



MODELADO DE PROTOTIPO PARA SUELA DE CALZADO A PARTIR DE UN NUEVO PROCESO DE ENTRECruzAMIENTO QUE INVOLUCRA EL RESIDUO DE LA GOMA DE MASCAR

Stiven Huertas Cárdenas, Daniel Hassib Rojas Méndez, Mischel Stefany Toro Santos, Isabel Cristina Castellanos Cuéllar

**Universidad EAN
Bogotá, Colombia**

Resumen

Este trabajo reporta la generación de un prototipo de suela de zapato vulcanizada con la incorporación de residuos de goma de mascar en diferentes porcentajes de inclusión. El prototipo de calzado vulcanizado fue generado dentro de un proceso iterativo de formulación, vulcanizado-modelado y análisis; teniendo en cuenta las características de resistencia, dureza y usabilidad definidas dentro del marco normativo nacional para una suela de calzado convencional. El proceso realizado permitió la obtención de un material con propiedades fisicoquímicas como dureza Shore A, densidad, tensión, elongación y módulo 300% dentro de los parámetros esperados para este producto comercial que postulan el proceso aquí propuesto como una alternativa viable para la reincorporación del residuo de goma de mascar dentro de la industria del calzado.

Palabras clave: goma de mascar; vulcanización; reometría; calzado; reciclaje químico

Abstract

This research reports the generation of a vulcanized shoe sole prototype with the incorporation of chewing gum residues in different inclusion percentages. The vulcanized footwear prototype was generated within an iterative process of formulation, vulcanization-modeling and analysis; taking into account the characteristics of resistance, hardness and usability defined within the national regulatory framework for a conventional shoe sole.

The process carried out allowed the obtaining of a material with physicochemical properties such as Shore A hardness, density, tension, elongation and modulus 300% within the expected parameters for this commercial product that postulate the process proposed here as a viable alternative for the reincorporation of the waste of chewing gum within the footwear industry.

Keywords: *chewing gum; cross-linking; rheometry; footwear; chemical recycling*

1. Introducción

La goma de mascar ha presentado un recorrido histórico amplio, convirtiéndose cada vez más en un atractivo de confitería para la industria de alimentos, y por ende en un producto que se consume a nivel global; este producto presenta un recorrido histórico amplio, con inicios que datan desde épocas antiguas, donde los griegos consumían sustancias y resinas gomosas, entre ellas la Pistacia Lentiscus; más adelante, culturas mayas consumían la resina proveniente del árbol Manilkara Zapota (Medrano, 2011). Años más tarde, en 1920 a través de las diferentes rutas de comercio, la goma de mascar se convirtió en un producto base de la economía de los pueblos en Estados Unidos y empezó a ser parte de la cultura local en estas poblaciones (Redclift, 2004).

Ahora bien, como lo expone Palabiyik et al., (2020), si bien la composición de la goma de mascar y la interacción entre sus componentes resulta ser compleja es un producto fabricado a partir de polímeros sintéticos como materia prima más abundante e importante, entre los que se encuentra el látex natural o poliisobutileno que proporciona el aspecto gomoso y las propiedades masticatorias en el producto final (Konar et al., 2016).

Cabe denotar, que la connotación de la goma de mascar, desde la antigüedad se ha relacionado como un producto de confitería, durante los últimos tiempos los estudios se han centrado en los efectos terapéuticos de masticar chicle, higiene bucal, y herramienta para el manejo del tabaquismo; por estos motivos, la goma de mascar ha atraído la atención de la industria farmacéutica y terapéutica por sus usos potenciales como vehículo de distribución de compuestos bioactivos y medicamentos (Valencia et al., 2019).

La investigación de Hagbani et al (2018), se concentró en desarrollar gomas de mascar con fines terapéuticos en pacientes que padecían cáncer de cuello y cabeza, encontrando que al adicionar una alta carga de curcumina (CUR) a la goma base se presentaba un mayor perfil para la liberación de fármacos. A esto se suma el potencial de la goma de mascar en términos de liberación controlada y sostenida de compuestos bioactivos, pues (Goldenson et al., 2020) enuncia el uso de la goma de mascar con nicotina como una estrategia que evita el consumo de cigarrillo durante el tratamiento gradual para el tabaquismo.

Además, Raitore & Peterson (2018) mostraron que la goma de mascar con partículas sólidas de poliol proporciona mejor tensión mecánica sobre la goma base durante la masticación, permitiendo la exposición de la superficie de la goma base, lo que genera mayor eficiencia en la extracción del aroma y así una mayor concentración en el aliento exhalado gracias al sorbitol.

