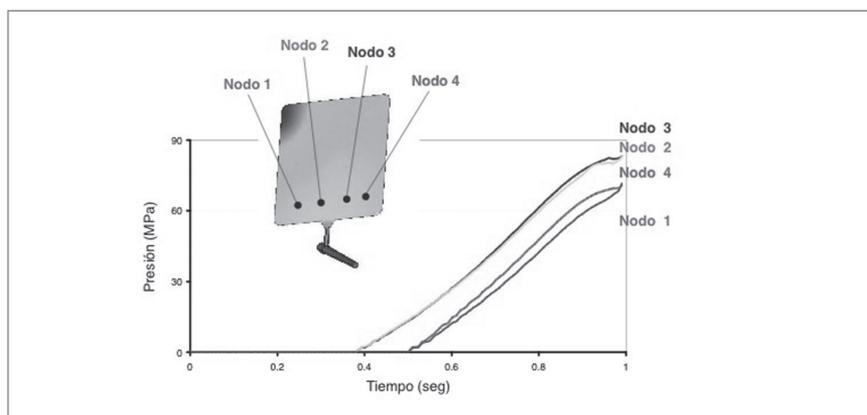
Los resultados de los ensayos de *peeling* se muestran en la gráfica 1. Es de notar que las probetas del centro presentan una energía de fractura de adhesión muy superior a las probetas obtenidas de las zonas laterales. Dado que la rugosidad y temperatura son similares para toda la placa, se procedió a elaborar una simulación de la sobreinyección del TPU sobre el MABS para poder explicar las diferencias en los resultados que se habían detectado en el *peel test*.



Gráfica 1. Energía de adhesión en bicapa obtenido por sobreinyección.

Fuente: Elaboración propia.

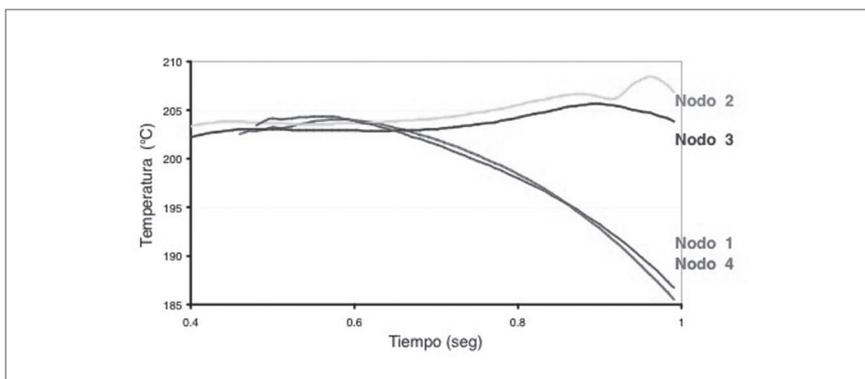
Para la simulación de la sobreinyección se utilizó el *software* C-MOLD, introduciendo los parámetros de maquinaria, materiales y condiciones de proceso. La gráfica 2 muestra la ubicación de los nodos de control, así como la evolución de la presión de llenado en los nodos seleccionados, donde puede apreciarse cómo no existen diferencias significativas en las evoluciones de las presiones registradas en los nodos de control, por lo que el siguiente paso fue comprobar la evolución de la temperatura durante la inyección del TPU.



Gráfica 2. Evolución de la presión de llenado de inyección en los nodos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 3 puede apreciarse la evolución de la temperatura en los nodos. En este gráfico se aprecia un fuerte diferencial, de aproximadamente 20 °C, al finalizar la etapa de llenado entre los nodos de control de la parte central y los nodos de los extremos. Esta diferencia es la causa principal de la disminución de la energía de fractura de adhesión, ya que dicha diferencia de temperatura impide la fusión del sustrato, y por tanto, la intercalación en estado fundido de las moléculas de ambos polímeros.

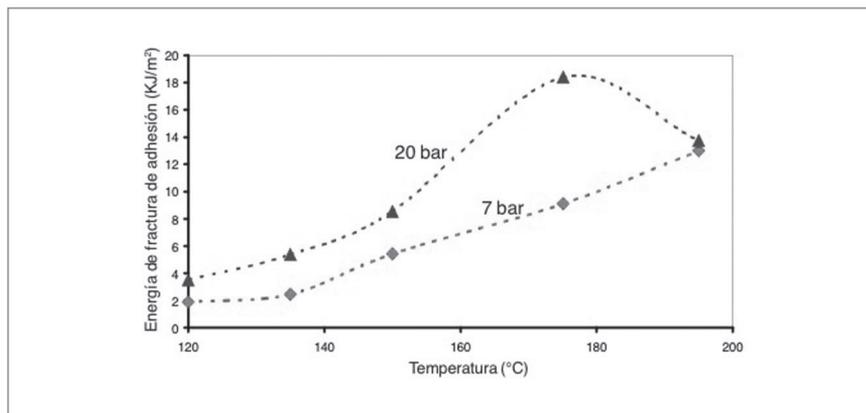


Gráfica 3. Evolución de la temperatura de llenado en los nodos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

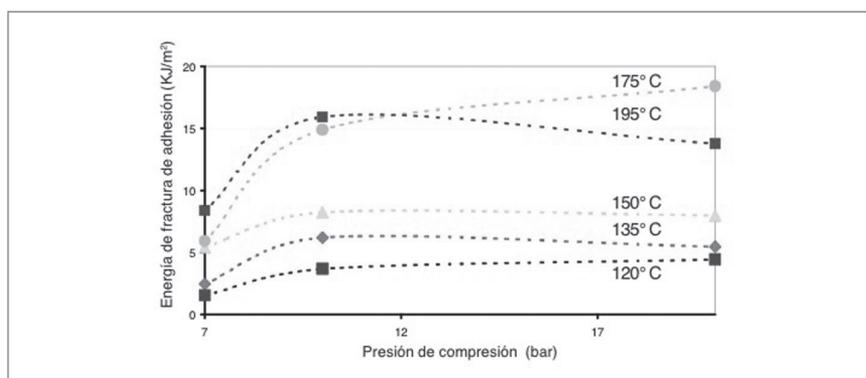
Sistema laminar bicapa obtenido por compresión

Las temperaturas elegidas para lograr las estructuras bicapas fueron: 120, 135, 150, 175 y 195 °C. Las presiones de compresión de placas fueron 7 y 20 bar, no pudiendo ser más altas debido a un efecto de “dispersión” del TPU, ya que al aumentar la temperatura por encima de 175 °C, el material adquiere un estado semilíquido en el que no es posible controlar la presión que se aplica. La gráfica 4 muestra los resultados de los ensayos realizados, donde se puede observar la relación entre adhesión y temperatura. Hasta los 150 °C el nivel de adhesión es bajo (<5 KJ/m²) debido a la poca intercalación de las cadenas de ambos polímeros. A partir de los 150 °C la adhesión se incrementa significativamente, notándose un descenso en la curva correspondiente a la presión de 20 bar, debido al efecto de dispersión antes comentado.



Gráfica 4. Relación adhesión/temperatura en placas bicapa obtenidas por compresión.
Fuente: Elaboración propia.

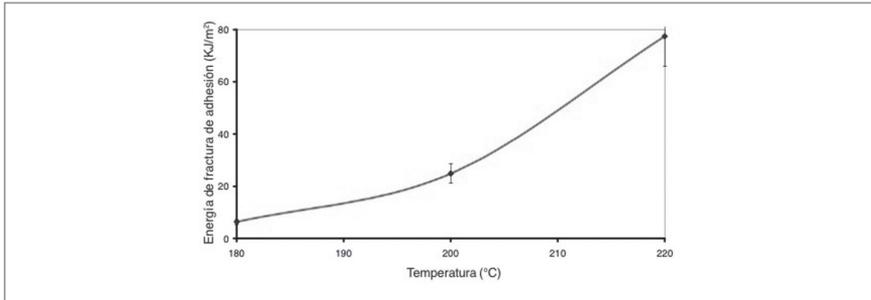
La gráfica 5 resume los ensayos realizados en las probetas obtenidas en las 5 temperaturas y 3 presiones diferentes con las cuales se produjeron los sistemas laminares bicapa. Se observa que, a mayor temperatura y presión, es mayor la energía de adhesión, logrando niveles significativos por encima de los 150 °C y 10 bar de presión, debido a que se aproxima a una temperatura en la que el MABS está fluido, lo que mejora la intercalación de las cadenas de ambos polímeros.



Gráfica 5. Relación adhesión/presión en placas bicapa obtenidas por compresión.
Fuente: Elaboración propia.

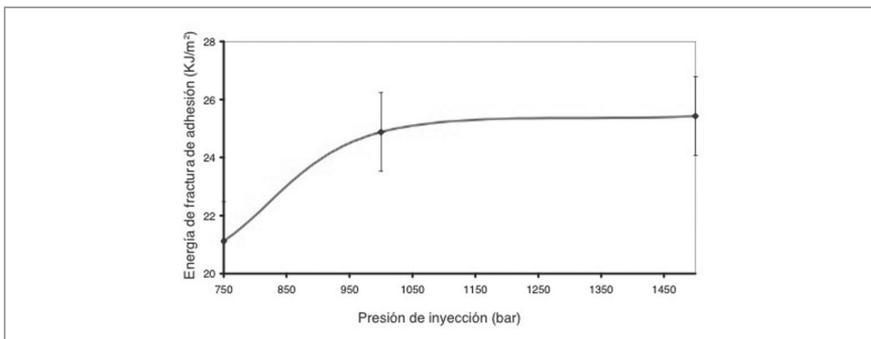
Sistema de bimateriales en probetas halterio

En la gráfica 6 se reflejan los resultados de los ensayos de energía de fractura de adhesión realizados a las probetas tipo halterio para la variable de temperatura. Al igual que en las probetas de placas obtenidas por inyección y compresión, se puede observar que el aumento de temperatura implica un aumento en la energía de fractura, debido al efecto de interdifusión de las cadenas de ambos polímeros al entrar en contacto a la temperatura y presión aplicada.



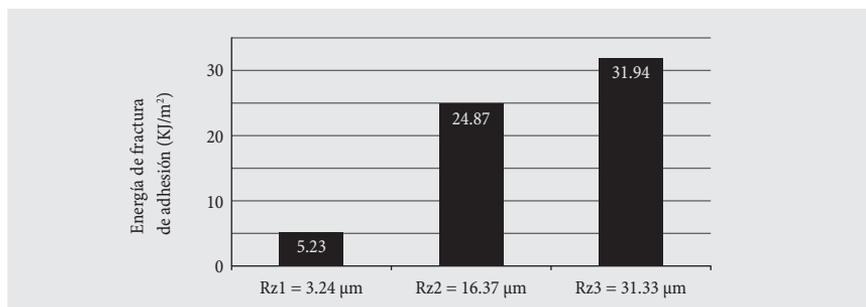
Gráfica 6. Relación adhesión/temperatura en probetas halterio, Rz2 = 16.37 μm .
Fuente: Elaboración propia.

La segunda variable estudiada, la presión de inyección, puede verse reflejada en la gráfica 7. Se observa que esta variable, contrariamente a lo que cabría esperar, no es significativa para incrementar la energía de fractura de adhesión, debido al poco tiempo de contacto dentro de la cavidad durante la sobreinyección del TPU ($\cong 2$ s).



Gráfica 7. Relación adhesión/presión en probetas halterio, Rz2 = 16.37 μm .
Fuente: Elaboración propia.

La tercera variable estudiada, la rugosidad, arrojó un diferencial de energía de fractura de adhesión significativo, como se puede observar en la gráfica 8, esto es un claro ejemplo de la propuesta de la teoría de adhesión mecánica, ya que a mayor rugosidad en el MABS, mayor posibilidades que el TPU se intercale.



Gráfica 8. Relación energía de adhesión/rugosidad en probetas halterio, a temperatura y presión constantes.

Fuente: Elaboración propia.

Estudio micrográfico de las superficies de fractura

Una vez realizados los ensayos de *peeling*, se analizaron por microscopía electrónica de barrido las superficies de contacto resultantes tanto del MABS como del TPU con el fin de evidenciar el modo de fractura de la interfase. La fractura observada es fundamentalmente adhesiva, aunque, como puede apreciarse, cambia en algún caso a cohesiva, produciéndose la rotura del MABS (figura 30). Dado que este fenómeno aparece a pesar de cualquiera que sea la rugosidad, no puede achacarse a un efecto de restricción mecánica, sino que se debe a la generación local de enlaces químicos fuertes entre ambos materiales.

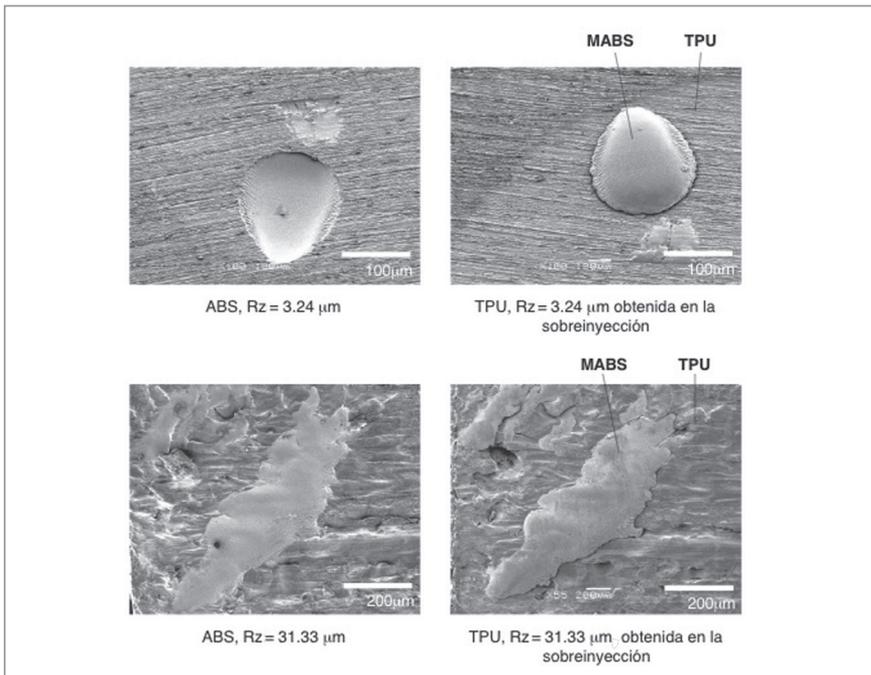
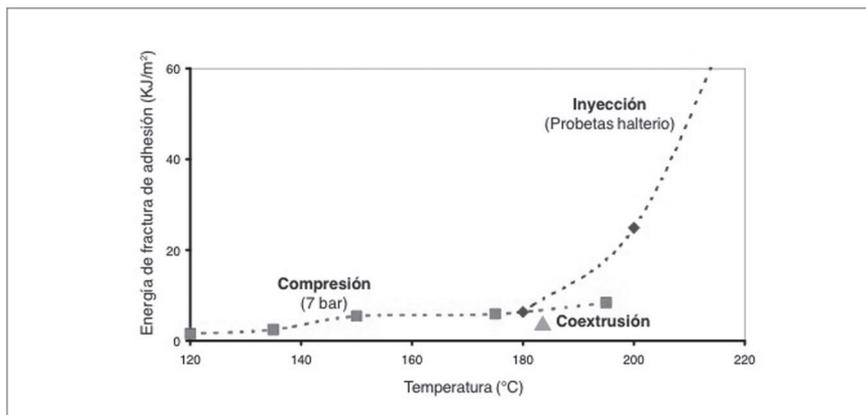


Figura 30. Morfología de la zona de contacto MABS/TPU en probetas halterio sobreinyectadas. Fuente: Elaboración propia.

Sistema laminar bicapa obtenido por coextrusión

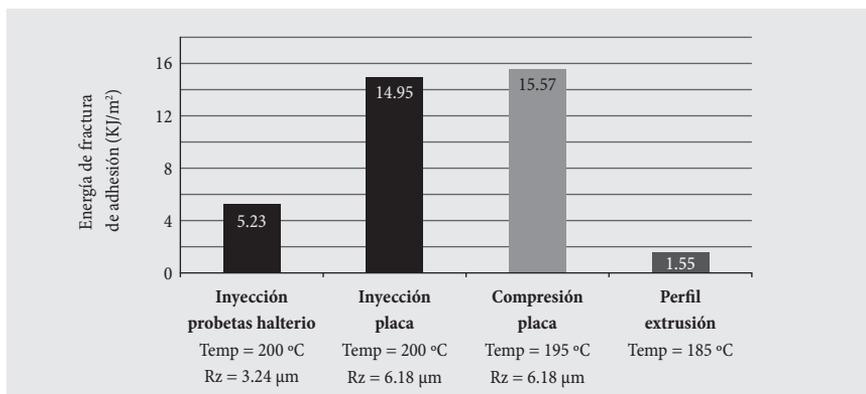
Se produjo *film* bicapa de ± 0.7 mm de espesor, en una relación 2:1 entre MABS y TPU, procediendo a realizar ensayos de *peeling* en el material obtenido. El valor de los resultados de *peeling* se equipara a los obtenidos en las probetas obtenidas por sobreinyección de placas.

La gráfica 9 muestra a manera de resumen la relación entre adhesión y temperatura de los tres procesos de transformación estudiados. En la gráfica 10 se puede apreciar la comparación de la fuerza de adhesión entre cuatro probetas obtenidas por los procesos de transformación estudiados. Se han tratado de igualar las condiciones de temperatura, presión y rugosidad para esta comparativa; sin embargo, algunos valores nos son desconocidos, por ejemplo, la rugosidad interfacial de la muestra de coextrusión.



Gráfica 9. Relación adhesión/temperatura en los tres procesos de transformación estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Un punto a destacar es el alto índice de energía de separación que presentan las muestras de placas realizadas en compresión por encima de las realizadas por inyección. Durante la coinyección, la fuerza ejercida por el TPU sobre el MABS es lateral, ya que así es el flujo de inyección del material; mientras que en la compresión, la fuerza que ejerce el TPU sobre el MABS es transversal, siendo esta última disposición más efectiva.



Gráfica 10. Relación adhesión/temperatura/rugosidad en los tres procesos estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

Se ha comprobado que cualquiera que sea el proceso de transformación utilizado, la adhesión entre el MABS y el TPU aumenta con el incremento de temperatura, presión y rugosidad, dentro de los márgenes estudiados. En sobreinyección no se generó la adhesión que cabría esperarse como resultado de la magnitud de las temperaturas y presiones empleadas, probablemente debido al corto tiempo de contacto entre los materiales.

Bibliografía

- ASTM D-903 (2004). *Standard test method for peel or stripping strength of adhesive bonds*. DOI: 10.1520/D0903-98R10. Disponible en www.astm.org.
- KINLOCH, A.J. (1987). *Adhesion and adhesives. Science and Technology*. London: Chapman and Hall.
- MESSAOUD, D. (2003). *Study on mechanical properties and material distribution of sandwich plaques molded by co-injection*. ANTEC.
- SELDEN, R. (2000). Co-injection molding: Effect of processing on material distribution and mechanical properties of a sandwich molded plate. *Polymer Engineering & Science*, 40 (5), 1165-1176.
- VARMA, R. (2003). *TPE overmolding technology*. ANTEC.
- WU, S. (1982). *Polymer interface and adhesion*. New York: Marcel Dekker.

