

Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado

Design and elaboration of recycled PET paving stones

Alejandro Santiago Miguel^{1*}
*María del Rocío Santamaría-Cuellar*¹
*Georgina Contreras-Santos*¹
*Víctor Manuel Guerrero-García*¹
*Ana María Hernández-Alcántara*¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y la elaboración de adoquines utilizando PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado como propuesta de solución para manejo de desechos plásticos, disminución de contaminación, ahorro de consumo energético y reducción de emisión de gases de efecto invernadero al medio ambiente. El adoquín de RPET (PET reciclado) se diseñó para ser empleado en la construcción de andadores y pavimentos o carpetas de rodamiento; se establecieron 4 etapas en el proyecto: 1. diseño del adoquín utilizando el programa Solidworks® y la herramienta de Cosmos Express para optimizar el diseño, determinar su masa y analizar cargas y esfuerzos; 2. diseño y maquinado del molde de aluminio 6063 para una máquina de inyección; 3. fabricación de muestras de adoquín utilizando PET reciclado, colorantes, aditivos (carbonatos) para recuperar propiedades mecánicas indispensables para su desempeño y estabilizadores y con ello reducir el deterioro del polímero ocasionado por el medio ambiente; 4. validación las propiedades mecánicas y su resistencia térmica; al adoquín de RPET se le realizó una prueba de compresión en un tiempo de 80.71 segundos soportando una carga de 49,987.5 Newtons y compresión máxima de 5.379 mm. Finalmente, el adoquín de PET reciclado obtenido es un producto amigable con el medio ambiente que contribuye al mejoramiento ecológico, desarrollo sustentable y a la generación de nuevas oportunidades de negocio.

Palabras clave: PET, adoquín, propiedades fisicoquímicas, reciclado, medio ambiente.

ABSTRACT

This document describes the design and manufacture of bricks using recycled PET (polyethylene terephthalate) as a proposed solution for handling plastic waste, reducing pollution by PET, reducing energy consumption and lowering greenhouse gases emissions to the environment. Brick RPET (recycled PET) was designed to be used in the construction: of walkways, streets and roads. Therefore, there are four stages established in the project: the first stage for the design of bricks. The first stage requires the use Solidworks© and Cosmos Express computer tools to optimize the design, to determine the mass and to analyze loads and stresses. The second step is designing and machining the aluminium mold 6063 for an injection molding machine. The third step is the manufacture of paving bricks samples using recycled PET, dyes, and additives (carbonates) to recover mechanical properties necessary for stabilizing the performance and to reduce deterioration of the polymer caused by the environment. The last step is to validate the mechanical properties and heat resistance. A brick compression test was carried for a period of 80.71 seconds with a load of 49,987.5 Newtons and a maximum compression of 5.379 millimeters. Recycled PET bricks manufacture is friendly to the environment, contributes to ecological improvement, sustainable development and creates business opportunities.

Keywords: PET, brick, physical property, recycling, environment.

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, México.

* Correo de contacto: alejandro_ipn@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En los últimos años a nivel mundial se ha generalizado el cuidado del medio ambiente y de recursos naturales; por esto, los materiales plásticos enfrentan hoy uno de los retos más importantes, ya que sus ventajas de resistencia a la degradación y economía con respecto a otros elementos han sido cuestionadas por su impacto en el medio. El compromiso ambiental y motivación ecológica de reciclar plásticos involucran también la creación de nuevas industrias que puedan resolver problemas de contaminación, asociado a la obtención de utilidades y producción de empleos. Durante 2000 se produjeron 1,900 millones de toneladas de basura en el mundo, lo cual representa 5.2 millones diarias; de esta cantidad, solo 36% recibió un tratamiento, el resto se convirtió en problema ecológico, higiénico, social y económico, ya que el costo de su recolección, transporte y eliminación es cada vez más elevado y cuestionado (Centro Empresarial del plástico, 2012). El objetivo de este trabajo es proponer soluciones para el manejo de desechos plásticos encaminados a la reutilización del PET transformándolo en material de construcción. La tecnología aplicada presenta un enfoque ecológico porque recicla residuos (PET) que en gran parte son enterrados en predios municipales sin utilidad alguna o acumulados y quemados en basurales, lo cual produce degradación del entorno.