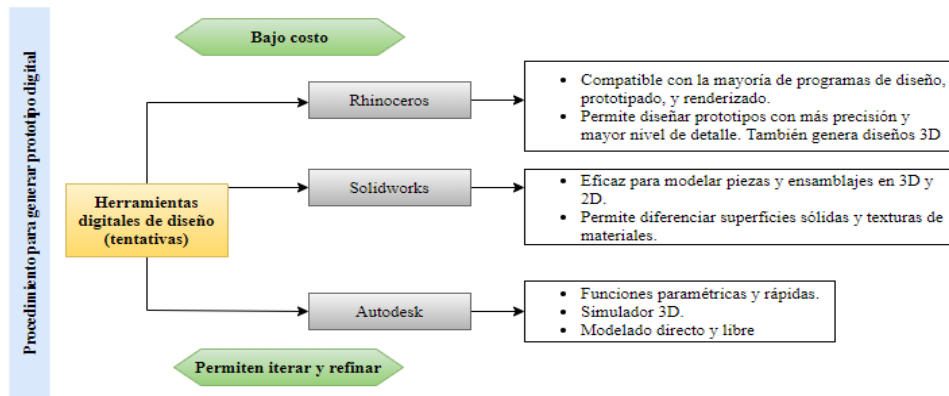


Si bien las áreas de estudio son prometedoras para la goma de mascar en términos farmacéuticos y alimenticios, los estudios son limitados en lo que respecta al aprovechamiento de este residuo luego de ser consumido. No obstante, se han realizado intentos para reducir la cantidad de desechos de goma de mascar en las calles, como campañas de recolección de goma de mascar, mejoras en los métodos de limpieza para hacerlos más efectivos, y la incorporación de agentes antiadherentes en las formulaciones de goma de mascar que facilitan su limpieza y disposición final. De otra parte, se han explorado intentos por reusarlo para sacar este plástico del grupo de los plásticos de un solo uso como el método propuesto por Ana Bullus para usos como relleno en bajos porcentajes de inclusión dentro de mezclas plásticas (Bullus, 2016), método que si bien permite una reinserción no permite su reúso en grandes cantidades.

2. Metodología

Para la generación del prototipo de la suela de zapato y cumplimiento de parámetros de presentación y validación, se desarrolló un prototipo virtual a través de herramientas digitales tentativas como: SolidWorks, Autodesk, y Rhinoceros; las características de estas se exponen en la Figura 2.

Figura 2. Procedimiento general para generación de prototipos digitales. Herramientas Digitales



2.1 Ensayos de propiedades físico-mecánicas de productos vulcanizados comerciales

2.1.1 Tratamiento prevulcanizado al residuo

En razón a las problemáticas actuales de salud pública en términos de la diseminación del virus del COVID-19; un virus declarado como pandemia, los residuos fueron obtenidos por un proceso de simulación de la masticación realizando continuos lavados con agua a 92°C y agitación manual hasta la eliminación visual de colorantes y aromas.

Posterior a los lavados fue realizado un proceso de secado con la formación de láminas con un espesor máximo de 5mm (Figura 3) que fueron amasadas y nuevamente extendidas para lograr la evaporación total del agua anclada entre las cadenas poliméricas.



Figura 3. Láminas de goma de mascar después de sucesivos lavados como tratamiento previo al proceso de vulcanización.



2.1.2 Proceso de vulcanización

El proceso de vulcanización de la suela de calzado comercial y la banda de rodadura del neumático se realizó de acuerdo con una fórmula de uso comercial para estos dos productos. Los ensayos fueron realizados bajo las mismas condiciones que el control (sin goma de mascar).

Los componentes se dosificaron y mezclaron en un molino de rodillos a una relación de velocidad de rodillo de aproximadamente 1100 rpm y a una temperatura de rodillo de 20-30°C (Figura 4).

Figura 4. Imagen durante el proceso de homogenización de componentes en molino de rodillos. Velocidad de rodillo de aproximadamente 1100 rpm y a una temperatura de rodillo de 20-30°C



3. Resultados y análisis

La presente investigación expone la obtención de un prototipo de baja fidelidad (escala de laboratorio) de suela de zapato y un prototipo de banda para llantas por vulcanizado con la inclusión de 20% de desechos de goma de mascar como una alternativa ecológica en la industria. Las dimensiones utilizadas para la concepción del diseño digital fueron tomadas de los tallajes presentes en el mercado, para una suela talla 36-37.