3.2 Ensayo de rayado (*scratch-test*) de los componentes plásticos bicapa rígido-flexibles usados en el diseño de electrodomésticos y herramientas tipo *soft-touch* (asas de agarre cómodo)

Introducción

La integración de función y diseño, ha cobrado una gran importancia en el desarrollo de productos de plástico, donde la reducción de costos de producción, y las mayores exigencias de los productos, obligan a crear materiales o combinaciones de ellos con propiedades optimizadas. Además

de las funciones básicas que los materiales empleados en estos productos deben cumplir, recientemente se ha prestado una gran atención a un nuevo concepto denominado funciones hápticas, que se define como: la capacidad del material de sentirse a través del tacto. Esto es de aplicación, por ejemplo, en herramientas y en aparatos electrodomésticos en los que el uso de superficies suaves proporciona una sensación extra de seguridad y comodidad al momento del agarre por parte del usuario (figura 31).



Figura 31. Ejemplo de herramienta y electrodoméstico con la característica de asas de agarre suave (*soft-touch*).

Fuente: Imágenes tomadas de los sitios de toolmonger: <http://toolmonger.com/2009/06/10/dealmonger-black-decker-power-scissors-for-9/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013), y de Can Openers Store: <http://can-ppeners.blogspot.mx/2008/09/black-decker-kec600-cordless-can-opener.html> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Una de las formas empleadas para conseguir estas funciones hápticas, es utilizar estructuras termoplásticas bicapa, las cuales se forman combinando un sustrato rígido y un segundo componente flexible como recubrimiento. Usualmente el componente flexible es utilizado para dar un acabado suave y de mejor tacto que el que presenta el sustrato. Asimismo, esta combinación es también llamada “*soft-touch*”. Este tipo de combinaciones también se han empleado en productos sencillos, especialmente en aquellos que se utilizan en ambientes húmedos y que aseguran una mejor sujeción por parte del usuario; sin embargo, su importancia industrial es cada día más notoria abarcando a productos de mayor complejidad tecnológica de numerosos sectores, como el automotriz o la electrónica de consumo. Uno de los factores que definen la funcionalidad de los materiales bicapa sería la existencia o control del grado de adhesión que forma al conjunto. Si bien los fenómenos de adhesión son conocidos, el control de estos fenómenos no es del todo

claro para el uso en estructuras bicomponentes, involucrando con ello a los procesos de producción utilizados para fabricar este tipo de productos.

Éstas y otras razones han favorecido el uso de métodos de producción avanzados, como la inyección y extrusión multicomponente. Ejemplos de ello son el sellado y aislado de piezas o la integración de diversos colores o texturas en una misma pieza. Finalmente, la combinación de materiales con diferentes propiedades elásticas (rígido-blandas), también encuentra importantes aplicaciones en piezas automotrices, ya que la combinación de un plástico rígido y un plástico elastomérico (también llamada *hard-soft*) (Hudacek, 2004), proporciona, por un lado, la rigidez necesaria en la pieza, mientras que la fase elastomérica depositada como una fina capa, puede actuar como elemento de seguridad. Así, por ejemplo, en el caso de impacto, actúa impidiendo que partes del plástico rígido puedan salir disparadas causando daños en los ocupantes de los vehículos.

Descripción del experimento

Como parte de un completo trabajo de investigación realizado para el análisis y propuesta de mejoras en el diseño de asas de agarre cómodo para electrodomésticos y herramientas, se han llevado a cabo diferentes ensayos a las configuraciones bicapa obtenidas por sobreinyección. En esta ocasión presentamos los resultados obtenidos con el ensayo de rayado (*scratch-test*); este tipo de ensayos en el mundo de los polímeros son relativamente novedosos. Para nuestras configuraciones bicapa nos es muy valioso, ya que nos puede validar la adhesión del material elastomérico sobre el sustrato rígido, así como conocer la influencia del recubrimiento ante las rayaduras y su interacción con el sustrato.

Materiales

El material seleccionado para fungir como sustrato es un copolímero MABS (Metilmelacrilato-Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), cuya denominación comercial es TERLUX 2812 TR, suministrado por la empresa BASF. Este material es un polímero termoplástico amorfo diseñado principalmente para procesarse por inyección, aunque también se puede usar en extrusión. Por su parte, el recubrimiento elastomérico empleado es un poliuretano fabri-

cado por Merquinsa, con el nombre comercial de PEARLTHANE D15N70. El número 70 en la nomenclatura, corresponde al grado de dureza (Shore 72 A), lo que lo hace muy idóneo para las aplicaciones tipo “*soft-touch*”. Este TPU posee una baja dureza y una alta elasticidad.

Obtención de probetas por sobreinyección

Para la obtención de las placas, se utilizó una máquina de inyección MA-TEU & SOLÉ Meteor 440/90 (90 Tn de fuerza de cierre), con un diámetro de husillo de 40 mm y una relación L/D de 20.5. En los moldes empleados para la obtención de las placas se utilizó una entrada de tipo abanico de 1 cm de anchura y de espesor igual a la mitad del espesor de la placa. En la realización de las placas sobreinyectadas (100 x 100 mm), se ha utilizado la denominada “técnica de transferencia”, que consiste en la que el material que es previamente inyectado (MABS) sirve como núcleo o sustrato para el recubrimiento (TPU). El TPU se inyecta sobre el MABS debido a que la temperatura de distorsión de este último es mayor que la del TPU, minimizándose así el posible alabeo en las piezas. Las temperaturas de molde y de inyección se mantuvieron constantes; los moldes fueron atemperados con agua a 80 °C, y las temperaturas en la unidad de inyección fueron de 210 °C en la entrada, y entre 230 y 250 °C en el husillo para el MABS. Para la sobreinyección del TPU, los moldes fueron atemperados con agua a 35 °C, y las temperaturas en la unidad de inyección fueron de 180 °C en la entrada, y entre 190 y 200 °C en el husillo. Una vez obtenidas las placas de 100 x 100 x 2 mm de MABS, se procedieron a la sobreinyección del TPU (1 mm de espesor); para ello las placas de MABS se calentaron en horno a 80 °C por espacio de 4 horas. Una vez que la placa adquirió la temperatura adecuada, se colocó en el molde, sobreinyectándose entonces el TPU. De esta forma se obtuvo la estructura bicapa deseada.

Daño superficial en los materiales plásticos

Los materiales plásticos son relativamente blandos superficialmente o presentan poca dureza superficial, por lo que pueden ser fácilmente rayados. En consecuencia las rayaduras en la superficie de las piezas de plástico reducen la estética de las mismas, además de actuar como concentrador de tensiones,

lo que puede inducir a fallas prematuras en dichas piezas. Para conocer la resistencia al rayado se ha desarrollado el denominado *scratch-test*, o ensayo de rayado. El ensayo de rayado es sin duda uno de los ensayos más completos que permiten la evaluación de las características mecánicas de las superficies de los materiales. Una serie de trabajos en el pasado han intentado relacionar la dureza con la cedencia plástica de los materiales. Esto es aplicable para metales y para algunos polímeros. Sin embargo, para otro tipo de materiales, como los elastómeros y cauchos, la dureza no es una propiedad relacionada con la cedencia plástica, sino con la respuesta elástica. Varios trabajos, tanto experimental como analíticamente, han intentado estimar el módulo elástico y la dureza por medio un ensayo de indentación para cauchos y materiales similares. (Jardret *et al.*, 1998; Van der Leeden y Frens, 2002; Briscoe y Sinha, 2003, Lim *et al.*, 2005). Es importante resaltar que para un elastómero, el cual muestra una recuperación elástica luego de un ensayo de indentación, la dureza no puede ser calculada usando la técnica de medición de la huella de indentación. Para obtener el cálculo de la dureza de rayado (*scratch-hardness*) se requiere de instrumentos sencillos, que pueden ser utilizados para caracterizaciones mecánicas estáticas y dinámicas. Cabe mencionar que ya que las características superficiales son muy importantes en la formación de los materiales bicapa, es posible que las características superficiales tengan influencia en el comportamiento de la interfase de las estructuras bicapa. Por otra parte, deseamos conocer el límite de carga que nuestras configuraciones bicapa son capaces de soportar, de cara a posibles aplicaciones futuras en el diseño de electrodomésticos y herramientas.

Principio en el que se basa el ensayo

El ensayo de rayado consiste en la aplicación de una carga sobre la superficie de un determinado material (figura 32). Esto es logrado presionando una punta de un material muy duro sobre la superficie del material a ensayar. Al tiempo que la muestra es desplazada a una velocidad constante, las tensiones resultantes en la interfase causan marcas y escoriaciones en el recubrimiento. El punto de inicio de fractura se denomina *carga crítica* (L_c). A partir del análisis de las marcas dejadas por el indentador, y de la fuerza aplicada, es posible conocer propiedades y características del material ensayado como: el módulo elástico, la tensión a la cedencia o el coeficiente de fricción.

El método de rayado y otros tipos de ensayos para conocer la dureza de los materiales, han sido recientemente utilizados para caracterizar polímeros sólidos (Stuart y Briscoe, 1996; Jardret *et al.*, 1998; Loubet, Oliver y Lucas, 2000). Para aplicaciones de tipo industrial, este ensayo es usado para recubrimientos, películas y pinturas (Lin *et al.*, 2001). Para el ensayo de rayado, los polímeros (con excepción de los elastómeros) se estudian asumiendo que sus mecanismos de deformación son de naturaleza elastoplástica o viscoelastoplástica. Las características de deformación de los materiales se obtienen de la medición de la huella del rayado, así como de las características aparecidas durante el ensayo. En cualquier caso, el comportamiento al rayado de los polímeros depende de varios factores como: morfología de la huella, carga y velocidad de ensayo o geometría del indentador (Briscoe *et al.*, 1996).

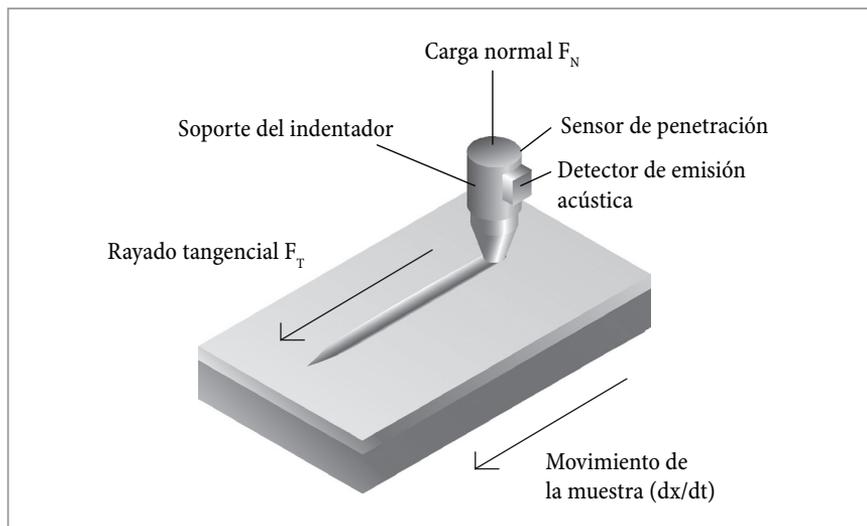


Figura 32. Esquema de un ensayo de rayado.

Fuente: Elaboración propia.

Respuesta genérica al ensayo de rayado

Existen dos tipos de fuerzas que actúan durante el proceso del ensayo de rayado. La primera es la carga normal aplicada durante el ensayo. Esta carga es soportada por el área de contacto entre el indentador y el material ensayado. El segundo componente de la fuerza es la fricción, que es la reacción a la

deformación realizada por el indentador durante su desplazamiento sobre la superficie del material en la dirección tangencial de avance. Las dos fuerzas anteriores son ortogonales y pueden ser utilizadas independientemente para realizar los cálculos de dureza y resistencia del material. Basados en este concepto, dos parámetros pueden ser definidos: dureza de rayado (*scratch hardness*) que corresponde a la carga normal, y la dureza tangencial (*tangential hardness*), que corresponde a la fuerza de fricción. Para el caso de un contacto elástico, la dureza de rayado viene dada por la expresión:

$$H_s = \frac{4P}{\pi(d)^2}$$

Donde P es la carga normal y d es el ancho del rayado después del ensayo. Esta ecuación asume que el material recupera elásticamente su forma al momento de pasar el indentador por la superficie. Esta presunción no es aplicable cuando el contacto es de naturaleza plástica o viscoplástica. En general, la ecuación para dureza de rayado se puede expresar como:

$$H_s = \frac{q4P}{\pi d^2}$$

Donde q es un parámetro que asume el valor de 1 para un contacto del tipo elástico, y 2 cuando se trata de un contacto plástico. Otros tipos de materiales, cuyo comportamiento es de tipo viscoelástico o viscoplástico, tendrían valores para q entre 1 y 2. Se han realizado múltiples intentos en el pasado por correlacionar, para metales y polímeros, los valores de dureza de ensayos normales de indentación (estáticos) y ensayos de *scratch*. La dureza tangencial, también llamada resistencia al rayado es dada por la ecuación:

$$H_s = F_s I A_T$$

Donde F_s es la fuerza de rayado necesaria para mover el indentador sobre la superficie del material, y A_T es la superficie de contacto proyectada entre el material y el indentador en la dirección del ensayo, también llamada dirección tangencial.

Procedimiento experimental

Los experimentos fueron realizados utilizando un equipo CSM Revetest, en el cual el indentador es deslizado sobre la superficie del polímero bajo una carga ascendente y velocidad constante. En este tipo de ensayo, la profundidad del surco es función de la resistencia al rayado del material. El valor exacto de penetración vertical puede variar ligeramente de punto a punto dependiendo de las propiedades superficiales del material. En un ensayo convencional es posible modificar las siguientes variables: número de rayados, longitud del rayado, velocidad de rayado y carga aplicada, que puede ser constante o progresiva. Una vez finalizado el ensayo, el proceso de los datos proporciona la siguiente información: profundidad de penetración, profundidad residual y porcentaje de recuperación. Estas variables se definen como: *Profundidad de penetración* (R_p): es la profundidad a la que penetra el indentador cuando se aplica la carga que ha sido programada, teniendo como referencia la información topográfica obtenida en el barrido inicial. *Profundidad residual* (R_h): es la profundidad que queda después de realizado un rayado teniendo en cuenta como referencia inicial la información topográfica. *Porcentaje de recuperación* (φ): es una magnitud en función de los valores de profundidad de penetración y residual:

$$\varphi = \frac{R_p - R_h}{R_p} * 100$$

Los parámetros utilizados en los ensayos fueron:

- Tipo de ensayo: *Scratch* lineal progresivo.
- Carga inicial: 1 N.
- Carga final: 70 N.
- Velocidad de carga: 100 N/min.
- Velocidad de ensayo 10 mm/min.
- Longitud total del ensayo: 6.9 mm.
- Indentador tipo Rockwell, esfera de acero, 1 mm radio.

Se realizaron ensayos sobre la bicapa MABS+TPU por las dos caras. Se buscaba establecer el tipo de daños que el rayado puede causar, así como la contribución del TPU a mejorar las propiedades mecánicas superficiales del sustrato.

Análisis por SEM (Microscopio Electrónico de Barrido)

Una vez realizados los ensayos, se efectuaron observaciones con el microscopio óptico acoplado al Revetest; sin embargo, por la naturaleza y color del material no fue posible obtener conclusiones en esta observación. Para observar la morfología del surco de *scratch*, se utilizó un microscopio electrónico JEOL 5610. Previamente las muestras fueron recubiertas al vacío con una fina capa de Oro-Paladio (Au-Pd) para hacerlas conductoras eléctricamente.

Resultados y discusión del ensayo

Análisis de los daños causados por el rayado

La facilidad de rayado de los polímeros es uno de los factores clave que en muchos casos limitan la vida en servicio de los productos fabricados con estos materiales. Es por ello relevante la investigación de los daños producidos por rayaduras en la superficie y en el sustrato de los productos fabricados con polímeros. La tipología de rayado que se produce en materiales plásticos depende lógicamente de las características superficiales de dureza y también de la rigidez del material ensayado. Como resultado de la aplicación de un esfuerzo a lo largo de una determinada longitud del plástico, se genera un surco o huella, cuyo análisis permite determinar el comportamiento del material. La morfología de los ensayos —observada a través de SEM—, en el ensayo con MABS, es la típica del rayado en un material con respuesta dúctil: orillas bien definidas en ambos lados del surco, una suave superficie en el fondo del surco y una proa de material al frente de la huella del indentador (figura 33).

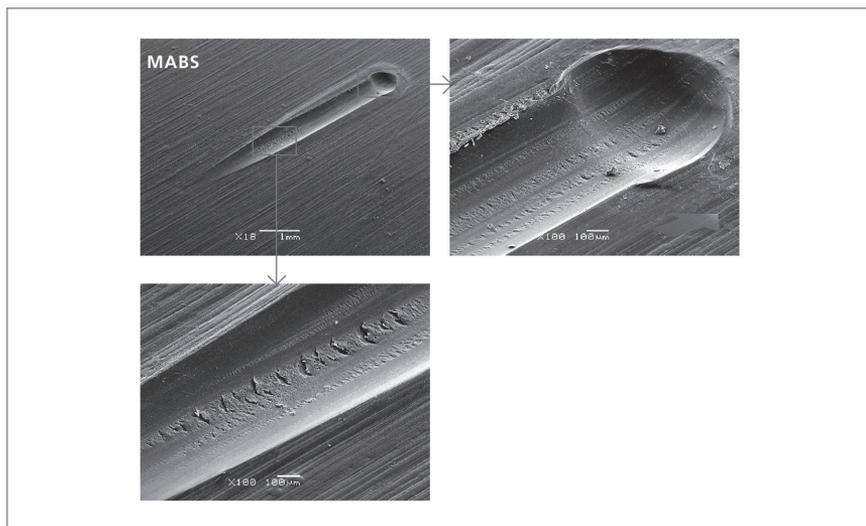


Figura 33. Huella del ensayo de carga progresiva sobre el MABS con los característicos bordes bien definidos. La flecha indica la dirección del ensayo.

Fuente: Microfotografías por SEM, tomadas por el autor.

Por el contrario, la morfología observada en la marca del ensayo efectuado al TPU, muestra el comportamiento típico de un material elastomérico: marcas intermitentes dejadas en la dirección del ensayo, el fondo del surco contiene restos rasgados a lo largo del ensayo, llegando a presentar un resto en forma de “viruta” sobre la orilla lateral derecha; esta marca corresponde al cono porta-esfera del indentador (figura 34).