El PET es un polímero termoplástico amorfo transparente obtenido a partir del ácido Tereftálico y Etilen Glicol por policondensación; los termoplásticos son polímeros susceptibles de ser fundidos tras sobrepasar la más alta de sus transiciones térmicas (Tg: temperatura de transición vítrea o Tm: temperatura de fusión) para después enfriarse y solidificarse en algún molde o dispositivo adecuado que dé forma específica. Sin embargo, esta transformación no supone ningún cambio en la estructura del polímero (a no ser de algún proceso degradativo si se emplean temperaturas elevadas), el objeto fabricado puede ser fundido de nuevo y transformado en otro distinto con la ayuda de un molde diferente. El PET se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad; de acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen varios grados de PET que se diferencian por su peso molecular y cristalinidad, los de menor peso se denominan grado fibra, los de peso medio, grado película y los de mayor peso, grado ingeniería.

Este polímero no se estira ni es afectado por ácidos o gases atmosféricos; es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua; forma fibras fuertes y flexibles y también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado; es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos; no imparte sabor a los productos que contiene y posee aprobación FDA (Food and Drug Administration).

Al ser reciclado el PET puede generar rPET, sin embargo éste no puede emplearse para producir envases destinados a la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas durante el proceso de reciclaje no son suficientemente altas para asegurar la esterilización del producto. Hoy en día muchos plásticos son reciclados físicamente, para ello, generalmente son recolectados, lavados y molidos. Una vez triturados se calientan (funden) y se les da la forma

que se desea para su nueva aplicación. Este proceso es relativamente sencillo, pero no puede aplicarse a todos los plásticos ni realizarse numerosas veces, ya que los reciclados son de menor calidad en comparación con el material nuevo (virgen). Como una alternativa al reciclaje físico se puede realizar el reciclaje químico, que a diferencia del primero implica cambios en la estructura química del material (M., 2004).

En la tecnología de reciclado mecánico existen desarrollos y estudios sobre PET, por citar, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) realizó un trabajo en el que convierte PET en escobas, láminas translúcidas, canales para irrigación, tuberías para drenaje y otros productos; la revista electrónica *Reciclar para ganar: el mejor negocio* refiere que científicos de la UNAM, del Instituto de Investigaciones en Materiales, utilizan nanopartículas y cabezal mezclador para exfoliar arcillas por medio de la incorporación química de partículas de dimensiones nanoscópicas que le confieren al PET propiedades excepcionales (Sánchez, 2007).

En 2010 se reciclaron 3,000 millones de botellas en México; 20% de botellas que se consumen actualmente se reciclan y se estima que cada año se desechan 1.3 billones (Centro Empresarial del plástico, 2012), situación que va en aumento, por lo que se requiere aportar alternativas para ampliar el uso del reciclado y disminuir el número de toneladas de botellas plásticas que son dispuestas en vertederos municipales, además de generar una alternativa de negocio sustentable.

Por tanto, en este trabajo se presenta el diseño y la elaboración de un adoquín con PET reciclado para dar uso práctico a este material y con ello reducir niveles de contaminación creados, ya que éste tarda hasta 100 años en degradarse. Asimismo, se pretende obtener ganancias económicas a mediano plazo en la producción de adoquines, validar que es más económico que uno convencional y utilizarlo en hogares o sitios públicos. Uno de los procesos más empleados en la fabricación de productos a partir de materiales reciclados es la inyección de plásticos, que consiste en transformar material termoplástico en masa plástica por medio de un husillo y cilindro de plastificación para inyectarlo en la cavidad del molde en donde adquirirá la forma deseada (Centro Empresarial del plástico, 2013).

DESARROLLO

Las diferencias de propiedades de PET reciclado mecánicamente en comparación con las de PET virgen pueden ser atribuidas principalmente a la historia térmica adicional experimentada por el material reciclado, que da como resultado disminución en el peso molecular e incremento en el ácido carboxílico, color y nivel de acetaldehído. Investigaciones han demostrado que el rPET (PET reciclado) posee un módulo menor de Young, superior elongación a la rotura y mayor resistencia al impacto que el PET virgen. Así, el rPET es más dúctil y el PET virgen más frágil, resultado de las diferencias en la cristalinidad entre ambos materiales.