La evaluación preliminar del modelo permitió identificar que el producto final debe considerar surcos ergonómicos en las secciones "estanque y cuarto" y "Tapa". Así mismo, es necesario aumentar la altura para ajustarse a la curvatura natural del pie para evitar lesiones en el mismo,

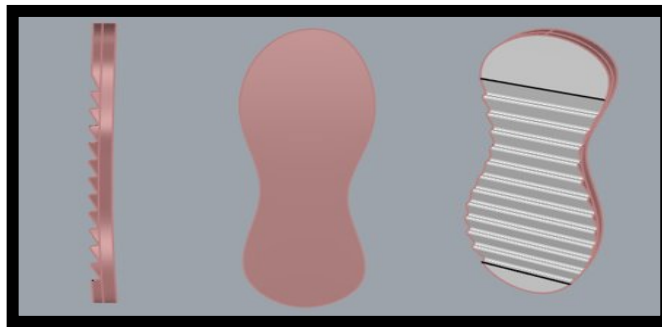


ya que cuando el calzado no presenta estas características puede producir lastimar al usuario a corto plazo e inclusive producir pie plano después de un largo periodo de uso. De forma similar, en la zona del tacón se debe crear una salida ergonómica que no permita el movimiento libre del pie y lastime al usuario final.

Con la información obtenida se desarrolló el prototipo y diseño digital de la suela de zapato convencional en el software Rhinoceros V.7 destinado al modelamiento 3D de formas orgánicas; los resultados digitales se evidencian en la figura 3.

Se espera implementar el material reciclado al diseño orgánico al realizar algunas pruebas de funcionamiento que permitan su inclusión y modelado sin afectar las propiedades del material vulcanizado.

Figura 3. Prototipo digital suela de zapatos en Rhinoceros V.7 a). Vista lateral, b). Vista superior, c). Vista inferior a). b). c).



Nuestros resultados muestran la obtención del material a un t_{90} de 16,40 min para la suela de zapato y 17,23 minutos para la banda de llanta. El material obtenido acorde a los análisis reométricos mostró; en ambos casos, propiedades físico-mecánicas dentro de los parámetros estándar de estos dos productos comerciales.

Los prototipos obtenidos, así como los productos comerciales usados como control de cambio fueron evaluados bajo las mismas condiciones de producción y análisis en términos de dureza, densidad, tensión, alargamiento máx. y módulo al 300%.

Estos hallazgos iniciales plantean la posibilidad de reincorporar los residuos de chicle a las cadenas de valor del mercado y promover la búsqueda de alternativas rentables para el tratamiento de este tipo de contaminante ambiental.

De los resultados, es importante resaltar que la adición de 20% del chicle desperdiciado sobre la formulación original de cada producto comercial no afectó la respuesta elástica torsional resultante (S) en el proceso de vulcanización, ni los tiempos de entrecruzamiento.

Los parámetros de densidad y alargamiento a la rotura para ambos productos se mantuvieron relativamente constantes con la adición del 20% de goma de mascar desperdiciada sobre la formulación original en cada producto comercial lo que indica que el material de desperdicio crudo



agregado está generando reticulación de forma similar al caucho original. Se evaluaron los parámetros de tensión de alargamiento y módulo 300%. Los resultados mostraron que la tensión de alargamiento varía de 17.5 a 12.08 MPa de chicle desperdiciado a 12.08 MPa con la goma de mascar desperdiciada para la banda de rodadura del neumático y varía de 19.7 a 16.62 MPa para la suela de calzado comercial y el módulo 300% varía de 6.74 a 3.64 MPa para la banda de rodadura del neumático y de 9,43 a 6,51 MPa para suela de calzado comercial. Esta disminución en la tensión de alargamiento y en el módulo en un 300% concuerda con la leve disminución de la dureza de ambos (banda de rodadura y suela de zapato comercial) al añadir el chicle desperdiciado; eso supondría una reducción en el espesor de reticulación al añadir la goma de mascar desperdiciada cuyo porcentaje de moléculas reticulables no es el 100% del peso a diferencia de la goma SBR o nitrilo. Este cambio también podría convertirse en una ventaja en la formulación al minimizar el riesgo de formación de segmentos inmóviles de macromoléculas con la consecuencia de un sistema demasiado rígido con una elasticidad menor.