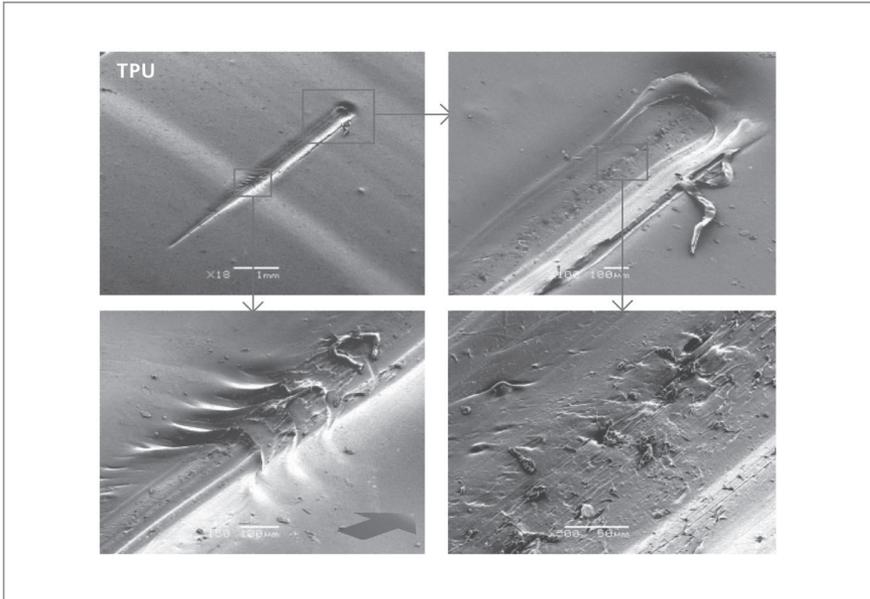
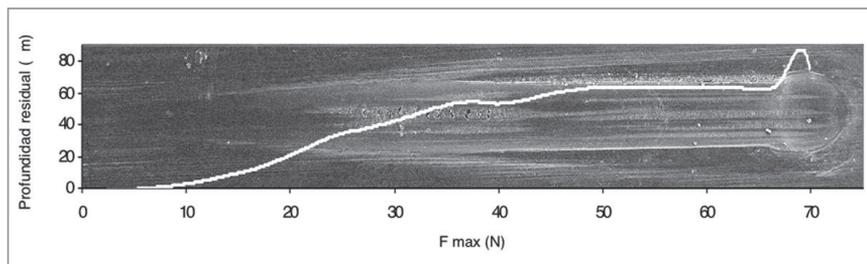


Figura 34. Huella del ensayo de rayado sobre el TPU con MABS de base; se pueden apreciar claramente las características “olas” en dirección del ensayo. La flecha señala la dirección del ensayo.

Fuente: Microfotografías por SEM, tomadas por el autor.

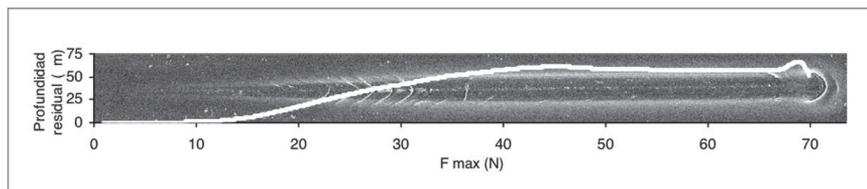
Las micrografías correspondientes al ensayo de carga progresiva para la probeta de MABS muestran una huella con bordes limpios, sin proa al frente y con unas pequeñas microcavidades en el fondo del surco, las cuales se reflejan en la gráfica de profundidad residual (Rd) en el rango de carga de 30 a 40 N, desapareciendo al incrementarse la carga (gráfica 11). Los bordes están perfectamente definidos y no se observan desprendimientos ni arrastre de material en el interior del surco, debido a la mayor ductilidad de este material. Como se mencionó con anterioridad, los ensayos de carga progresiva efectuados a la estructura bicapa mostraron que la capa superficial de TPU contribuye decisivamente a un mejor comportamiento del sistema frente al rayado. Aun a cargas elevadas (por encima de 40 N), el TPU no se desprende de la bicapa, demostrando su buena adherencia. Las huellas observadas presentan bordes poco definidos (figura 34) y marcas de rayado intermitente en la dirección del rayado (conocidas como olas).



Gráfica 11. Curva de profundidad residual sobre micrografía para el MABS.

Fuente: Elaboración propia.

La aparición de olas en el sentido de la dirección del ensayo, se sitúa en el rango de 20 a 40 N de carga (gráfica 12). Esto debido a que en ese nivel de carga el material fluye bajo el indentador. Una vez que se ha superado ese nivel de carga (>40 N), el material es compactado, y en algunos casos desprendido del fondo en forma de pequeñas virutas; sin embargo, no se produce la deslaminación o separación del polímero que actúa como soporte.



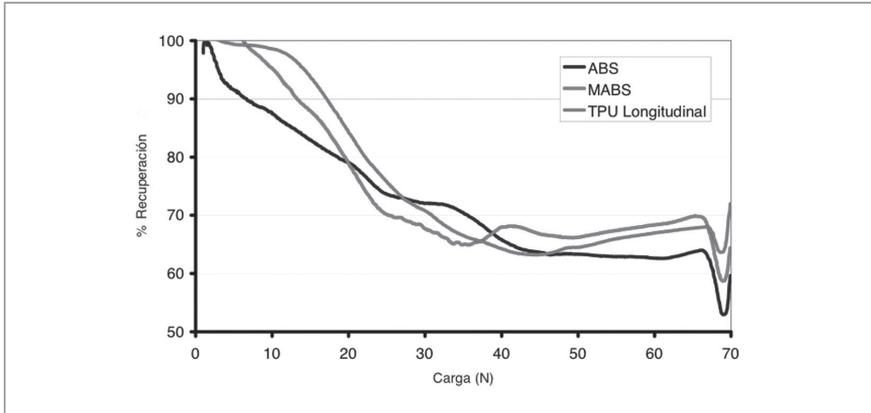
Gráfica 12. Curva de profundidad residual sobre micrografía para el TPU.

Fuente: Elaboración propia.

Recuperación de la profundidad de penetración después del rayado (penetración residual)

Una porción de material en la parte trasera del indentador recupera su forma casi instantáneamente al paso del indentador. Es obvio que a mayor recuperación elástica, más difícil es observar las marcas realizadas por el indentador. En comparación con los metales, los polímeros tienen una considerable recuperación elástica, una vez que la carga ha dejado de aplicarse. Cabe mencionar que la recuperación de los polímeros es posible cuantificarla, a este registro se le conoce como porcentaje de recuperación (φ). En trabajos previos (Xiang *et*

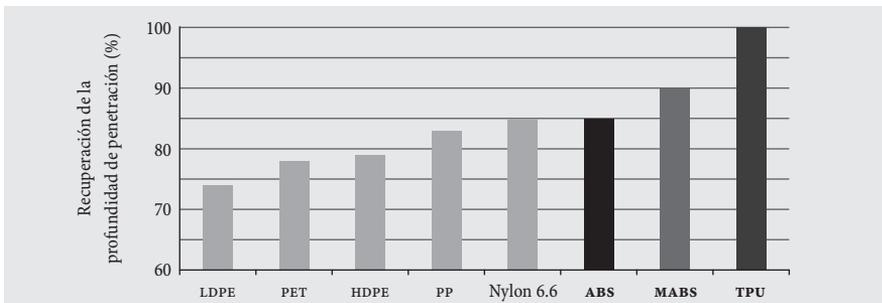
al., 2001) para polímeros semicristalinos, se han observado altas recuperaciones viscoelásticas, del orden del 70 al 85% bajo cargas de 30 N. En nuestro caso, los resultados muestran que el registro de recuperación de la profundidad de penetración correspondiente al MABS, arroja valores de 90%, mientras que para el TPU, el valor es de 98%, todos ellos con una carga de 15 N (gráfica 13).



Gráfica 13. Recuperación de la profundidad de penetración durante el ensayo de carga progresiva para los componentes de las estructuras bicapa.

Fuente: Elaboración propia.

Para contrastar nuestros resultados, hemos utilizado los valores que investigaciones previas han arrojado en las mismas condiciones de ensayo, observando que nuestros datos corresponden al tipo de respuesta que cabría esperar (gráfica 14).



Gráfica 14. Valores de recuperación de la penetración en una variedad de polímeros semicristalinos estudiados previamente y comparativa con los materiales empleados en las estructuras bicapa (F = 15 N).

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la dureza de rayado (*Scratch hardness*)

Para obtener la dureza de rayado procedimos al corte transversal de las huellas obtenidas para la medición de las mismas por SEM, usando la fórmula para obtener la dureza de rayado, donde P es la carga aplicada, A es el área de contacto y w es el ancho de huella medida por SEM.

$$H_s = \frac{P}{A_s} = \frac{4P}{\pi w^2}$$

Hay que considerar para nuestras mediciones, que las medidas de ancho y profundo de la huella de indentación pueden ser ligeramente diferentes a las que se producen justo en el momento de contacto, debido a la viscoelasticidad del material. Es decir, que parte de la forma de la huella se recupera justo después del ensayo. En otras palabras, las que se producen en el momento del ensayo y las que podemos medir al finalizar el mismo no son iguales (Briscoe y Sinha, 2003). Al comparar la dureza de rayado de los materiales rígidos que componen la estructura bicapa contra la estructura bicapa recubierta con TPU, notamos un ligero incremento en el valor de la dureza de rayado (227 MPa), debido a la presencia del recubrimiento, el cual transmite íntegramente la carga al polímero base; sin embargo, las huellas reflejan una topografía muy distinta, con bordes muy suaves aun en cargas altas (>60 N) (figura 35).

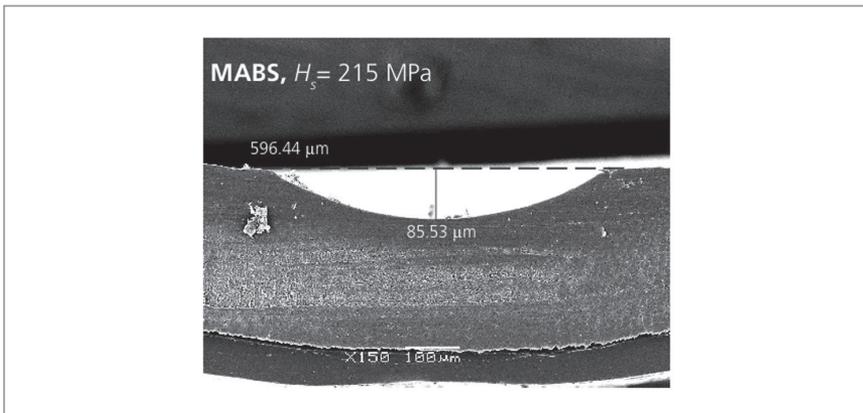


Figura 35. Corte longitudinal en SEM de la huella de indentación, con las medidas utilizadas para el cálculo de H_s , indentador esférico, carga 60 N.

Fuente: Microfotografías por SEM, tomadas por el autor.

Tanto en los cortes transversal como longitudinal, se aprecia que el polímero rígido que sirve como base a la estructura bicapa no presenta daño alguno, confirmando el buen desempeño del TPU como recubrimiento. Incluso el TPU presenta pocas alteraciones aun en el interior de la huella o surco. Las olas que aparecen en la zona de 20-30 N de carga, alcanzan una altura de 14 μm , y las virutas del fondo del surco sólo son superficiales, sin llegar a representar una pérdida considerable de material (figura 36).

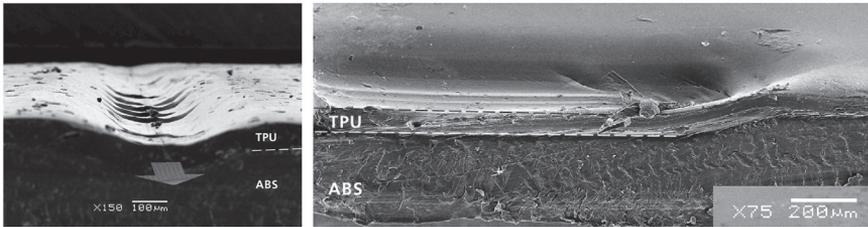


Figura 36. Corte transversal y longitudinal de la huella de ensayo de rayado de carga progresiva sobre el TPU sobre ABS, indentador esférico, carga 0-70 N. La flecha indica la dirección del rayado. Fuente: Microfotografías por SEM, tomadas por el autor.

Conclusión

Como se pudo comprobar, la adhesión lograda en el sistema es bastante buena, ya que aun en cargas elevadas (>60 N), no se observa desprendimiento del recubrimiento. Por otra parte, el TPU elegido tiene una buena recuperación residual, por lo que su aplicación como estructura bicapa en un producto nos permitiría una suavidad cómoda gracias a su dureza (Shore 72 A), a la vez que resistiría fácilmente a rayaduras y desgarros. Por otra parte, el TPU elegido es resistente a la hidrólisis y tiene una alta resistencia a los microbios, por lo que el sudor generado en el momento del agarre no perjudicaría al material.

Para finalizar, cabe decir que como diseñadores y desarrolladores de producto debemos de explorar todas las posibilidades de aplicación y desempeño de los materiales en los diferentes objetos cotidianos, por sencillos que estos parezcan. El uso bien aplicado de estructuras bicapa puede hacer de la experiencia de uso de un objeto cotidiano, algo placentero, seguro y cómodo, que al fin y al cabo es la meta del diseño industrial.

Bibliografía

- BRISCOE, B., EVANS, P., PELILLO, E. Y SINHA, S.K. (1996). Scratching maps for polymers. *Wear*, 200 (1-2), 137-147.
- BRISCOE, B. Y SINHA, S. (2003). Scratch resistance and localised damage characteristics of polymer surfaces. *Werkstofftech*, 34 (10-11), 989-1002.
- HUDACEK, L. (2004). How to optimize adhesion in hard-soft overmolding. *Plastics Technology*, 50 (02), 63-38.
- JARDRET, V., ZAHOUANI, H., LOUBET, J. Y MATHIA, T. (1998). Understanding and quantification of elastic and plastic deformation during scratch test. *Wear*, 218 (1), 8-14.
- LIM, G., WONG, M., REDDY, J. Y SUE, H. (2005). An integrated approach towards the study of scratch damage of polymer. *JCT Research*, 2, 361-369.
- LIN, L., BLACKMAN, S. Y MATHESON, R. (2001). Quantitative characterization of scratch and behavior of polymer coatings. *Material Science Engineering A*, 317 (1), 163-170.
- LOUBET, J., OLIVER, W. Y LUCAS, B. (2000). Measurement of the loss tangent of low-density polyethylene with a nanoindentation technique. *Journal Material Research*, 15 (5), 1195-1198.
- MILLAR, S. (1997). *Reading by touch*. London: Routledge.
- STUART, B. Y BRISCOE, B. (1996) Scratch hardness studies of poly (ether-ether-ketone), *Polymer*, 37 (17), 3819-3824.
- VAN DER LEEDEN, M.C. Y FRENS, G. (2002). Surface Properties of Plastic Materials in Relation to Their Adhering Performance. *Advanced Engineering Materials*, 4 (5), 280-289.
- (1990). Surface properties of plastic materials in relation to their adhering performance. *Advanced Engineering Materials*, 4 (5), 280-289.
- XIANG, C., SUE, H., CHU, J. Y COLEMAN, B. (2001). Scratch behavior and material property relationship in polymers. *Journal Polymer Science B*, 39, 47-59.

3.3 Pruebas de procesibilidad y propuestas de futuras aplicaciones al cartón reciclado para plantilla de calzado (*shank board*)²

Introducción

Actualmente existe una amplia gama de materiales que contribuyen directamente al cuidado del medio ambiente, y dentro de ese grupo, sin duda alguna, se encuentra el cartón reciclado.

El cartón reciclado es un material que surge de la combinación tanto de papeles vírgenes como de otros previamente utilizados, en conjunto con agua y colorantes, los cuales le brindan una mejor apariencia.

Asimismo, existen diferentes tipos de cartón reciclado, de entre ellos, hay uno conocido como “cartón roca” o “*shank board*”, el cual es fabricado mediante el mismo procedimiento de fabricación que el cartón reciclado normal, sólo que a éste se le agrega bolsa de papel *kraft* proveniente de la industria láctea, la cual contiene fibra de óptima calidad, lo que permite aumentar la resistencia final del cartón reciclado.

Este tipo de material es fabricado por una empresa ubicada en Lagos de Moreno, Jalisco, misma que vende el 100% de su producción al sector zapatero para ser empleado como plantillas, siendo reconocida la calidad de la materia prima (figura 37).



Figura 37. Proceso de fabricación de cartón roca.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

² Este apartado contó con la valiosa colaboración de Sandra Zúñiga Pineda.

Ante este panorama, la empresa desea extender su mercado, ampliando las aplicaciones de este material. Para ello se procederá a llevar a cabo una investigación y someterlo a diferentes pruebas, con la finalidad de obtener mayor información sobre sus características y comportamiento, pudiendo indicar con certeza a qué sectores industriales se podrían extender futuras aplicaciones.

Descripción del experimento

Utilizando muestras del material proporcionado por el fabricante, se realizaron una serie de pruebas para determinar la factibilidad de empleo en productos industriales. Estas pruebas consistieron en: doblado manual, curvado manual con moldes (escantillones) y con prensa de vacío, así como recubrimiento con diferentes acabados. Finalmente se prepararon unas muestras para la conformación de tablaroca empleado en la industria de la construcción como una posible futura aplicación.

Doblado manual

La primera prueba realizada al cartón roca fue la de doblado, en la cual se utilizó una prensa para sujetar el cartón de la parte inferior, y con la ayuda de un trozo de madera se procedió a doblarlo hasta un ángulo de 180° . Dicha prueba se realizó para cada uno de los calibres, consistiendo en doblar en repetidas ocasiones el material. Esta prueba se dividió en tres etapas, la primera de ellas constó de 10 repeticiones, la segunda de 30 y la tercera, y última, de 50 repeticiones (figura 38).

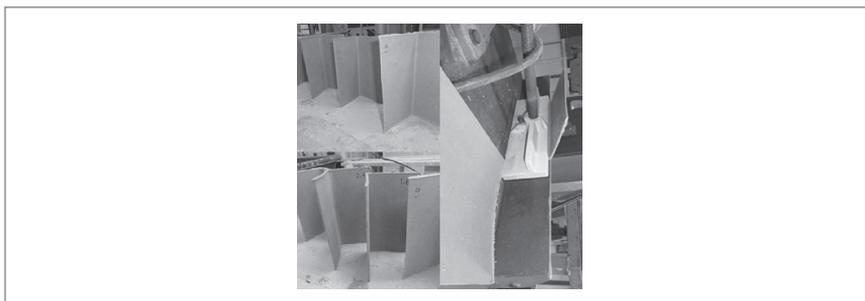


Figura 38. Prueba de doblado manual.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Curvado de cartón manual (escantillón con prensas)

Las pruebas de curvado manual se realizaron a cada uno de las muestras de los diferentes grosores. Estas muestras se colocaron en un escantillón previamente fabricado; se tomaron tres trozos de cartón de 10 cm de ancho, y de largo se tomó de referencia el tamaño del escantillón (60 cm aprox.); para adherir las capas se utilizaron dos tipos de pegamento: pegamento 850 blanco (acetato de polivinilo) y pegamento 5000 (pegamento de contacto); esto con la finalidad de ver cuál de los dos presentaba mejores resultados (figura 39).