Considerando las propiedades mecánicas del PET reciclado, es viable utilizarlo en el área de la construcción, donde el producto está sujeto a cargas y esfuerzos; como el caso de fabricación de adoquines; según Berreta et al. (1971) éstos deben tener las siguientes propiedades: ductilidad, resistencia a la compresión, ligereza, entre otros, para cumplir especificaciones de uso. Los adoquines tradicionales generalmente tienen forma hexagonal, por ello, se diseñó de la misma forma geométrica el adoquín de rPET (hueco para hacerlo más ligero y con refuerzos en el interior para soportar cargas a las que estará sujeto); para optimizar el proceso de inyección el molde se diseñó con dos cavidades.

Como parte de la familia de los sistemas CAD-CAE (Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora) el programa empleado para el diseño fue SolidWorks®, software masivo de diseño más utilizado actualmente, ya que tiene una plataforma amigable y sus herramientas permiten involucrar factores para realizar modificaciones al adoquín y optimizar su diseño.

Este software cuenta con herramientas de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE por sus siglas en inglés) que calculan la masa de diferentes materiales a partir de un diseño tridimensional y la densidad del material. La densidad del PET es de 1.33 a 1.38 g/cm³, a partir de esta información y del diseño, SolidWorks® determinó la masa del adoquín, 728 g. El diseño del adoquín de PET reciclado se presenta en la Figura 1.

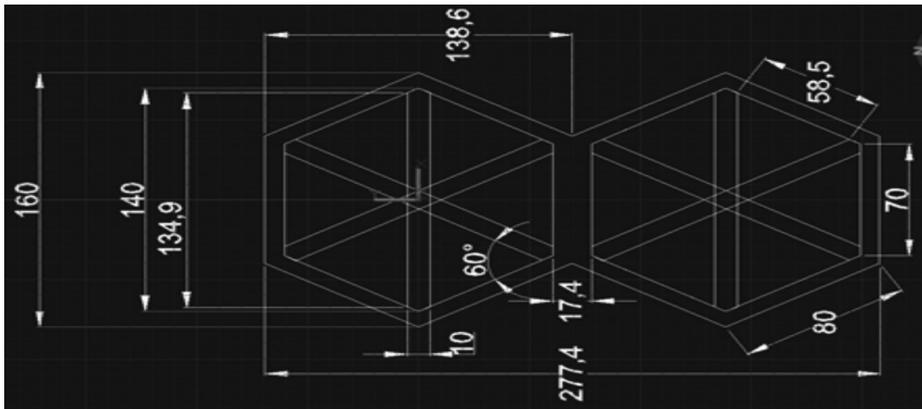


Figura 1. Diseño del adoquín de rPET elaborado en SolidWorks®.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se realizó un análisis de simulación con la herramienta Cosmos Express de Solidworks® para conocer la carga permisible que soportaría el adoquín, la prueba se hizo con un valor de 20,000 N (2,038 kg). La carga se estableció tomando en cuenta que el adoquín puede utilizarse en superficies donde circulen automóviles; para brindar un factor de seguridad se determinó 100% más de margen, estimando la masa del automóvil en 1,000 kg. El software generó imágenes a

escala Von Mises (colores), si el adoquín llegara a rojo indicaría que no soporta esa fuerza, si se mantiene en azul o colores por debajo del rojo sí puede soportar esa carga, proporcionando una idea clara del comportamiento del adoquín. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.