3.1 Análisis de propiedades físico-mecánicas del producto vulcanizado

Las propiedades físico-mecánicas del sólido vulcanizado; para los prototipos (con un 20% agregado de goma de mascar desperdiciado sobre la formulación original de cada producto comercial) y de los productos comerciales con fórmula original (control negativo), incluyeron la Dureza Shore A realizada con el método de prueba estándar ASTM D-792, la Densidad bajo el método ASTM-D-2240, la Tensión, la Elongación máx. y el Módulo 300 realizados de acuerdo a la norma ASTM D-412.

4. Conclusiones

El producto elaborado a partir de chicle reciclado presenta propiedades promisorias para la inclusión del mismo en un modelo de suela de zapato, esto se evidencia al realizar una comparación de sus propiedades mecánicas y los materiales utilizados industrialmente para la manufactura de calzado.

A partir de la Matriz de requisitos técnicos se evidenció que las suelas de zapatos diseñadas deben en primer momento ser expuestas a métodos de ensayo que validen la resistencia al desgarre, pH, resistencia a la tracción, permeabilidad y validación de diseño anatómico, que lleven al aseguramiento de una hermeticidad y comodidad en una etapa posterior de escalado.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Athawale, A. A., & Pandit, J. A. (2019b). Unsaturated polyester resins, blends, interpenetrating polymer networks, composites, and nanocomposites: State of the art and new challenges. In *Unsaturated Polyester Resins* (pp. 1–42). Elsevier.
- Goldenson, N. I., Buchhalter, A. R., Augustson, E. M., Rubinstein, M. L., Van Hoof, D., & Henningfield, J. E. (2020). Abuse liability assessment of the JUUL system in two nicotine concentrations



- compared to combustible cigarette, nicotine gum and comparator electronic nicotine delivery system. *Drug and Alcohol Dependence*, 217, 108441
- Hagbani, T., Altomare, C., Salawi, A., & Nazzal, S. (2018). D-optimal mixture design: Formulation development, mechanical characterization, and optimization of curcumin chewing gums using oppanol® B 12 elastomer as a gum-base. *International journal of pharmaceutics*, 553(1-2), 210-219.
 - Konar, N., Palabiyik, I., Toker, O., & Sagdic, O. (2016). Chewing gum: Production, quality parameters and opportunities for delivering bioactive compounds. *Trends In Food Science & Technology*, 55, 29-38. 10.1016/j.tifs.2016.07.003
 - Medrano, J. (2011). Mascando (chicle). *Revista de la Asociación Española de Neuropsiquiatría*, 31(4), 755-763.
 - Palabiyik, I., Güleri, T., Gunes, R., Öner, B., Toker, O. S., & Konar, N. (2020). A fundamental optimization study on chewing gum textural and sensorial properties: The effect of ingredients. *Food Structure*, 26, 100155.
 - Pietrzak, D., Bieliński, D. M., & Henneicke, D. (2020). Studies of conventional sulfur vulcanization of SBR rubber: Analysing the reaction products from thermal degradation of the accelerator by means of MCC-IMS technique. *Polymer Testing*, 90(106715), 106715.
 - Raithore, S., & Peterson, D. G. (2018). Effects of polyol type and particle size on flavor release in chewing gum. *Food Chemistry*, 253, 293–299.
 - Valencia, J. A., Cubillos, J., Romero, D., Amaya, W., Moreno, J., Ferrer, L., ... & Perlas, A. (2019). Chewing gum for 1 h does not change gastric volume in healthy fasting subjects. A prospective observational study. *Journal of clinical anesthesia*, 56, 100-105.

Libros

- Martínez, N. (2014). *ProtoThinking®: Pensamiento de Diseño en Acción*. Editorial Nelson Martinez.
- Redcliff, M. (2004). *Chewing gum*. New York: Routledge

Fuentes electrónicas

- Bullus, A. (2016). Método para el procesamiento de residuos de goma de mascar. In Patent. <http://:https://patents.justia.com/patent/20160360769>

Sobre los autores

- **Stiven Huertas Cárdenas**: Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. shuerta52029@universidadean.edu.co
- **Daniel Rojas Méndez**: Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. drojasm30899@universidadean.edu.co
- **Mischel Stefany Toro Santos**: Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. mtorosa91317@universidadean.edu.co
- **Isabel Cristina Castellanos Cuéllar**: Química, Máster en Ciencias Bioquímica. Docente Asociado Universidad EAN. iccastellan@universidadean.edu.co



Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la
Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