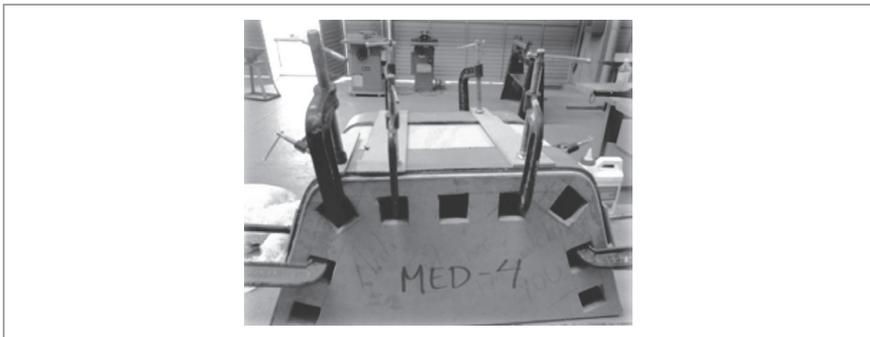


Figura 39. Escantillón usado para las pruebas de curvado.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Curvado de cartón con prensa de vacío con membrana

La medida del cartón que se tomó como referencia para el curvado con membrana fue la de 2.4 milímetros de grosor, ya que fue la que presentó mejores resultados en el curvado manual. Una vez lista la prensa y el escantillón, el siguiente paso fue pegar con pegamento blanco tres laminas de cartón, para después colocarlas sobre el molde, y así poder poner en funcionamiento la prensa de vacío; realizados estos pasos, se aplicó vacío (9 tn/m²) a la máquina por 15 min; esto con la finalidad de que las láminas obtuvieran la forma deseada. Una vez transcurridos los 15 min, el último paso fue abrir la prensa y despegar el cartón del escantillón.

Como segunda prueba con la prensa, se realizó el mismo procedimiento anterior para una segunda pieza, adicionándole a la pieza una capa más de cartón y una primera capa de *triplay* de 6 mm de espesor. Es importante

mencionar que esta prueba es de gran importancia, ya que si arroja resultados positivos ésta podría ser un buen sustituto de la madera en la industria del mueble, trayendo consigo grandes beneficios, como lo sería minimizar el costo de los productos (figura 40).

Aplicación de recubrimientos

En esta etapa, se aplicaron al cartón diferentes recubrimientos con la finalidad de mejorar la apariencia final del mismo, así como de comprobar la absorción que presenta a los mismos. Los recubrimientos utilizados fueron:

- *Sellador base agua*: debido a que el cartón desprendía mal olor, se procedió a tomar medidas para ver si con algún recubrimiento se lograba desaparecer éste. Para realizar esta prueba se tomó una muestra de cartón, el cual posteriormente fue recubierto completamente con sellador base agua, enseguida se colocó a secar al sol aproximadamente 2 horas para permitir un secado más rápido y ver los resultados.

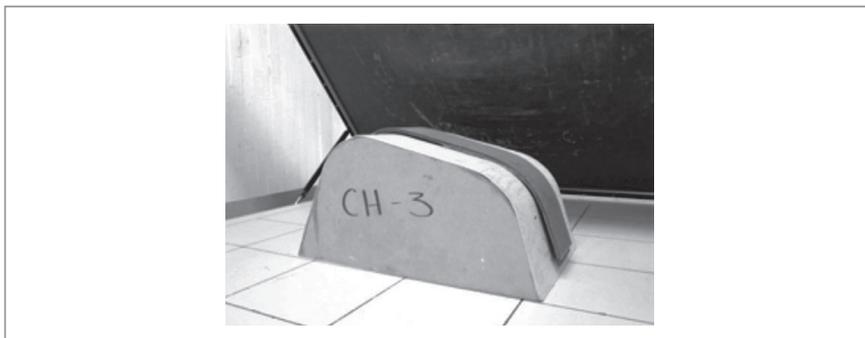


Figura 40. Escantillón empleado en la prueba de prensa de vacío con membrana.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

- *Tinta al alcohol*: para llevar a cabo esta prueba se tomaron cuatro muestras de cartón, uno de cada grosor, los cuales fueron cubiertos por uno de los extremos con tinta, y con ayuda de un trozo de estopa, a los grosores de 1.0 y 2.8 mm, se le aplicó una capa de tinta; a los 1.6 y 2.4 mm se le aplicaron dos capas. Posteriormente se dejaron secar para analizar los resultados.

- *Tinta al aceite*: para esta prueba se tomaron otras cuatro muestras de cartón, uno de cada grosor; para aplicar esta tinta utilizamos una brocha, y al igual que con la pintura al alcohol, se aplicaron dos capas a los grosores de 1.6 y 2.4 mm, y una capa a los de 1.0 y 2.8 mm de grosor.
- *Esmalte en aerosol*: esta prueba de recubrimiento se realizó con tres tonos de esmalte: color blanco y color azul, así como también con un fondo de color rojo primario, donde para cada tipo de recubrimiento se utilizaron los cuatro diferentes grosores de cartón. Dicha prueba consistió en pintar uno de los lados de cada cartón para ver como respondía con cada uno de los aerosoles.
- *Resanador para madera*: debido a que en el proceso de fabricación del cartón reciclado se le ponen unas mallas para facilitar el prensado y escurrimiento del agua, al cartón se le aprecian unos pequeños cuadros superficialmente. A las muestras de cartón se le agregó una capa generosa de resanador, y se dejó secar por 24 horas. Posteriormente, se procedió a lijarlos para aplicar la capa de pintura, las usadas fueron: blanca en aerosol, azul en aerosol y fondo rojo en aerosol. A una de las muestras se le aplicaron dos capas de pintura para ver los posibles resultados.

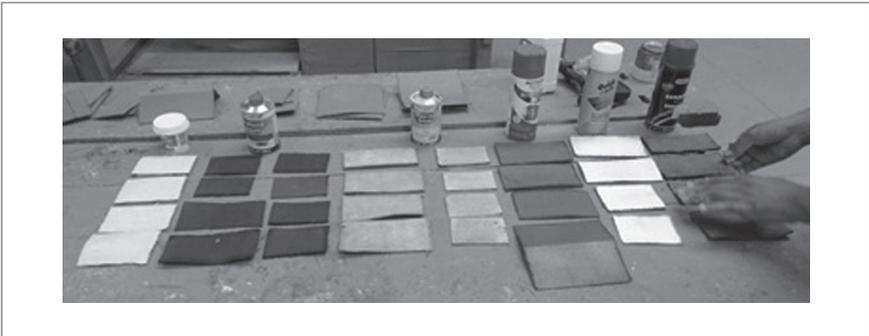


Figura 41. Diferentes recubrimientos empleados en la prueba.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Fabricación de tablaroca

La última prueba consistió en la fabricación de un tablaroca, usando nuestro cartón. Primeramente se realizó una mezcla de yeso, en la cual sus tiempos de fraguado fueron cronometrados para poder alcanzar el punto en el que el yeso se pudiera adherir al cartón, donde las primeras muestras fueron de capas sucesivas de cartón + yeso + cartón; para esta prueba se utilizaron cartones de cada uno de los grosores proporcionados.

Asimismo, en esta prueba los materiales y utensilios utilizados fueron: yeso, agua, molde, báscula, vasos de plástico, bolsa de plástico, cronómetro, trozos de cartón, prensas y tablas de madera.

El primer paso para llevar a cabo esta prueba fue medir la cantidad de yeso y de agua que se utilizaría, vertiendo estos materiales en los vasos de plástico. Las cantidades utilizadas fueron de 75 g de yeso por cada 50 g de agua, y la medida de los moldes empleado fue de 30 x 27 y 14 x 7 cm.

Después de hacer las primeras pruebas de yeso, y de cronometrar sus tiempos para ver qué momento era el óptimo para poder agregar las capas de cartón y que éstas se pudieran adherir al yeso, se colocó el molde poniendo en la base la bolsa de plástico, utilizándola como desmoldante; se colocó la primera pieza de cartón encima de la bolsa; se realizó la mezcla del yeso, colocándola casi inmediatamente encima del cartón; después de ser vertida la mezcla, se agregó la capa de cartón faltante; ya puesta la última capa, de inmediato se colocaron las prensas, y se dejó secar por 5 minutos, para luego retirar las prensas y ponerlas al sol para permitir un secado más rápido.

Las segundas muestras fueron de capas sucesivas de cartón + yeso + cartón + yeso + cartón, y de igual manera que en las anteriores, se utilizó cartón de los distintos grosores; para llevar a cabo esta prueba se siguió el procedimiento anterior.

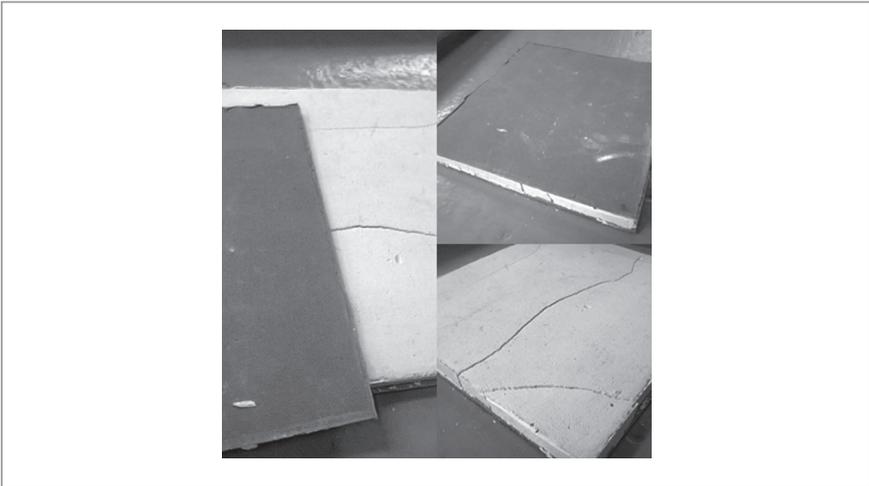


Figura 42. Prueba de fabricación de tablaroca.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Resultados

Prueba de doblado manual

El resultado para esta parte experimental fue realmente bueno, pues en un principio la idea era solamente medir el daño que pudiese sufrir el material al aplicarle diferente número de dobleces. Después de realizar la prueba para todos los calibres en las diferentes etapas, ya antes mencionados, nos pudimos dar cuenta que no sufre daño alguno; no hay ruptura en la zona de doblado, y una vez más, podemos resaltar la maleabilidad del material, ya que mantiene la forma del doblado para todas sus etapas y todos sus calibres.

Prueba de curvado manual

Los resultados varían según el tipo de pegamento y calibre usados para esta prueba, y las observaciones más importantes fueron las siguientes:

Tabla 1. Resultados usando pegamento blanco			
Calibre (mm)	Curvado	Adhesión entre capas	Rigidez de la pieza
1.0	Excelente	Media	Media
1.4	Excelente	Buena	Media
2.4	Excelente	Excelente	Excelente
2.8	Excelente	Buena	Excelente

En general la prueba ejecutada tuvo muy buenos resultados, ya que las piezas conservaron la forma curva del escantillón o molde utilizado, y en lo que se refiere a la adhesión entre las capas, la variabilidad en los resultados puede ser causada debido a fallas en el proceso de prensado sobre el escantillón. Por otra parte, la rigidez de la pieza es lógico que aumente dependiendo del grosor del cartón usado.

Tabla 2. Resultados usando pegamento de contacto			
Calibre (mm)	Curvado	Adhesión entre capas	Rigidez de la pieza
1.0	Excelente	Media	Media
1.4	Excelente	Media	Media
2.4	Excelente	Buena	Buena
2.8	Excelente	Buena	Buena

En curvado no hubo gran diferencia, ya que presentó los mismos resultados. Pudimos confirmar que la rigidez sí depende del grosor del material, pero también afecta el tipo de pegamento, ya que para las piezas de mayor calibre, en este caso, presentan una buena rigidez, y definitivamente, para la adhesión entre capas, ofrece mejores resultados el pegamento blanco de polivinilo de cloruro.

Prueba de curvado con prensa de vacío con membrana

Con esta prueba pudimos determinar la viabilidad del material para usar en futuras aplicaciones, ya que arrojó los resultados deseados. En las tres características que podemos exigir para esta prueba (curvado, adhesión

y rigidez), es necesario mencionar que la capa de madera adicionada a la pieza se adhirió perfectamente al material, y es de gran utilidad, ya que presenta mejores resultados para recubrimiento, y además proporciona mayor rigidez a la pieza.

Pruebas de aplicación de recubrimientos

- *Tinta al alcohol*: al aplicar las cuatro muestras de cartón, se observaron cambios en las características físicas, como deformaciones, ya que por tanta humedad se formaban ondas en cartón con menor grosor, mientras que en los otros no fueron tan notorios estos resultados. Otro aspecto importante que se presentó con este recubrimiento es que en las orillas de los trozos se presentaba una mancha más oscura que en el resto del cartón; al compararlos con los otros recubrimientos se notó una ligera opacidad.
- *Tinta al aceite*: los resultados para estas pruebas fueron negativos, ya que en ningún grosor la tinta logró un acabado uniforme; la tinta se absorbía rápidamente y el cartón quedaba con un mal aspecto.
- *Esmalte en aerosol*: el material para este tipo de pintura tuvo un mejor comportamiento, ya que el recubrimiento fue uniforme, con buen color y proporciona un secado rápido sin deformaciones, esto puede ser debido a que la naturaleza volátil del esmalte en aerosol no permite que el cartón se humedezca. Una observación importante para esta prueba es que es capaz disminuir en gran proporción el mal olor del material.
- *Resanador de madera*: los resultados obtenidos para esta prueba fueron en un rango de mediano a bueno, ya que se presentaron algunas fallas ocasionadas por el proceso debido a que se tenía poca experiencia en el manejo del resanador y en el material necesario para aplicarlo; sin embargo, se logró un mejor acabado, una superficie lisa, sin rugosidad y en la cual se pueden aplicar los esmaltes aerosol.
- *Sellador base agua*: se pensó que podría aislar el olor del cartón, pero no se obtuvo ese resultado, sólo cambió un poco el mal olor sin llegar a desaparecer; y como recubrimiento brinda un poco más de brillo y un poco más de rigidez al material.

Prueba de fabricación de tablaroca

Una vez transcurridas 24 horas de secado y prensado para las muestras de 24 x 7 cm, el siguiente paso fue quitar las prensas para observar los efectos entre yeso y cartón. Pudimos ver que sí existe adhesión entre los materiales; sin embargo, con un esfuerzo mínimo se pueden despegar, y la pieza de tablaroca obtenida es realmente frágil y quebradiza. Por otra parte, el cartón aún se encontraba húmedo.

La segunda prueba con muestras de 30 x 27cm se realizó únicamente con el calibre 2.8, ya que fue la pieza que en la prueba anterior arrojó mejores resultados; transcurridas las 72 horas de secado y prensado pudimos observar una adhesión realmente pobre y una pieza de tablaroca demasiado débil. Posiblemente la debilidad de la pieza se deba al proceso, puesto que el prensado se aplica después de fraguado el yeso.

Conclusión

De las pruebas realizadas se desprende que, el material denominado cartón reciclado para plantilla (*shank board*), es factible su empleo en otras aplicaciones además de la principal, que es la industria del calzado. Por sus buenas capacidades de resistencia al doblado y al curvado, se recomienda seguir la exploración para futuras aplicaciones en la industria del mueble, pudiendo sustituir en conformaciones de “sándwich” al *triplay* en mobiliario curvado, con lo que se podría reducir el costo de fabricación de este tipo de mobiliario, sin menoscabo de su integridad estructural (figura 43).



Figura 43. Muestra de curvado de cartón y *triplay* de 3 mm espesor.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Otra posible aplicación se podría dar en la industria de la construcción, por su capacidad de moldearse, lo que permite el diseño y desarrollo de partes para la construcción, siempre y cuando se recubra o selle el material, para no ser afectado por la humedad.

En la fabricación de tablaroca, el cartón reciclado mostró no ser apto, por lo que esta posibilidad de aplicación no se recomienda.

Bibliografía

- CHUN-HSIUNG, C. Y MING-JI, CH. (2002). Studies on the Properties of Shank Board and Its Quality Improvement. *Taiwan Journal of Forest Science*, 17 (1), 401-405.
- ESCOTO, T. (2007). *Manual maestro para evaluar la calidad en papeles y cartones: Pruebas físico-químicas*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería.
- HUNT, J. (1998). *Know your fibers: process and properties, or (A material science approach to designing molded pulp products)*. Madison, WI: Forests Products Laboratory.
- TURRADO, J. (2001). *Obtención de papel para corrugar a partir de fibras alternativas*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.

CAPÍTULO 4

El desarrollo de nuevos materiales

4.1 Diseño de placas aligeradas para la construcción fabricadas a base de pastas de residuos molidos de plástico expandido (EPS), conglomerados con yeso fino y reforzados con fibra natural de agave (*Tequilana Weber*)³

Introducción

Diseño y desarrollo de productos más respetuosos con el medio ambiente

La riqueza de muchos grupos sociales se traduce hoy en un bienestar económico tal vez nunca antes visto, y en un estilo de vida que favorece el consumo intenso de productos que eventualmente se convierten en residuos. Los residuos siempre han estado asociados a las actividades de las sociedades y no son nuevos en la historia de la humanidad; las variables que hoy los distinguen de los residuos de épocas anteriores son su variedad de formas, su corto ciclo de vida y el uso intenso de múltiples procesos de fabricación y mezclas de materiales que hace que muchos de ellos sean difíciles de ser

³ Este apartado contó con la valiosa colaboración de Francisco Javier González Madariaga.

reintegrados a la naturaleza. Asimismo, la presencia de grandes volúmenes de residuos por gestionar se ha convertido en una preocupación para muchas sociedades debido al tipo y cantidad de los residuos colectados, donde los recursos e infraestructuras para atenderlos no crecen a la misma velocidad ni proporción.

Por otra parte, la presión de los actores sociales para que sean rápidamente atendidos los residuos, favorece la pérdida de la riqueza de recursos que en esos materiales aún existe al momento de desecharse. Éste, entre otros, es el caso de los plásticos, destinándolos a la valoración energética, o a ser enterrados en un vertedero (Boada y Zahonero, 2002).

Cabe mencionar que el positivo esfuerzo hacia la gestión de residuos en diversos países se ha reflejado también en un dinámico desarrollo de tecnologías de todo tipo para la recolección, selección y reciclaje de residuos (Rosa, 2008). Aquí la investigación en reciclaje de materiales plásticos tiene un papel importante; sin embargo, está orientada principalmente hacia la recuperación de un reducido grupo de tipos de polímeros, que son los que representan el mayor interés económico, por lo que esto deja sin atender a otros plásticos abundantes en los residuos.

Por otro lado, los plásticos recuperados generalmente se destinan a participar en nuevos productos moldeados. Este proceso demanda ciertas características de los materiales recuperados, y para cumplirlos se emplean procesos de reciclaje agresivos y de alto consumo energético, los cuales resultan en una pérdida importante de propiedades de los plásticos reciclados en comparación con las resinas vírgenes del mismo tipo.

Todo lo descrito anteriormente, nos lleva a que dentro de los procesos de innovación tecnológica hoy se abre un campo multidisciplinario en el cual la ingeniería y el diseño de productos ofrecen mejoras a la gestión de residuos de plástico, proponiendo nuevas técnicas para su recolección, selección y tratamiento, y donde las técnicas de recuperación y revaloración favorecen el diseño de productos fabricados con plásticos que provienen del flujo de residuos.