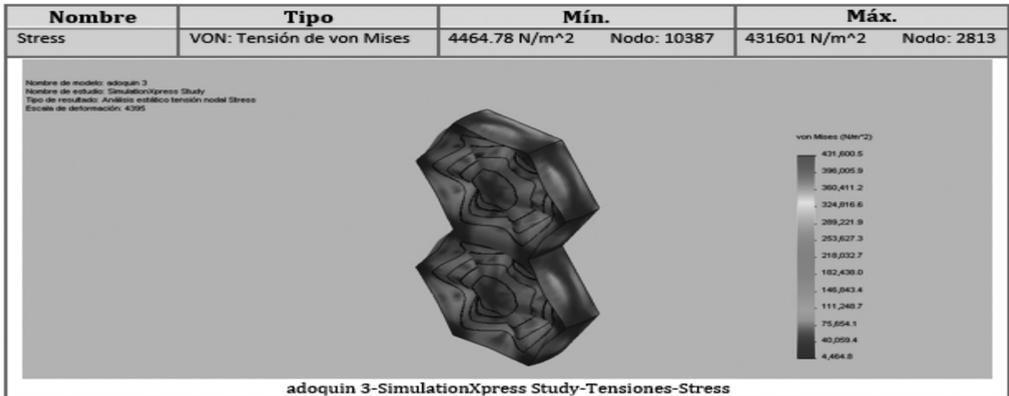


Figura 2. Análisis de cargas y deformaciones de adoquín en Solidworks®.
 Fuente: elaboración propia.

El resultado del estudio indica que el adoquín puede soportar 20,000 N de carga sin presentar deformaciones externas. Un adoquín convencional similar resiste 4 veces más carga. En la figura 3 se muestra el modelo del adoquín diseñado en Solidworks®.

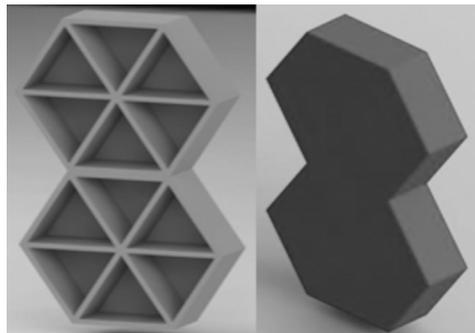


Figura 3. Diseño final del adoquín.
 Fuente: elaboración propia.

La función del molde de inyección de plásticos es recibir el plástico caliente de una máquina de inyección con alta presión para llenar cavidades, una vez frío se expulsa. Este molde contiene la forma inversa del producto deseado (Maya, 2007). La clasificación de éstos es de acuerdo a características físicas y de trabajo, como se describe en la Tabla 1.

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE MOLDES PARA UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN.

Por tamaño	Por número de cavidades	Por forma de trabajar	Por tipo de construcción
a) Grandes b) Pequeños	a) De una sola cavidad b) De múltiples cavidades	a) Manuales b) Semiautomáticos c) Automáticos	a) De dos mitades b) De tres placas c) Sin sobrantes

Fuente: Maya (2007).

El molde y la máquina inyectora son elementos indispensables para la fabricación del adoquín, el primero se maquinó en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, para ello se utilizó aluminio 6063 porque tiene buenas propiedades mecánicas y se utiliza típicamente en aplicaciones comerciales. Los moldes para grandes producciones son fabricados en acero P20 y tratados térmicamente; el molde para el adoquín se elaboró para procesar exclusivamente muestras.

El primer paso para la elaboración del molde fue fundir lingotes de aluminio para dar forma rectangular a las 2 partes que lo componen, posteriormente se procedió al maquinado en una fresadora vertical Birmingham de 3 ejes con tamaño de mesa, 12" x 54"; carrera del husillo, 127 mm y avances, 0.12 mm. Se utilizaron collets de precisión ER32 y para desbastes se emplearon cortadores verticales de alta velocidad de 4 labios con recubrimiento de titanio. El diámetro de herramientas varió de ¼" hasta 1", con velocidades de corte de 900 rpm; para facilitar el maquinado se utilizaron adicionalmente cortadores multifilos con insertos de doble cara, llamados Endmill, el maquinado se realizó de manera gradual hasta obtener la forma especificada; el tiempo de maquinado del molde fue de un mes. En la Figura 4 se presenta parte del proceso de elaboración.

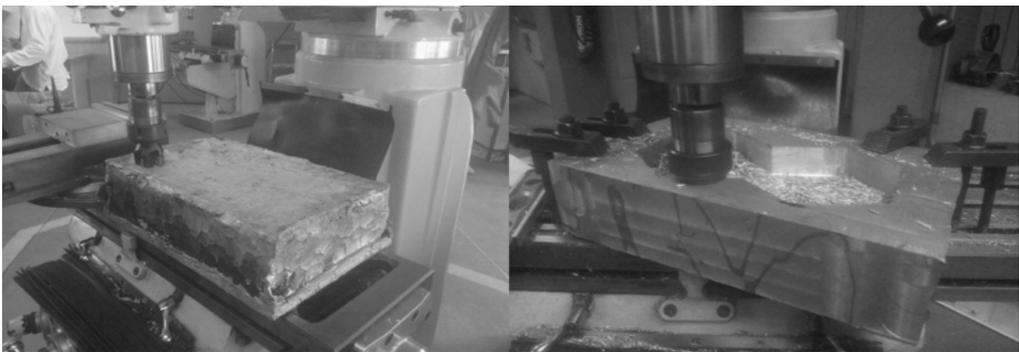


Figura 4. Maquinado de molde de inyección para elaboración de adoquines muestra.

Fuente: elaboración propia.

ELABORACIÓN DE MUESTRAS

La máquina de inyección tiene la función de introducir plástico en un molde en el que se encuentra impresa la forma de la pieza final. En una máquina de inyección pueden identificarse diferentes partes que normalmente se agrupan en las siguientes unidades (Sánchez y Rodríguez, 2003):

1. Unidad de cierre: cuenta con dispositivos necesarios para colocación, accionamiento y funcionamiento de las 2 mitades del molde, su movimiento es semejante al de una prensa de compresión; la capacidad se mide por la fuerza de cierre, es decir, en toneladas.
2. Unidad de inyección: comprende las partes necesarias de la máquina para la carga, plastificación e inyección de plástico. Esta unidad carga y plastifica el material sólido mediante el giro axial del tornillo con la finalidad de inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado.
3. Unidad de potencia: comprende el conjunto de dispositivos necesarios de la máquina para transformar y suministrar la fuerza motriz a la unidad de inyección y cierre. Las máquinas emplean 2 sistemas de potencia, uno para el cierre del molde y otro para la inyección.
4. Unidad de control: es la parte necesaria de la máquina para que realice el proceso de forma predeterminada, puede variar.

Las partes generales de una máquina de inyección horizontal se muestran en la Figura 5.

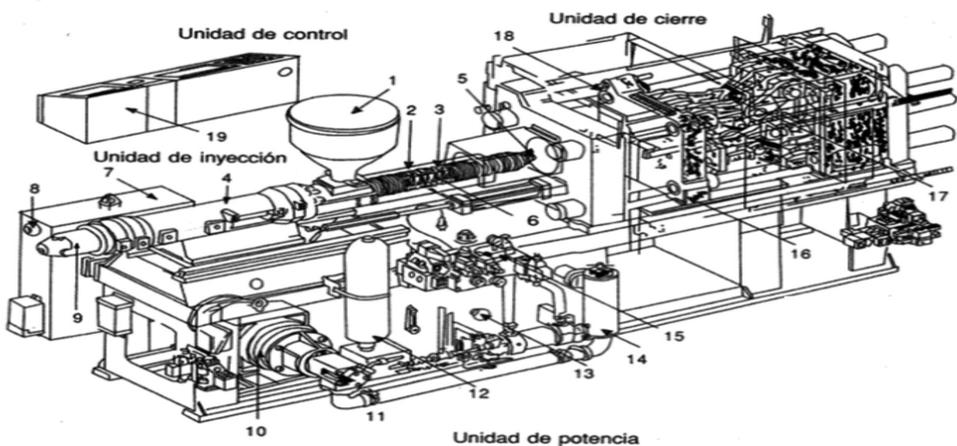


Figura 5. Diagrama esquemático de una máquina inyectora horizontal. (Maya, 2007:8)
Fuente: elaboración propia.

La capacidad de una máquina inyectora se mide por la cantidad en gramos de material que inyecta y por la fuerza de cierre en toneladas de sus platinas. El gramaje del adoquín calculado a través de Solidworks® fue de 728 g y se consultó con empresas que comercializan este tipo de máquinas para establecer la fuerza de cierre necesaria para inyectar este material, se determinó con base en tablas que la fuerza requerida sería de 300 toneladas. Mientras que la elaboración de muestras se realizó en una empresa privada durante el proceso; se colocaron las 2 partes del molde en platinas de la máquina, el PET reciclado seco (aproximadamente 30 kg) se mezcló con colorante negro masterbatch y carbonato de calcio y se depositó de manera gradual en la tolva, la temperatura de las resistencias se estableció entre 250 a 260° C; finalmente se procedió a la elaboración de 32 muestras que cubren una superficie de 2 m² (Figura 6).