Ahora bien, *minimizar la presencia de residuos* es una demanda social al cual busca cooperar el ecodiseño con mejores productos que faciliten tres estrategias: reducir en el origen, reciclar o reusar, y el tratamiento de residuos. Acorde a lo anterior, aquí se informa sobre el trabajo de investigación que busca la obtención de un nuevo material heterogéneo, útil para

la fabricación de paneles de aislamiento térmico para la construcción, y formado por dos componentes principales: los residuos molidos de EPS y una pasta de yeso con agua.

Así pues, el nuevo material tiene un doble beneficio ambiental; recicla un material plástico y puede permitir un manejo más eficiente de la energía destinada a la climatización de edificios.

A continuación se plantean algunos elementos acerca de los materiales que conforman el nuevo material, así como también acerca de las placas de yeso existentes, que son los elementos constructivos con el que competirán en el mercado los que se desprendan de esta investigación.

El poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico celular rígido, fabricado a partir del moldeo de perlas de poliestireno expandible que presenta una estructura celular cerrada rellena con una proporción cercana al 96% de aire. El material es muy común en México y recibe diversos nombres, tales como “hielo seco” o “corcho blanco” (González Madariaga *et al.*, 2001). Los espumados de resinas de poliestireno junto con los de poliuretano, son, a nivel mundial, los principales plásticos celulares en cuanto a sus montos de producción y su notoria presencia en la vida diaria. La importancia de este material en la vida cotidiana se muestra a manera de ejemplo en el caso europeo, donde el consumo promedio de EPS por habitante fue de 2.2 kg, mientras el consumo total de plásticos por habitante de Europa para el mismo año fue de 89.5 kg (AMPE, 2007).

Después de su aparición en el mercado durante los años cincuenta, el consumo de EPS se desarrolló de manera constante y vigorosa hasta los primeros años de los setenta, cuando decayeron sus tasas de crecimiento, y que no se recuperaron sino hasta 1977. A partir de 1981 el consumo de EPS en el mundo occidental creció prácticamente todos los años de forma moderada, pero sostenida, debido a nuevas aplicaciones de embalaje y diversos usos en la construcción.

Ahora bien, los usos más comunes para el EPS virgen se dan en los campos de la industria de la construcción y del embalaje casi en un 50% para cada uno, dejando un pequeño porcentaje para otras aplicaciones como artículos deportivos.

Como se observa, son estas aplicaciones, principalmente la de embalaje, la que los hace un plástico sumamente conocido en la vida diaria, y que por otro lado sea también un protagonista de los residuos de las ciudades, debido a su distintivo color blanco, baja relación peso-volumen y bajo costo comparado con otros espumados de plástico con características similares, situación que no observa una tendencia al cambio en un corto plazo (AMPE, 2007) (figura 44).

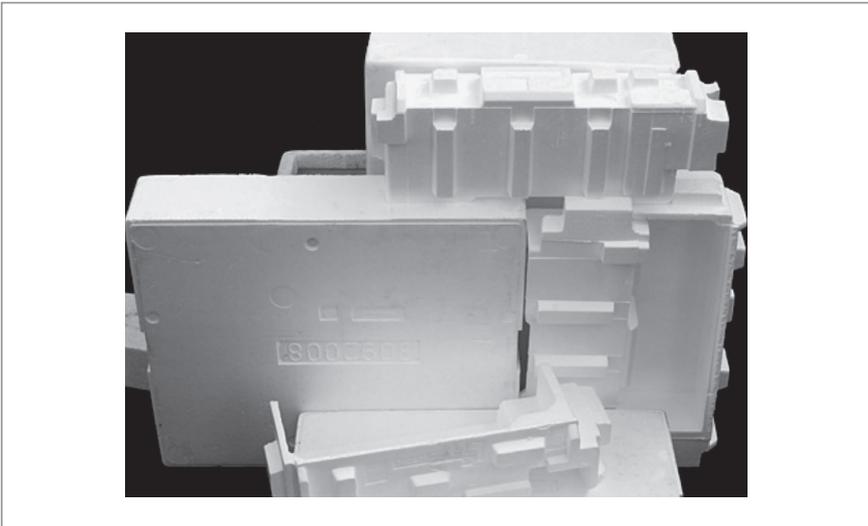


Figura 44. Uso de EPS como material de embalaje.

Fuente: Fotografía tomada por Francisco Javier González Madariaga.

Placas de yeso para la construcción

Las placas de yeso son productos prefabricados de gran importancia en la construcción en México, debido a las múltiples aplicaciones en las que se les aprovecha. Las placas de yeso son elementos constructivos planos de uso superficial que tienen un espesor pequeño (a partir de 12.5 mm) en comparación con el resto de sus dimensiones, y que se fabrican con la aportación de materiales que cooperan con el yeso para mejorar y mantener sus propiedades. Actualmente estos elementos constructivos se fabrican mediante un proceso altamente mecanizado de laminación continua que forma placas rectangulares con diferentes dimensiones.

Además, las placas se constituyen por un núcleo de yeso (hemihidrato rehidratado) reforzado por dos hojas de cartón resistente fuertemente unidas a cada cara de la placa y que hacen las funciones de una armadura externa.

Núcleo de las placas de yeso

Para la fabricación del núcleo de las probetas se usa una pasta de yeso de prefabricados con una mayor pureza y resistencia que los yesos de construcción. La pasta está constituida fundamentalmente por sulfato cálcico semihidratado y anhidrita II, que durante su preparación es adicionada con diversos aditivos que facilitan el sistema de producción, o para conseguir mejoras específicas para el producto. Los aditivos empleados, entre otros, pueden ser reguladores de fraguado, endurecedores, agentes depresores de absorción de agua, etc. Durante su producción, las placas pueden recibir agregados, como fibras vegetales o minerales o aligerantes diversos.

Envolventes de cartón de placas de yeso

Los envolventes de las placas son productos de fabricación especial para el proceso, donde el lienzo de cartón está formado, a su vez, de diversas capas de celulosa. El envoltente tiene las propiedades adecuadas tanto al proceso de fabricación como a las aplicaciones finales de la placa de yeso que se trate.

Ahora bien, las placas de yeso deben presentar envolventes que por su cara visible permitan recibir acabados decorativos convencionales, como pintura o papel. Por su cara no visible o dorso, el envoltente de celulosa debe facilitar la instalación del producto en obra; generalmente ambos lados de la placa están dotados con cartones de diferente color para su correcta instalación.

Desarrollo de la experimentación: placas fabricadas con yeso y partículas de EPS para su aplicación en la construcción

Aquí se ha ensayado con una serie de muestras que van desde aquellas que contienen proporciones extremas de residuos de EPS hasta otras donde la proporción de agua presente para la preparación de las mezclas es inusualmente rica; también se han ensayado mezclas compuestas por proporciones

intermedias de sus ingredientes. De entre las mezclas con los mejores comportamientos, se han aplicado sus fórmulas en la fabricación de muestras de placas y paneles similares a los usados en la construcción; las muestras se han caracterizado según las normas correspondientes, lo que permite señalar que con los nuevos materiales se pueden fabricar placas y paneles para la construcción con algunas ventajas en relación a los existentes. Aquí se muestran únicamente los resultados que pertenecen a las placas similares disponibles en el mercado.

La selección de ensayos usados en esta investigación busca evaluar el acercamiento de las ocho mezclas seleccionadas a lo indicado en las normas de placa de yeso laminado. Los ensayos aplicados a productos similares a placa de yeso laminado son:

- Masa por unidad de superficie.
- Resistencia a la flexión.
- Resistencia al impacto.
- Absorción de agua por inmersión total.
- Reacción al fuego.

Los resultados completos de la investigación están disponibles (González Madariaga, 2006).

Materiales empleados en la experimentación

Para la fabricación de probetas se han usado los siguientes materiales: yesos para la construcción disponibles en el comercio, de fraguado controlado o también llamado yeso lento (YC), y yesos de fraguado rápido o acelerado (YR). También se ha empleado Escayola 35 (E-35). Ésta es un fino material de la familia de los yesos para la construcción, que es usado para la fabricación y ligado de elementos prefabricados.

Por otro lado, se han usado partículas (perlas) expandidas de EPS como cargas de relleno en las mezclas ensayadas; estos plásticos resultan de la molienda de envases y embalajes que provienen del flujo de residuos municipales. Los residuos molidos que se usaron en la preparación de las muestras fueron caracterizados por el investigador, atendiendo a su forma y tamaño de donde se desprende que están compuestos por perlas completas

entre 3 y 5 mm de diámetro, perlas rotas (en el proceso de molienda) y por conjuntos de perlas o de trozos de perlas que no fueron separadas durante la molienda (figura 45).

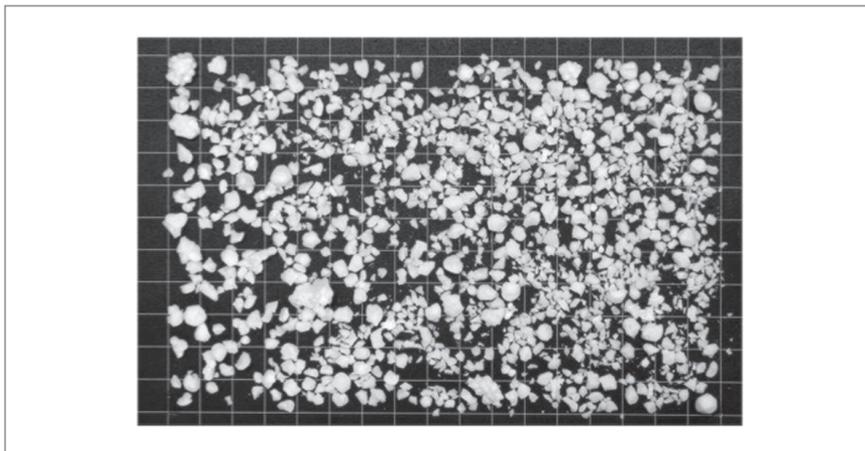


Figura 45. Caracterización de perlas de EPS.

Fuente: Fotografía tomada por Francisco Javier González Madariaga.

Experimentación

Las proporciones de agua y de residuos de EPS en una mezcla, siempre están en relación directa con el yeso usado en la fórmula que se trate, es decir, todas las mezclas propuestas en esta investigación tienen tres componentes básicos: yeso o escayola, agua, y residuos de EPS en distintas proporciones, según la propuesta que se trate, y las cantidades siempre se indican en porcentaje con relación al peso seco del yeso.

Por cada fórmula de las seleccionadas para placas, que se describen en la tabla 3, se fabricó una serie de muestras para ser ensayadas de acuerdo a alguna de las normas españolas y/o europeas y/o norteamericanas de placas de yeso laminado estándar. Las dimensiones de placas ensayadas fueron 300 x 300 x 12.5 mm; en su cara y dorso se colocó papel grueso como refuerzo a similitud de las placas comerciales.

Tabla 3. Mezclas usadas para la fabricación de muestras para ensayos como placa	
Número	Fórmula
1	YC 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 2%
2	YC 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 3%
3	E 100% + Agua al 120% + Molidos de EPS al 3%
4	YR 100% + Agua al 80% + Molidos de EPS al 1.6%

Además de las muestras que contienen residuos de EPS, se fabricaron dos grupos más de muestras que cumplieron como materiales de comparación. Estos dos grupos fueron: *muestras de referencia* (R), que son muestras fabricadas con las mismas fórmulas que aquellas seleccionadas salvo que *no* contienen residuos de EPS. También se obtuvieron muestras de materiales estándar o de placa de yeso laminado, estas muestras se denominan *muestras estándar o comerciales*.

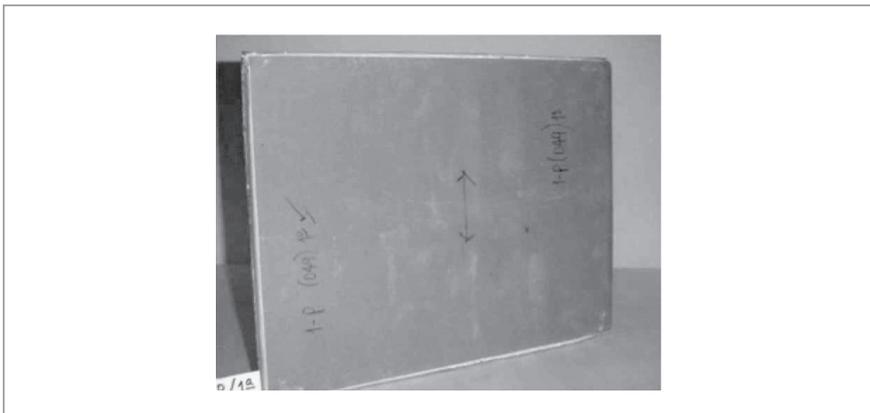


Figura 46. Muestra en preparación para ser ensayada, donde se observan los refuerzos del papel y el núcleo de yeso + partículas de EPS.

Fuente: Fotografía tomada por Francisco Javier González Madariaga.

Todas las muestras descritas fueron sometidas a ensayos, y los resultados se resumen a continuación (figura 46). Los materiales conglomerados y moldeados como placa que aquí se ensayan tienen un espesor de 12.5 mm, similar al producto disponible en el mercado, y muestran una cara que tiende a ser tersa, y la otra es ligeramente rugosa.

Resultados

Ensayo en laboratorio de mezclas moldeadas en placas con usos similares a las placas de yeso estándar. Determinación de la masa por unidad de superficie (UNE 102035/1M:2001)

Se confirmó que es posible disminuir de manera importante la masa por unidad de superficie en productos similares a la placa de yeso laminado por medio de la obtención de mezclas ricas en agua y/o a través de la integración de residuos molidos de EPS. De los resultados se han mostrado pérdidas de densidad que van del 44.5% (mezcla número 3) y el 23.1% (mezcla número 4), favorable a los materiales que contienen residuos molidos de espuma

Ensayo de carga máxima a la flexión (UNE 102035/1M:2001 y PrEN520 del AEN/CTN 102)

Este ensayo evidenció la disminución de los valores de carga máxima a la flexión que experimentan los cuerpos de yeso o escayola cuando se han formulado con una alta proporción de agua o se les ha agregado con residuos molidos de EPS, o cuando suceden los dos casos simultáneamente. De las probetas formuladas con residuos de EPS, la mezcla seleccionada número 4 supera en 11% el mínimo requerido por la norma correspondiente a placa de yeso laminado (210 N). De las otras mezclas, dos logran acercarse al 90% (mezcla número 3) y 83% (mezcla número 2) del valor requerido.

Ensayo de resistencia al impacto (UNE 102035/1M:2001)

De la comparación de los tres grupos de materiales de placa durante el ensayo, los formulados con residuos de EPS son los más débiles al impacto. La prueba que consistió en la medición de la huella producida por la caída de una bola de acero sobre la cara de la probeta, señaló que las mezclas con residuos de EPS mostraron huellas que exceden hasta en un 15% a los diámetros permitidos en la norma española de placas de yeso laminado (figura 47).

A través de la observación de las dimensiones y formas de las huellas hechas sobre los materiales con residuos de EPS, se observó la heterogeneidad

en la distribución de los residuos en la probeta y que es resultado probablemente de su producción artesanal.

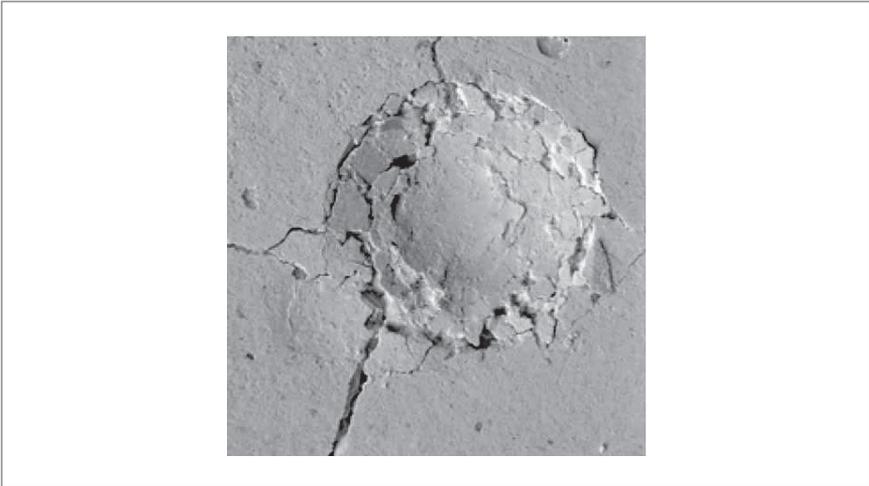


Figura 47. Marca del ensayo de resistencia al impacto de placas.

Fuente: Fotografía tomada por Francisco Javier González Madariaga.

Absorción de agua por inmersión total (UNE 102035/1M:2001)

El motivo para la aplicación de este ensayo es que la resistencia de los conglomerantes usados guarda relación con la presencia de agua en su estructura porosa.

El ensayo comprobó la mayor tendencia a absorber agua de los nuevos materiales, comparada con la absorción de las probetas de referencia (25% o más) y las comerciales (2.5% o más). Por otra parte, el regreso hacia el exterior del agua absorbida por las muestras durante el ensayo, se produce más rápidamente en los nuevos materiales, lo cual puede representarles una ventaja, debido a la más rápida recuperación de algunas de sus propiedades de resistencia cuando ha terminado la inmersión.

Ensayo de reacción al fuego (adaptada de UNE EN ISO 11925-2:2002)

El ensayo evidenció las conductas positivas de reacción al fuego de los materiales con residuos de EPS en las proporciones que se manejan aquí. Esta mejoría es producto de la naturaleza del conglomerante, la alta porosidad que resulta de su formulación y la forma como se da la combustión en el EPS que se produce de forma aislada al encontrarse envuelta en conglomerante, y que, en última instancia, al consumirse deja en el cuerpo de yeso o escayola un nuevo poro (figura 48) que puede cooperar al mejor comportamiento al fuego de la placa en la que participa. De acuerdo a los ensayos aplicados a los nuevos materiales, se puede proponer una clasificación B, s2, d0 según Euroclases.



Figura 48. Detalle de la superficie de una placa ensayada (fórmula número 3), donde se observan las cavidades que dejan las perlas de EPS después de ser expuestas al calor intenso. Fuente: Fotografía tomada por Francisco Javier González Madariaga.

Así pues, en los cinco ensayos anteriores se han caracterizado un grupo de 4 nuevos materiales formados por yeso o escayola y residuos de EPS que se pretende tengan aplicaciones similares a la placa estándar de yeso laminado. Los nuevos materiales han sido sometidos a ensayos normalizados para placa estándar; los resultados obtenidos indican una notable similitud de conductas de uno de los materiales a las del producto estándar señaladas en la norma, mientras los otros tres se acercan en mayor o menor medida.

Conclusión

En general, los ensayos aplicados a los nuevos materiales en forma de placa y de panel han aportado información importante que permite acercarse tanto a las ventajas como a las desventajas de los materiales y sus aplicaciones estudiadas. Los resultados apuntan hacia las buenas posibilidades de los materiales para su uso, pero también señalan inconvenientes que habrán de ser tomados en cuenta durante su posible utilización.

Los materiales de interés muestran algunas desventajas contra otros materiales comerciales; también se puede decir que esas desventajas pueden ser disminuidas o eliminadas por medio de la inclusión de aditivos o de refuerzos; en los materiales propuestos, éstas son oportunidades de mejora. Abajo se describen con mayor detalle las conclusiones del trabajo experimental.

De los resultados de los ensayos se puede determinar que la mezcla 4 es la que tiene el mejor balance de propiedades en referencia a la placa estándar. En la tabla 4 se comparan las propiedades de los dos materiales.

Una ventaja principal de los materiales con residuos de EPS en placa está en su ligereza, donde una placa fabricada con la mezcla 4 con un espesor de 12.5 mm tiene un peso de 5.55 kg/m², mientras una placa comercial del mismo espesor tiene su peso entre 9.8 y 10 kg/m². La pérdida de peso facilita la producción de las placas y su guarda en almacén, así como también su traslado hacia el lugar de uso e instalación en obra, lo que permite el ahorro de energía, que puede traducirse en un beneficio medioambiental, el cual se une al hecho de dar uso a plásticos provenientes de reciclaje.

Tabla 4. Propiedades de la mezcla seleccionada (número 4), comparada con las de la placa de yeso estándar

Núm. de mezcla	Fórmula	Absorción de agua %	Masa (kg/m ²)	Resist. a la flexión (N)	Reacción al fuego (euroclases)	Resistencia al impacto (Ø mm)
4	Yeso rápido 100+A80+MG 1.6. 12.5 mm	56.1	7,69	234	B, s2, d0	22.29
-	Placa de yeso laminado, estándar (STD) 12.5 mm	54.7	10	273	A2, s1, d0	17.3

Los ensayos han confirmado las buenas características de reacción al fuego de los materiales propuestos, lo que ofrece una opción válida y atractiva para aplicaciones de construcción interior con mayor riesgo de incendio, y donde la placa de yeso estándar puede resultar excesivamente pesada.

En varias de las comparaciones entre las resistencias mecánicas de las placas estándar, las placas de referencia y las placas fabricadas con residuos de espuma integrados, se observa un mejor desempeño de los materiales comerciales. Se puede explicar que la pérdida de resistencia de los materiales con residuos molidos es producto de la rica proporción de agua empleada en la preparación de las pastas y a la utilización de residuos. De todo ello resulta un sólido ligero, pero de alta porosidad, y por ello, más débil.

De los ensayos, se confirma que los nuevos materiales son potencialmente útiles para fabricar placas laminadas más ligeras que las estándar; sin embargo, sus aplicaciones se deberán limitar a recubrimiento de muros, y de usarse las placas aligeradas en particiones interiores, será recomendable adosarlas a placas estándar para acceder a una resistencia aceptable para esa aplicación. Dada la tendencia del material a absorber agua, y con ello perder propiedades de resistencia mecánica, los mejores resultados se pueden obtener en materiales aligerados para muros planos interiores, que han de mantenerse a resguardo de la lluvia y de la humedad excesiva.

Toda esta información alimenta el proceso de desarrollo de un nuevo producto tipo placa para la construcción, fabricado con el nuevo material.

Otros avances del proyecto

Una vez valorada la viabilidad de la propuesta inicial que se ha descrito en párrafos anteriores, los trabajos del grupo de investigación se dirigen a tres actividades, las cuales sólo se reseñan algunos resultados:

- a) *Protección intelectual de los productos de investigación.* El equipo de investigación plantea un programa de protección intelectual de los resultados del proyecto, que ha resultado en la obtención de una primera patente que protege la fórmula con las mejores características, para ser usada en la fabricación de placas aligeradas. También se ha protegido el diseño de algunos elementos de las máquinas que permiten la obtención de partículas de plástico.

- b) *Mejora de las características de los productos obtenidos a través de: obtención de partículas de plástico molido con características más favorables al moldeo de las placas.* Con este fin se han diseñado dos máquinas, una de molienda de partículas de plástico y otra para el moldeo de placas que permite controlar factores como la presión y temperatura ejercidos sobre la placa en fabricación; ambas se encuentran en periodo de pruebas y evaluación. También se trabaja sobre la caracterización de los residuos obtenidos.

Inclusión de un refuerzo de fibra natural

Los ensayos que se practicaron sobre los materiales de yeso y partículas de EPS, y que se reportan a lo largo de este escrito, señalan la necesidad de agregar a las mezclas refuerzos mecánicos que favorezcan la resistencia de las placas obtenidas. El equipo de investigación ha explorado diversas posibilidades de entre las cuales sobresale la del uso de la fibra seca proveniente del agave (*Tequilana Weber*), el cual es un abundante subproducto de la fabricación del tequila, y que acondicionado parece favorecer de manera sustancial las características de las placas obtenidas. El uso de este refuerzo se encuentra en proceso de evaluación.

- c) *Desarrollo de un sistema constructivo alrededor de los productos obtenidos.* Para ser competitivas en el mercado, las placas desarrolladas deben de acompañarse de una serie de elementos mecánicos que permiten su instalación, como canaletas, esquineros, sistemas de fijación y acabado. Una parte del equipo de investigadores se da a la tarea de diseñar a detalle todos estos productos.

Bibliografía

ASOCIACIÓN NACIONAL DE PLÁSTICO EXPANDIDO (ANAPE) (2007).

Asociación Nacional de Plástico Expandido. Fichero ANAPE. Madrid.

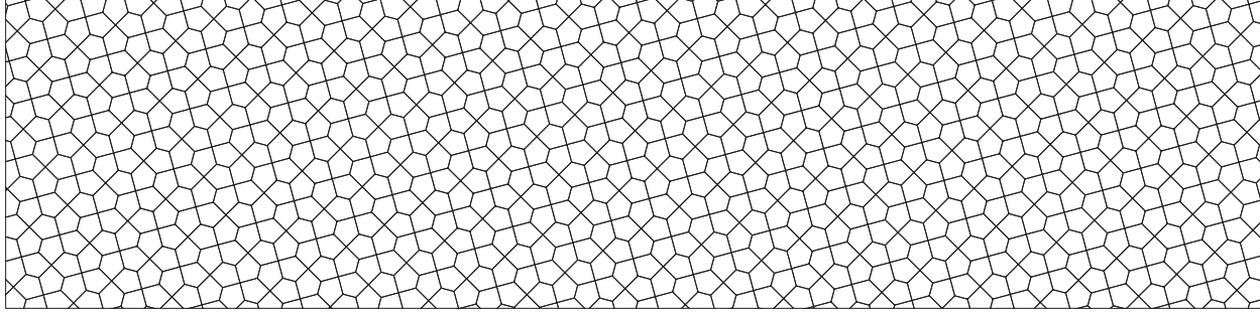
ASSOCIATION FOR PLASTICS MANUFACTURERS IN EUROPE (AMPE) (2007).

Plastics in Europe. Annual Report. Bruselas, p. 10.

BOADA, M. Y ZAHONERO, A. (2002). *Medi Ambient una crisi civilitzadora*.

Madrid: La magraña.

- EHRIG, R. (ED.) (1992). *Plastics recycling. Products and Processes*.
New York: Hanser.
- GONZÁLEZ MADARIAGA, F. (2006). *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola. Su uso en la construcción*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- GONZÁLEZ MADARIAGA, F., ROSA SIERRA, F. Y HERRERA LUGO, E. (2001).
Plásticos para diseñadores. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- ROSA SIERRA, L.A. (2008). *Estudio y caracterización de estructuras bicapa rígido-flexible formadas por MABS+TPU*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- SARTORIOUS, I. Y BASF (2002). *Development of plastics manufacturing in Europe*.
Trieste: ICS-UNIDO.



CAPÍTULO 5

Propiedades sensoriales de los materiales

5.1 Análisis de las propiedades sensoriales de los materiales para el diseño y desarrollo de productos

Introducción

Hablar de las propiedades sensoriales de los materiales que conforman un producto, conlleva el uso de disciplinas auxiliares al diseño, como lo son la ergonomía, la psicología y la ciencia de materiales, las cuales, en un principio parece que no tienen conexión inmediata; sin embargo, hay autores que ya inician esta búsqueda. El pionero en este campo es el profesor Michael Ashby de la Universidad de Cambridge, quien ha transitado del campo de la ingeniería de materiales hacia el del diseño y desarrollo de productos, encontrando la necesidad de emplear otras disciplinas que vengan a dar luz sobre aspectos poco explorados como el que nos atañe. Para el desarrollo de nuestra investigación, la cual tiene como objetivo establecer los mecanismos de apreciación y valoración de las propiedades sensoriales de los materiales para el diseño y desarrollo de productos, hemos iniciado por establecer una serie de estudios previos, los cuales deseamos mostrar en la presente obra.

Desarrollo

Como punto de inicio definimos que todos los materiales con que se fabrican los productos (sean éstos artesanales o industriales), presentan dos tipos de propiedades percibidas por el usuario: las propiedades intrínsecas del material y las propiedades atribuidas. Explicaremos a continuación cada una de ellas.

Las propiedades intrínsecas son aquellas que son cuantificables, universales, propias y exclusivas de cada material, y que la ciencia de materiales ha hecho su labor de estudio. Así tenemos que, podemos medir —caracterizar le llaman los ingenieros— todo tipo de propiedades inherentes al material, y se dividen en: propiedades mecánicas (resistencia de los materiales a esfuerzos a compresión, a tensión, a flexión, etc.), propiedades eléctricas (resistividad, disipación, etc.), propiedades térmicas (temperatura de fusión, temperatura de reblandecimiento, etc.), y otras, como densidad, absorción de humedad, propiedades superficiales, etc. Estas propiedades también son conocidas como “fisiología del producto”.

Así pues, como se mencionó anteriormente, la ciencia de materiales estudia este tipo de propiedades, y no es difícil encontrar información sobre las propiedades intrínsecas de cada material, si acaso, como diseñadores, en ocasiones nos es poco familiar el lenguaje técnico (figura 49).

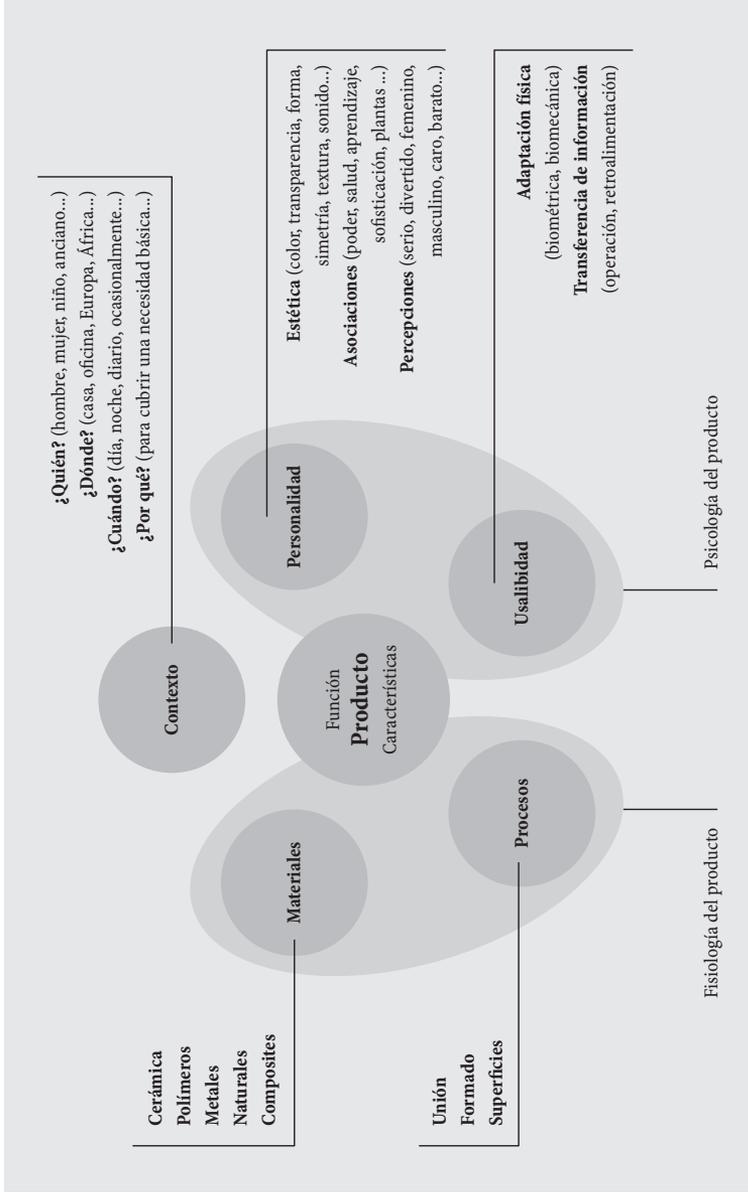


Figura 49. Carácter de un producto, donde se reúnen las propiedades intrínsecas (fisiológicas) y atribuidas (psicológicas). Fuente: Elaboración propia, a partir de una idea de Mike Ashby.

Por otra parte, se encuentran las propiedades atribuidas y que tienen que ver con cuestiones de apreciación, experiencia y culturales que se tiene acerca de los materiales, como son las propiedades estéticas (aparición, textura, tacto, relaciones y expresividad del material), siendo éstas condicionadas por la cultura, experiencia y vivencia previa del usuario. Estas propiedades también son conocidas como “psicología del producto”. Es en este rubro donde a nivel global se ha avanzado muy poco, quedando sólo las referencias como aquellas que establecen, por ejemplo, que las maderas presentan una textura superficial, vetas (patrones), colores y aromas específicos; que son de tipo táctil; que se perciben como un material cálido y con sonido propio; que representan tradición (trabajo de artesanos y carpinteros); que no existen dos piezas iguales; que la madera enaltece los productos, como por ejemplo: autos finos o muebles caros. Como vemos, estas propiedades son de lo más subjetivas y tienen que ver con la experiencia personal del usuario, con el contexto cultural del mismo y con la manera como se perciben a través de nuestros diferentes sentidos, de tal manera que podemos, de acuerdo al uso de nuestros sentidos, plasmar o resaltar los atributos estéticos de los materiales (tabla 5).

Tabla 5. Atributos estéticos de los materiales			
Táctil	Auditivo	Sabor-olor	Visual
Cálido	Resonante	Dulce	Claro
Frío	Apagado	Picante	Transparente
Suave	Ruidoso	Solventes	Translúcido
Duro	Huevo		Opaco
Flexible	Sólido		Reflectivo
Rígido			Brillante
			Mate
			Texturizado

Para establecer la manera en que percibimos los productos, hemos iniciado nuestros trabajos con uno de los sentidos menos explorados: el sentido del tacto, el cual describimos a continuación.

Ergonomía háptica

A través del tacto podemos percibir, además de la forma, otras características importantes de los estímulos (su tamaño, su dureza, su peso o su temperatura). Se denomina percepción táctil cuando la información de los estímulos se adquiere sólo a través de la piel, siendo el objeto el que se mueve sobre la misma, que permanece estática. Esta forma de percepción suele ser peor que cuando es la mano la que se mueve libremente para explorar el estímulo (percepción háptica). Aunque toda la superficie corporal tiene sensibilidad táctil, la mano es el órgano natural del tacto porque está adaptada para manipular objetos. Sus sensores cutáneos y cinestésicos están finamente articulados con los mecanismos motores, lo que hace que la mejor manera de explorar los objetos sea realizando movimientos coordinados de los dedos y las manos (percepción háptica) (figura 50).



Figura 50. Ejemplo de percepción háptica para un mismo material (ligero, pesado o suave).

Fuente: Marie Rouillon. Sin título. Imagen tomada del sitio de Marie Rouillon: <http://marierouillon.com/2012/03/06/daily-haptics-2/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

El sistema háptico es una modalidad perceptiva compleja que codifica la información que llega al cerebro proporcionada por los mecanorreceptores de la piel y por los receptores cinestésicos de los tendones, músculos y articulaciones (Loomis y Lederman, 1986). Cuando exploramos objetos o patrones de líneas o de puntos realizados, con nuestras manos, realizamos de forma voluntaria una serie de movimientos exploratorios. La eficiencia de la visión (en precisión y rapidez), hace que se considere que esta modalidad domina al resto de las modalidades perceptivas. La percepción de la forma a través del tacto es algo menos precisa y más lenta que la percepción visual. Esta razón ha hecho que muchas veces el aspecto háptico no se le dé

la importancia que realmente tiene. La percepción de la forma depende de la organización espacial. Para codificar una forma, sus rasgos percibidos a través del tacto hay que relacionarlos unos con otros, o con respecto a algún marco de referencia interno o externo (Millar, 1997). Una de las razones por las que el tacto parece inferior a la visión a la hora de percibir formas, es que en el tacto sin visión es difícil encontrar un marco de referencia con respecto al cual se pueda codificar la forma (figura 51).

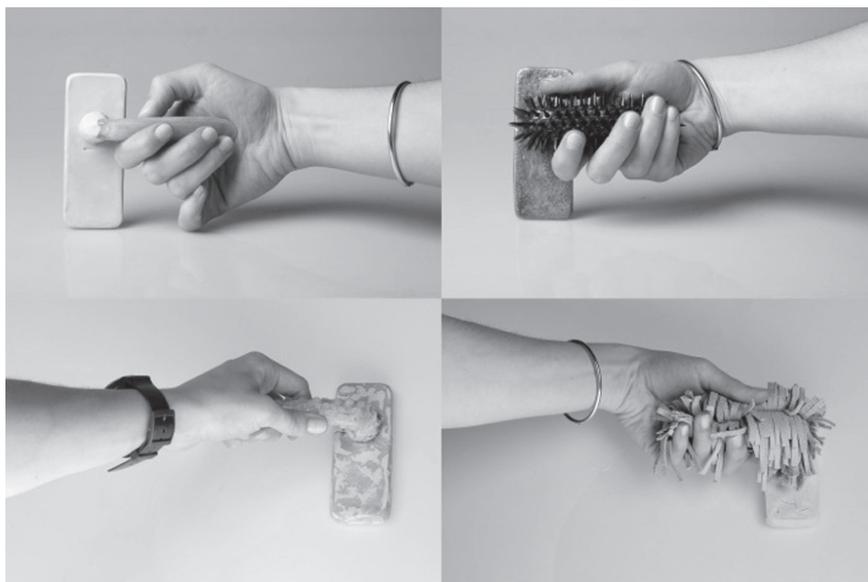


Figura 51. Experimentos hápticos de la diseñadora Marie Ruillon para asas de puertas.

Fuente: Marie Rouillon. Sin título. Imagen tomada del sitio de Marie Rouillon: <http://marierouillon.com/2012/03/06/daily-haptics-2/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Aplicación de la ergonomía háptica a los productos

Resulta especialmente adecuado el uso de las señales hápticas cuando las condiciones ambientales o de entorno son difíciles (sobrecarga de estímulos audiovisuales) o extremas (situaciones singulares o de alto riesgo). La tabla 6 nos muestra en qué condiciones es preferible el uso de un display háptico.

Tabla 6. Tipos de displays y recomendaciones para su uso			
	Displays visuales	Displays auditivos	Displays hápticos
Utilizado para:	Mensajes complejos	Mensajes simples	Mensajes simples
	Mensajes largos	Mensajes cortos	Mensajes cortos
	Mensaje referido al futuro	Mensaje referido al presente (referido a hechos que están sucediendo)	Mensaje referido al presente (referido a hechos casi inmediatos)
	Mensaje referido a localizaciones en el espacio	Exige una acción inmediata	No exige una acción inmediata
	No exige acción inmediata		
Aconsejable cuando:	El sistema auditivo del operario está sobrecargado	El sistema visual del operario está sobrecargado	Los sistemas auditivo y visual del operario están sobrecargados
	El lugar donde se recibe la señal es muy ruidoso	El lugar donde se recibe la señal está muy iluminado	Condiciones ambientales o extremas
	El trabajo realizado le exige permanecer en la misma posición	El trabajo realizado le exige moverse continuamente	De carácter estático, aunque también puede desarrollarse con sentido dinámico

Es interesante subrayar las posibilidades que pueden ofrecer, en un futuro, el carácter dinámico de los estímulos de este tipo. Las primeras inclusiones de características hápticas en los objetos se dieron hacia los años setenta, específicamente en herramientas, de la mano del desarrollo de polímeros y elastómeros que permitían desarrollar magos y asideros que mejoraban la sujeción de los objetos; sin embargo, el uso de materiales elastoméricos se limitaba a insertos o piezas completas superpuestas a las herramientas y objetos de mano (figura 52).



Figura 52. Ejemplo de herramienta al cual se le ha colocado un recubrimiento “suave” para mejorar el agarre; sin embargo, este mango tiende a moverse con el movimiento por estar superpuesto. Fuente: Imagen tomada del sitio tOrange.biz: <http://espanol.torange.biz/Objects/Metallic-objects/Martillo-carpintero-2588.html> (24 de febrero de 2013).

Es hasta fines de los años noventa que de la mano de la industria automotriz se inicia el desarrollo de las interfases hápticas, especialmente en la tarea de la conducción del vehículo, debido a que es en esta operación cuando el resto de los sentidos (oído y visión) se encuentran con otras tareas. Un ejemplo de aplicación es el que se ha dado a las palancas que se encuentran a los lados del volante, para accionar las luces, limpiabrisas, autoestéreo, control de velocidad de cruce, etc. (figura 53).

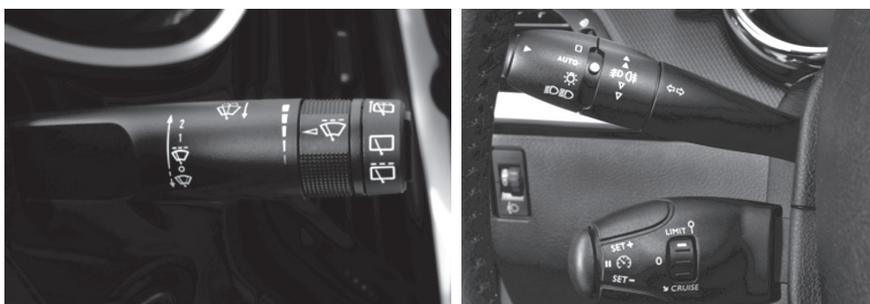


Figura 53. Ejemplos de desarrollo de interfases hápticas en la industria automotriz. Derecha: palancas de encendido de luces/direccionales y control de velocidad de cruce (Peugeot 206). Izquierda: palanca de encendido de limpiabrisas delantero y trasero (Equinox, GM). Fuente: Imágenes tomadas de los sitios de Peugeot Central: <http://www.peugeotcentral.co.uk/ftopic-8152.html>, y de the College Driver: <http://www.thecollegedriver.com/posts/1688-Road-Test-2012-Chevrolet-Equinox-LTZ> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Actualmente, la aplicación de interfases o displays hápticos ha encontrado una gran posibilidad de aplicaciones en el campo de la electrónica de consumo (figuras 54 y 55); se continúa estudiando en la industria automotriz (figura 56), y sin duda veremos cada vez más aplicaciones en productos de uso común en el futuro.



Figura 54. Masajeador sensual de Philips Electronics. Este producto es un excelente ejemplo del uso de aplicación de cualidades hápticas de los materiales.

Fuente: Imagen tomada del sitio de mujerhoy.com: <http://www.hoymujer.com/Especiales/explorando-juntos-508751112010.html> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).



Figura 55. Teléfono celular *Touch wood* de Sharp (2010). En este producto se enfatiza el uso de los atributos estéticos asociados al tacto y vista para un producto original e irrepetible.

Fuente: Touch Wood Sh-08C. Imagen tomada del sitio de TGreaTperT: <http://answer.nttdocomo.co.jp/touchwood/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

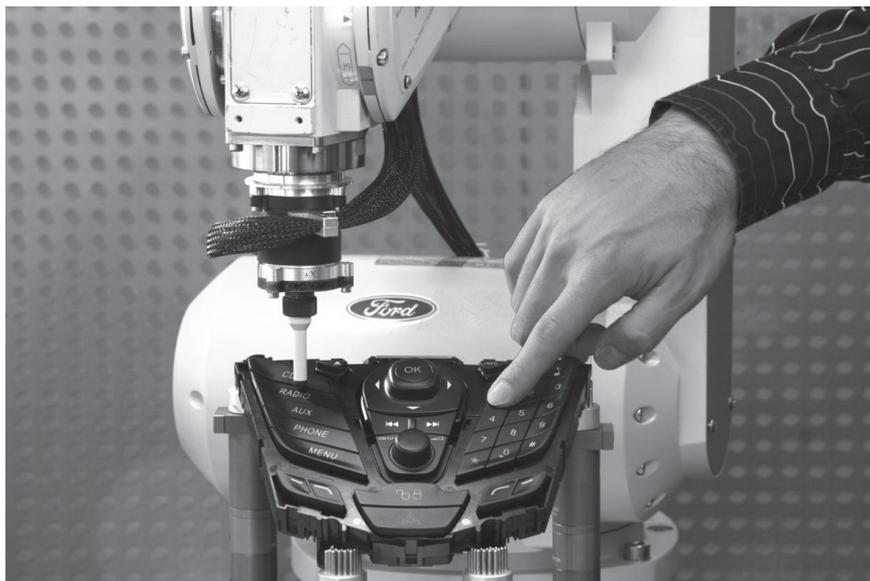


Figura 56. Uso de robots sensibles al tacto dentro de la industria automotriz. Ford "RUTH" que permite determinar la sensibilidad de uso de los botones de un tablero de instrumentos.

Fuente: Ruth Robot. Imagen tomada del sitio de Grupo Goldstein: <http://grupogoldstein.com.ar/blog/ford-utiliza-un-nuevo-robot-llamado-ruth-para-monitorear-la-calidad/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Por lo anteriormente señalado, el desarrollo de las estructuras para la conformación de los objetos que permitan la incorporación o creación de propiedades hápticas, como las estructuras rígido-flexibles, ha cobrado cada vez mayor relevancia.

Dentro de los trabajos de investigación desarrollados por el Cuerpo Académico 381 "Innovación tecnológica para el diseño" de la Universidad de Guadalajara, se ha desarrollado una extensa investigación tecnológica para la producción de estructuras bicapa, las cuales son la base para el diseño y desarrollo de productos con displays hápticos. En la investigación se han estudiado tres diferentes procesos de producción: sobre-inyección, co-extrusión y sobre-moldeo. Los resultados de esta investigación han demostrado la factibilidad de producción de estas estructuras, y se han establecidos los mejores parámetros y condiciones técnicas para su producción.

Cabe señalar que cuando se realizaba la investigación tecnológica, surgieron algunas dudas acerca del grado de dureza que las superficies en

contacto con el usuario debían de tomarse en cuenta para ser consideradas agradables y seguras. En este punto, descubrimos que la literatura y referencias eran muy pobres. Incluso aún los fabricantes de elastómeros no tienen una referencia clara de qué tipo de suavidad es la mejor para el tacto, de acuerdo al tipo y entorno de aplicación al producto.

Fruto de la falta de información, es que encontramos en nuestra búsqueda de productos con características de “agarre seguro” una gran cantidad de conformaciones: exceso de dureza en el material supuestamente flexible, capas de material flexible tan delgado que permiten sentir la dureza del sustrato, dureza del elastómero adecuada que al primer uso se deforman de tan flexible que es el material, y un sinnúmero más de errores en la aplicación del sistema bicomponente, atribuidas a la mala elección del material, sin tomar en cuenta los errores en la técnica de producción, que obviamente, dan al traste la supuesta comodidad y eficiencia de este tipo de productos (figura 57).



Figura 57. Ejemplos de aplicaciones mal logradas de productos con asas de “agarre cómodo” (de izquierda a derecha), en el primer ejemplo, el material elastomérico es apropiado al agarre; sin embargo, es tan delgado que al momento del uso termina sintiéndose la rigidez del sustrato. En el segundo ejemplo, el material elastomérico es tan duro como el cuerpo del cepillo. En el tercer caso el material elastomérico es apropiado al tacto; sin embargo, al esfuerzo del corte se deforma, provocando una sensación de inestabilidad en la acción de corte. Fuente: Imágenes tomadas de: <http://www.allfunshopping.com/tools/?tag=1150539883&page=5>, <http://www2.caleu.cl/cat-12/1795-producto-1795.html>, y <http://www.toolsandleisure.co.uk/hilka-12-hardpoint-tenon-saw-271-p.asp> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Por lo tanto, es motivo de nuestro interés estudiar las características que deberían de cumplir los displays hápticos y las aplicaciones en productos de agarre cómodo para que realmente cumplan su función de comunicación, comodidad y seguridad para el usuario.

Nuestra primera aproximación ha sido documentar el estado del arte en esta área del conocimiento, descubriendo que existen diferentes aproximaciones y enfoques. Por una parte, existen algunos trabajos científicos

provenientes desde la psicología, neurofisiología y personas que trabajan con invidentes. La otra vertiente de trabajo es de los investigadores del área de multimedia, quienes exploran el impacto de las habilidades hápticas en los dispositivos de comunicación. En el área del diseño y desarrollo de productos son muy pocos los trabajos desarrollados, por lo que se presenta el área como una excelente oportunidad de desarrollo futuro.

Una parte importante de este tipo de trabajos es la retroalimentación y discusión de los mismos, por lo que actualmente nos encontramos en la fase de establecimiento de relaciones con grupos de investigación afines y expertos en el tema.

Bibliografía

- ASHBY, M. (2005). *Materials selection in mechanical design*. Oxford: Elsevier.
- ASHBY, M. Y JOHNSON, K. (2009). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. London: Butterworth-Heinemann.
- CHEN X., SHAO, F., BARNES, C., CHILDS, T. Y HENSON, B. (2009). Exploring Relationships between Touch Perception and Surface Physical. *International Journal of Design*, 3 (2), 67-77.
- EVANS, M., WALLACE, D., CHESHIRE, D. Y SENER, B. (2004). An evaluation of haptic feedback modelling during industrial design practice. *Design Studies*, 26 (5), 487-508.
- LOOMIS, J.M. Y LEDERMAN, S.J. (1986). Tactual perception. In Boff, K., Kaufman, L. y Thomas, J. (eds.), *Handbook of perception and human performance*, volumen 2, capítulo 31.
- MILLAR, S. (1997). *Reading by touch*. London: Routledge.
- O'MODHRAIN, S. (2004). Touch and go, designing haptic feedback for a hand-held mobile device. *BT Technology Journal*, 22 (4), 139-145.
- ROSA SIERRA, L.A. (2008). *Estudio y caracterización de estructuras bicapa poliméricas conformadas por MABS + TPU*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- BERGMANN TIEST, W.M. Y KAPPERS, A.M.L. (2006). Analysis of haptic perception of materials by multidimensional scaling and physical measurements of roughness and compressibility. *Acta Psychologica*, 121 (1), 1-20.

5.2 Importancia de la apreciación visual y táctil de calidad percibida en la compra de pantalones de mezclilla (*jeans*)⁴

Introducción

Los consumidores eligen los productos basados en diferentes atributos que presentan los mismos; algunos de ellos son funcionales y otros estéticos. Los atributos funcionales de los productos son aquellos que satisfacen las necesidades del consumidor a través de la resolución de sus problemas o la prevención de los mismos, mientras que los atributos estéticos son aquellos que generan experiencias placenteras por el hecho de poseerlos, interactuar con ellos, observarlos y consumirlos.

El diseño de vestimenta funcional o práctico aporta al usuario diferentes beneficios, como son, protección, calidez, confort y libertad de movimientos. Algunos consumidores no pasan al nivel más alto de evaluación de un producto si antes éste no ha cumplido con lo “básico” o “esencial” que representa el primer nivel (funcional). Un ejemplo de ello es que muchos consumidores no comprarían una chamarra que tuviera la cremallera descompuesta o descosida, independientemente del estilo o apariencia estética de dicha prenda.

Así pues, el diseño estético no sólo ofrece variantes a los estilos de vestimenta existentes en el mercado, sino que añade novedad, distinción y placer al consumidor. Lleva consigo una carga de significado y mensajes acerca del usuario, sirviendo como un vehículo de comunicación no verbal del gusto del consumidor, estilo de vida y valores. Estudios previos han demostrado que un 60% de los consumidores indican que el “diseño” de la prenda es el factor más importante en la decisión de compra de una prenda (Bruce y Whitehead, 1998).

De esta manera, el diseño del producto, tanto funcional como estético, juegan un rol importante en el éxito de un producto, así como afecta directamente el valor percibido de los consumidores acerca de la satisfacción que les causa (o no) un producto.

⁴ Este apartado contó con la valiosa colaboración de Mónica Patricia López Alvarado.

Cabe mencionar que un factor importante que afecta la percepción de un producto es el valor cultural que hace que un producto sea juzgado o percibido de diferentes maneras, dependiendo de la experiencia o contexto del consumidor. Crozier (1994) considera que la percepción que se puede tener sobre un producto dependerá de factores socio-culturales, socio-económicos, históricos y tecnológicos. Por ejemplo, los consumidores chinos perciben un par de pantalones de mezclilla de la marca Levi's modelo 501 como "exóticos y modernos", mientras que para el consumidor norteamericano son "auténticos y clásicos". Esto cobra mayor importancia cuando se trata del diseño y producción de prendas para empresas multinacionales y marcas globales, donde se debe de comprender las motivaciones de compra en un contexto global y multicultural, si se desea tener éxito en las ventas.

Estudios previos realizados alrededor del mundo (tabla 7) (Rahman, 2012) han demostrado que estos factores influyen en la compra de las prendas, por lo que, la necesidad de conocer la percepción del consumidor mexicano, el cual presenta características sociales y culturales propias, es la base de nuestro estudio.

Para entender cómo los consumidores piensan (nivel cognitivo), sienten (nivel emocional), y actúan (nivel conductual) de cara a los aspectos físicos del producto, el presente estudio se enfocó en las características intrínsecas de las prendas (tipo de tela, grosor del textil, color), por sobre las características extrínsecas (precio, marca). Estos aspectos son esencialmente importantes para los consumidores jóvenes al momento de la decisión de compra (Rahman, Zhu y Liu 2008). Sin embargo, en esta primera etapa del estudio, decidimos descartar las características extrínsecas que pudieran desviar la valoración del textil con el que está confeccionada la prenda. En una segunda fase de la investigación involucraremos estos otros factores.

Concepto de calidad percibida

En términos generales, se pueden distinguir dos conceptos de calidad: la calidad objetiva y la calidad percibida. La primera se corresponde con la calidad real de los productos, que se puede medir y comparar desde un punto de vista técnico. Sin embargo, muchas veces el consumidor no tiene la capacidad para juzgar la calidad objetiva, por lo que es la calidad percibida la que actúa como variable de decisión en la selección de una marca

concreta. Según Zeithaml (1988), la calidad percibida es “la opinión del consumidor sobre la superioridad o excelencia de un producto” (p. 4). Dicha opinión se configura, según Cruz y Múgica (1993), a partir de tres tipos de factores: a) los atributos intrínsecos del producto o calidad objetiva; b) los atributos extrínsecos, como la marca, el envase o la imagen transmitida por la publicidad, a los que el consumidor asocia una determinada calidad; y c) el precio, un atributo extrínseco que debe considerarse separadamente por su especial influencia en la calidad percibida.

Aspectos sensoriales y fisiológicos

Los métodos de análisis sensorial se han usado ampliamente como herramientas de investigación de mercado en los últimos tiempos, y ejemplos significativos de aplicación se pueden encontrar en la industria automotriz. Este último ha realizado recientemente varios intentos de comprender y caracterizar las preferencias sensoriales de los usuarios finales y traducir estas características en las especificaciones técnicas para el desarrollo de nuevos productos (Giboreau y Civille, 2001). Sin embargo, esta tendencia puede ser más importante para la industria textil, ya que muchos factores se pueden dar para otorgar propiedades a un material observado a través de la percepción háptica. Cabe señalar que este fenómeno se ha incrementado en gran medida en la actualidad por los nuevos desarrollos de la industria textil en términos de la globalización y el nuevo entorno virtual de aplicaciones bajo demanda para la variedad y personalización. El objetivo principal es adaptar los productos a las preferencias de cada consumidor.

Percepción háptica

A la percepción visual se le ha brindado una importancia significativa en el desarrollo de investigaciones sobre la percepción y representación mental de objetos, así como esquemas presentados visualmente, y a considerar, por lo tanto, al sistema visual como el más importante, y al háptico, como un sistema de procesamiento secundario, subsidiario del visual. De ahí que el número de investigaciones sobre el tacto hayan sido menores al de la visión. No obstante, durante los últimos años se han demostrado avances importantes en lo que se refiere al tacto (Ballesteros, 1992). La percepción

háptica tiene la capacidad para reconocer características importantes de los objetos, como son: temperatura, peso, rugosidad, grosor, etc., que no pueden percibirse a través de otras modalidades sensoriales.

Debido a lo anterior, resulta primordial hacer mención que se han diferenciado tres modos de procesar la información sobre objetos a través del tacto. Son los siguientes: percepción táctil, kinestésica y háptica.

La *percepción táctil* se refiere a la información que se adquiere exclusivamente a través del sentido cutáneo, cuando el individuo adopta una postura estática que se mantiene a lo largo de todo el tiempo que dura el procesamiento de la estimulación.

La *percepción kinestésica* se trata de la información que proporcionan músculos y tendones. Un ejemplo sucede mediante la anestesia cuando se ha eliminado algún tipo de información adquirida a través del sentido cutáneo.

La *percepción háptica* sucede cuando ambos mecanismos, el táctil y kinestésico, se combinan para proporcionar al individuo información válida acerca de los objetos del mundo. Se refiere al utilizar el sentido del tacto de forma activa y voluntaria. Es la percepción de la información obtenida exclusivamente a través del uso activo de manos y dedos.

Estudios de Katz (1989) y Gibson (1966), consideran la enorme importancia que adquiere el movimiento voluntario de los dedos cuando tratan de percibir hápticamente un objeto. Destacan sus trabajos sobre la precisión del receptor háptico cuando se trata de discriminar la textura de diferentes superficies, siempre que exista un movimiento de rotación entre la mano y la superficie a explorar. Se obtiene información precisa sobre la textura y dureza de las diferentes superficies. De acuerdo a estudios posteriores (por ejemplo los de Millar, 1978; Klatzky, Lederman y Reed, 1987), se ha encontrado que la textura y la dureza son atributos que resultan más destacados para el sentido háptico que para el sentido visual.

Ahora bien, en la percepción háptica (tacto activo), se combinan la información táctil y kinestésica para proporcionar al individuo una información más completa de los objetos de su medio siempre que mueva los dedos con un propósito determinado.

Tabla 7. Estudios previos de atributos y estética de prendas de vestir (Rahman, 2012)						
Autor	Año	Producto	Muestra	Método de investigación	Instrumento	Estímulo
Morganosky	1984	Suéteres, zapatos, guantes y sombreros	Consumidores (n=102)	Encuesta	Preguntas de entrevista	Prendas de ropa
Holbrook	1986	Ropa de hombre	Estudiantes de MBA: 42 H y 22 M (n=64)	Experimental	Escala de emparejamiento de adjetivos	Dibujos blanco y negro
Francis y Evans	1987	Blusas de mujer	Estudiantes mujeres (n=301)	Experimental	Diferenciación semántica	Fotografías a color
Francis y Evans	1988	Blusas de mujer	138 voluntarios: 71% H y 28% M	Experimental	Escala de Likert	Fotografías a color
Thurston <i>et al</i>	1990	Trajes o vestidos	117 oficinistas H, 90 oficinistas M (n=207)	Experimental	Escala de Likert	Fotografías blanco y negro
DeLong <i>et al</i>	1993	Sacos	Estudiantes mujeres (n=172)	Encuesta	Escala de Likert	Dibujos blanco y negro
Fiore	1993	Tela y fragancias	Estudiantes mujeres (n=89)	Experimental	Escala de Likert	Muestras de tela y tiras aromáticas
Feather <i>et al</i>	1996	Uniformes de basketbol	503 jugadoras M	Encuesta	Escala de Likert y escala de calificación	Dibujos a color
Eckman	1997	Ropa de hombre	91 M, 77 H (n=168)	Encuesta	Escala de Likert	Dibujos a color
Yoo	2003	Saco sastre de mujer	265 trabajadoras M	Encuesta	Escala de Likert	Dibujos blanco y negro en CAD
Wang <i>et al</i>	2006	Abrigo de mujer	36 H, 34 M (n=70)	Encuesta	Escala diferencial semántica	Fotografías a color (en Power-point)
Rahman y Jiang	2010	<i>Jeans</i> de mujer	Estudiantes mujeres chinas (n=247)	Encuesta	Escala de Likert	Fotografías blanco y negro

Importancia del estudio realizado

La importancia del trabajo consiste en que no existen investigaciones en nuestro país o contexto, que determinen cuál es el criterio que priorizan los consumidores jóvenes durante el proceso de elección de una prenda básica de su guardarropa, como lo es el pantalón de mezclilla. Este tipo de investigaciones permitirán profundizar el conocimiento del consumidor mexicano, así como conocer la importancia que la evaluación de calidad percibida tiene y afecta la decisión de compra de una prenda.

Descripción del estudio

Para la realización del estudio se utilizaron seis muestras de pantalones de mezclilla, buscando ofrecer diferentes tonos y grosores de tejido. Para evitar que la marca y precio asociado a la misma, así como el corte o estilo de la prenda, fuera factor de decisión, se enrollaron los pantalones, dejando sólo una porción de la parte baja de la pierna de aproximadamente 30 cm libre para que los usuarios pudieran tocar las diferentes muestras (figura 58).



Figura 58. Disposición de los *jeans* para las encuestas; se enumeraron y enrollaron, dejando sólo una porción de pierna para que los usuarios pudieran tocarlos y hacer sus evaluaciones. Fuente: Fotografía tomada por el autor.

La muestra se conformó por estudiantes universitarios, de entre 18 a 30 años de edad, con una edad promedio de 21 años, siendo éste nuestro público objetivo. Se realizaron 74 encuestas cualitativas, de las cuales 57 se

aplicaron a mujeres y 17 a hombres. Para la encuesta se diseñó un instrumento con 7 preguntas previas, donde se buscaba conocer el tipo de marca que los consumidores reconocen, el tipo de corte y estilo que gustan, la cantidad de *jeans* que consumen al año, el sitio de compra, y generalidades acerca de la compra de las prendas. Posteriormente se presentaron 11 preguntas de elección con las características intrínsecas del textil, entre ellas se preguntó acerca de: tipo de material, espesor de la tela, homogeneidad en el color, resistencia aparente al lavado, resistencia aparente al roce, resistencia al desgaste, durabilidad y cuidado de la prenda. A las evaluaciones se les otorgaba 3 niveles (excelente, regular y malo). A la encuesta se acompañaba un glosario con la descripción de los diferentes términos empleados en las preguntas por si existía alguna duda en la precisión del significado de los términos empleados, asimismo, las becarias de investigación que participaron en el levantamiento de las encuestas auxiliaron a los usuarios con sus dudas acerca de la evaluación.

Por otra parte, se procedió a la caracterización de las telas empleadas en el estudio, elaborando fichas técnicas que incluyen las características técnicas de cada muestra. Las fichas contienen el tipo de ligamento (sarga), la cantidad de hilos por pulgada (que van de 49 a 58), la materia prima en pie (algodón) y la materia prima en trama (algodón y algodón-elastano). Se obtuvieron microfotografías de la mezclilla usando un microscopio digital con un aumento de 20x (figura 59). La elaboración de estas fichas permitirá en un futuro, la incorporación de más muestras, y la comparación con otro tipo de tejidos.

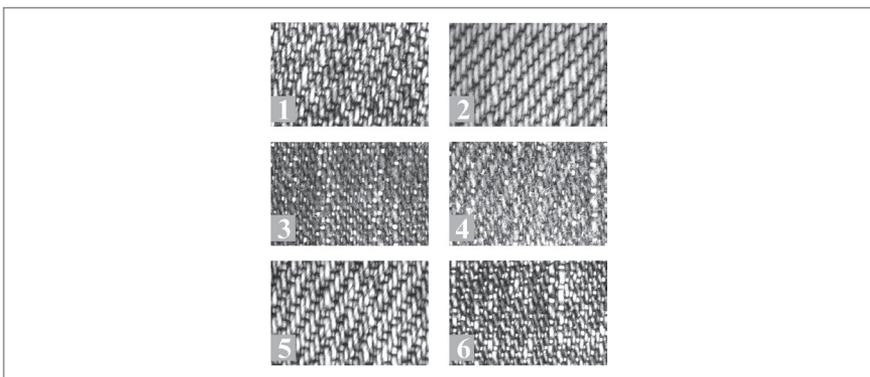


Figura 59. Microfotografías de las muestras utilizadas en el estudio.

Fuente: Microfotografías tomadas por el autor.

Resultados de la investigación

Los resultados muestran que los jóvenes sí se guían por sus sentidos; es decir, por su percepción visual y háptica al percibir con el tacto las muestras de la mezclilla; que buscan la calidad, a través de su resistencia, textura, color, espesor y material. Asimismo, los jóvenes reconocen la calidad, conocen las marcas existentes en el mercado y pueden diferenciar entre los cortes y estilos.

De la sección de preguntas abiertas, donde se buscaba conocer los comportamientos de compra, se desprende que los consumidores compran un promedio de dos pantalones por año, siendo las tiendas departamentales los lugares preferidos de compra, aduciendo que en estos comercios es posible probárselos, descartando por completo el comercio electrónico para la compra de este tipo de producto. Las marcas más reconocidas son Levi's, Calvin Klein, Oggi y Pepe Jeans, en orden descendente, hasta completar doce menciones diferentes. Todos los encuestados refieren que la calidad de una prenda es determinante al momento de su compra, entendiendo por calidad el grosor del textil, así como la homogeneidad en el color.

En lo referente a los aspectos intrínsecos, la mayoría (80%) eligieron los jeans de mayor peso y color homogéneo, correspondiendo a la marca "Levi's" (muestras 1, 2 y 5), siendo los menos valorados los correspondientes a la marca "Abusadora", por ser la del textil de menor peso y color no homogéneo, lo que para los consumidores denotaba "poca calidad" (figura 60).

Cabe resaltar el gran interés que los participantes mostraron durante el estudio; en todo momento se nos preguntaba los alcances del trabajo y la originalidad del mismo. Por otra parte, nos permite inferir que sin involucrar precio y marca, el consumidor sí resalta los aspectos de calidad percibida de las prendas, buscando la máxima duración de las mismas al elegir los textiles de mayor grosor y resistencia aparente.



Figura 60. Usuarios durante el estudio evaluando las diferentes muestras.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Los resultados obtenidos nos permiten validar la hipótesis de trabajo, siendo ésta la primera etapa de la investigación. En etapas posteriores involucraremos otras variables (precio, estilo y marca), para así poder tener una apreciación de los factores que intervienen en la compra de una prenda básica para el joven actual.

Bibliografía

- BALLESTEROS, S. (1992). *Haptic perception and forms of memory for tridimensional objects and bidimensional patterns: A project*. Paper presented at the annual meeting of the Tactile Research Group, San Francisco, California.
- BRUCE, M. Y WHITEHEAD, M. (1998). Putting design into the picture: the role of product design in consumer purchase behavior. *Journal of the Market Research Society*, 302 (2), 147-162.
- CROZIER, W. (1994). *Manufactured pleasures: Psychological response to design*. Manchester: University Press.
- CRUZ, I. Y MÚGICA, J.M. (1993). La relación precio-calidad objetiva en los mercados de productos de gran consumo. *Información Comercial Española. Revista de Economía*, 716, 25-35.

- DELONG, M., LABAT, K., NELSON, N., KOH, A. Y KIM, Y. (2002). Global products, global markets: Jeans in Korea and the United States. *Clothing and Textiles Research Journal*, 20 (4), 238-245.
- GIBOREAU, A. Y CIVILLE, G.V. (2001). *Sensory evaluation of non food products*, 4th R.M. Pangborn Symposium, Dijon.
- GIBSON, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- KATZ, D. (1989). Der Aufbau der Tastwelt. Leipzig: Barth. En Krueger, L.E. (traduc.), *The world of touch*. Hillsdale, NJ: Lawranc Erlbaun Associates. (Trabajo original publicado en 1925).
- KLATZKY, R., LEDERMAN, S.J., REED, C. (1987). There's more to touch than meets the eye: The salience of object attributes for haptics with and without vision. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116 (4), 356-369.
- MILLAR, S. (1978). Aspects of memory for information from touch and movement. En Gordon, G. (Ed.), *Active touch. The mechanism of recognition of objects by manipulation: a multidisciplinary approach* (pp. 215-227). Oxford: Pergamon Press.
- RAHMAN, O. (2012). The influence of visual and tactile inputs on denim jeans evaluation. *International Journal of Design*, 6 (1), 11-24.
- RAHMAN, O. Y JIANG, Y. (2010). Evaluative criteria of denim jeans: A cross-national study of functional and aesthetic aspects. *The Design Journal*, 13 (3).
- RAHMAN, O., ZHU, X. Y LIU W. (2008). A study oy the pijamas purchasing behaviour of Chinese consumers in Hangzhou, China. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 12 (2), 217-231.
- ZEITHAML, V.A. (1988). Consumer perceptions of price, quality and value. A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing*, 52 (3), 2-22.

Conclusiones

Para finalizar quisiera terminar esta obra de una manera poco convencional, y es a través de ejemplos de nuevos productos que sintetizan de perfecta manera todo lo anteriormente expuesto a lo largo del texto.

Para ello he utilizado el prestigioso premio de diseño “*Red Dot Award*” edición 2012-2013, celebrado recientemente en Essen, Alemania. Es de notar que los premios y menciones de esta última edición van en concordancia con la propuesta del uso creativo de los materiales. He realizado una pequeña selección de los productos que a mi juicio ejemplifican la estrategia de diseño planteada, con una breve descripción del juicio que los hizo ganadores.

Juego de cuchillería “Sara Wiener”

Fabricante: Pott, Alemania

En este juego de cuchillos se empleó madera de ciruelo para la fabricación de los mangos, los cuales cubren la hoja de acero inoxidable enriquecido con molibdeno y vanadio. El jurado apreció estas piezas por su perfecta simbiosis entre tradición, trabajo artesanal y diseño.



Figura 61. Cuchillos “Sara Wiener”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Design Applause!: <http://objects.designapplause.com/2012/knife-series-sarah-wiener/19253/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Herramientas de jardinería “Fiskars Quantum”

Fabricante: Fiskars, Finlandia

El juego de herramientas de jardín se fabrica en aluminio y presenta empuñaduras en corcho, lo que lo hace ergonómicamente adaptable, además de la combinación visual entre tecnología y materiales naturales.



Figura 62. Herramientas Fiskars Quantum.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Lumberjac: <http://lumberjac.com/2012/10/fiskars-quantum-garden-shears/> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Línea de sillas de oficina “3000 Njord”

Fabricante: Kusch Co., Alemania

Esta línea de sillas está fabricada en madera sólida proveniente de bosques certificados, el asiento es de fibra de poliéster (ps) reciclada. Su ficha de declaración medioambiental de producto certifica que el 98% de la silla es reciclable.



Figura 63. Línea de sillas de oficina “3000 Njord”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Backhouse Interiors: <http://backhouseinteriors.blogspot.mx/2012/04/kusch-co-3000-njord-scoops-red-dot.html> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Juego de especieros “Mellow”

Fabricante: Bewater Studio, Hong Kong

Este juego de especieros está fabricado en cerámica con un acabado suave y correctamente balanceados para evitar que rueden por la mesa. Las tapas son de madera dura, indicando cuando el contenedor se encuentra abierto. La base contiene unos pequeños imanes que, al levantar el especiero de su base, accionan la tapa de madera para dejar salir su contenido. El jurado consideró que el juego de especieros es una agradable sorpresa haciendo del servicio en la mesa una experiencia.



Figura 64. Juego de especieros “Mellow”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Surface Asia: <http://surfaceasiamag.com/read-news-2-0-439-red-dot--asian-winners.surfaceasia.magz> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Repisa “Curvatura”

Fabricante: Tischlerei Kicinski, Alemania

Esta repisa hace del proceso productivo del curvado de madera un arte. Es casi una escultura, con la ventaja de poder ser utilitaria, aún en sus curvas que funcionan como espacio para almacenar revistas.



Figura 65. Repisa “Curvatura”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Design Applause!: <http://red-dot.de/pd/online-exhibition/work/?lang=de&code=2012-01-2446&y=2012&c=179&a=0> (24 de febrero de 2013).

Estimulador íntimo masculino “Tenga 3D”

Fabricante: Tenga Co., Tokyo, Japón

Este es otro producto que por sí solo es una pequeña escultura, de hecho el concepto de desarrollo fue “éxtasis escultural”. La superficie que se muestra es la que, volteando hacia dentro el tubo de elastómero, estará en contacto para producir estímulo. El producto es fácil de lavar, además de que el elastómero está formulado con aditivo antibacterial.

Cabe hacer notar que, cada vez más, el diseño y desarrollo de productos está involucrado en la creación de este tipo de implementos íntimos en la búsqueda de sensaciones a través del correcto uso de los materiales con que se proponen estos productos.

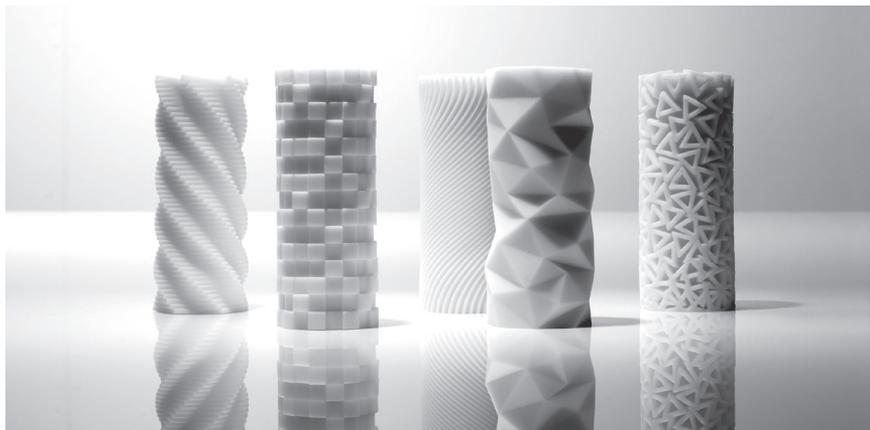


Figura 66. Estimulador íntimo masculino “Tenga 3D”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Experimenta Shop: http://shop.experimenta.es/index.php?route=product/product&product_id=134 (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Bocina amplificadora de iPod para bicicleta

Fabricante: Fruitshop Int. Co., Taipei, Taiwan

Fabricada en silicón, se ata al manubrio de la bicicleta con cintas de *velcro*; la bocina usa el principio del gramófono amplificando el sonido proporcionado por la bocina incluida en el iPod hasta en 13 dB. No requiere de fuente alguna de alimentación y está fabricada en material 100% reciclado.



Figura 67. Bocina amplificadora de iPod para bicicleta.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Bone Collection: http://bonecollection.co.za/horn_bikeP4 (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Argollas matrimoniales Kizuna (Hirogeru)

Fabricante: Mokumeganeya Co. Tokyo, Japón

En japonés la palabra “Hirogeru” significa “expansión”. Estas alianzas matrimoniales están fabricadas con una técnica en la cual las hojas de metal son calentadas y fundidas para formar un bloque. Una vez obtenido el bloque se dan forma a los anillos, conservando así las vetas que dan forma a la superficie. Así se logra el significado simbólico de “expansión”, recreándolo en la fusión eterna e indivisible de los metales.

Este tipo de búsquedas de rescate de técnicas de producción tradicionales valoriza enormemente a los objetos cotidianos elevándolos a piezas únicas.



Figura 68. Anillos de matrimonio Kizuna.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Reddot design award: <http://red-dot.de/pd/online-exhibition/work/?lang=de&code=2012-10-0927&y=2012&c=180&a=0> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

Teclado “Cherry, edición Testa Motari”

Fabricante: Cherry, Alemania

Este elegante teclado para computadora está fabricado en maderas finas: ébano, nogal y chapa de raíz, procedentes de bosques certificados. Se trabaja a mano en Alemania, además, el mecanismo de presión de cada tecla es a prueba de ruido, por lo que no emite sonido alguno al teclear. Se conecta vía USB al CPU.



Figura 69. Teclado “Cherry, edición Testa Motari”.

Fuente: Imagen tomada del sitio de Reddot design award: <http://red-dot.de/pd/online-exhibition/work/?lang=de&code=2012-19-1894&y=2012&c=163&a=0> (fecha de recuperación: 24 de febrero de 2013).

LUIS ALBERTO ROSA SIERRA

Doctor en Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa (ETSEIT) de la Universidad Politécnica de Cataluña, y maestro en Diseño y Desarrollo de Productos por la Universidad de Guadalajara. Es Investigador Titular C; miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel 1; perfil PROMEP; miembro del Cuerpo Académico Consolidado UdeG-381 “Innovación tecnológica para el diseño”. Actualmente se desempeña como Jefe del Departamento de Producción y Desarrollo del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD).

Estrategia de diseño basada en nuevos materiales

se terminó de imprimir en marzo de 2013

en los talleres de Offset Studio

Miguel Blanco 1399, Col. Americana

44100 Guadalajara, Jalisco

En la formación de este libro se utilizaron las familias tipográficas Minion Pro, diseñada por Robert Slimbach y Ronnia, diseñada por Veronika Burian y José Scaglione.