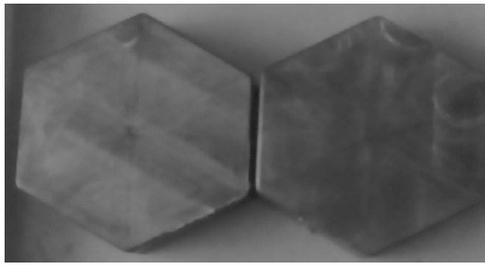


Figura 6. Muestras de adoquín de RPET.
Fuente: elaboración propia.

Debido a que el PET reciclado merma sus propiedades mecánicas se agregó carbonato de calcio para recuperarlas, además se utilizaron pigmentos para efectos de presentación. Para concluir, se agregaron estabilizadores con el objetivo de reducir el deterioro del polímero ocasionado por el medio ambiente y la radiación ultravioleta principalmente.

Pruebas mecánicas

Las propiedades mecánicas de materiales plásticos varían dependiendo de su tipo, así como de aditivos que pueden ser incorporados en la formulación; propiedades como dureza, ductilidad y resistencia están influenciadas por diferentes tipos de aditivos. El adoquín en su vida funcional está sometido a cargas de compresión, por lo tanto, es la prueba mecánica que se realizó, la cual consiste en aplicar fuerzas axiales encontradas de manera gradual. Para llevar a cabo dicha prueba se empleó la máquina Autograph modelo AG-I 100 KN de ensayo universal, esta posee un software que regula fuerza y tiempos de aplicación con base en un sensor de carga que se encuentra instalado en la parte superior de la estructura; los datos para programar el equipo son: área de prueba y unidades de medición de la carga. La prueba de compresión realizada se presenta en la Figura 7, en la primera imagen se muestra el adoquín entre los platos de compresión y en las siguientes las deformaciones sufridas.



Figura 7. Prueba de compresión y vistas del adoquín después de la carga aplicada.
Fuente: elaboración propia.

Comportamiento frente a la temperatura

Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se someten a temperaturas superiores a 70 °C, se han logrado mejoras modificando equipos para permitir el llenado en caliente. La temperatura máxima a la que el PET presenta resistencia es 71°C. El PET cristalizado (opaco) es una excepción, ya que tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230°C. En la industria del envasado con PET la temperatura de transición vítrea y temperatura de servicio son propiedades sumamente importantes; la primera de éstas es la temperatura en la que un material vítreo (vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos) deja de ser rígido y comienza a ablandarse, es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material. Mientras que la temperatura de servicio es la máxima a la que se puede manipular un plástico sin que pierda propiedades.

El PET tiene una temperatura de transición vítrea baja (80°C), la cual ocasiona que los productos fabricados con dicho material no puedan calentarse por encima de ésta (por ejemplo, las botellas fabricadas con PET no pueden calentarse para su esterilización y posterior reutilización). Por su parte, el PET cristalizado tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 °C, su rango de temperatura de uso continuo abarca de -20°C a 100°C, y hasta 135°C en aire caliente (Ávila et al., 2015). Con la finalidad de observar la resistencia térmica del adoquín de rPET se sometió a temperaturas en un rango de 4 °C a 140 °C, colocándolo en una estufa durante 30 minutos para determinar la temperatura de servicio, así como en hielo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de compresión al adoquín se realizó en la máquina Autograph, se determinó que éste soporta carga máxima de 49,987.5 N (5,000 kg) y compresión máxima de 5.379 mm durante 80.71 segundos. En comparación con adoquines elaborados con grava y arena, que tienen un

peso promedio de 7.25 a 8.25 kg por pieza, y aproximadamente resistencia de compresión de 300 kg/cm² para tipo A (NMX-C-314-ONNCCE-2014), el adoquín de rPET presenta ventajas de uso, ya que no sufre fracturas o deformaciones considerables en la parte superior, los refuerzos internos evitaron dichos fenómenos (Figura 7), por lo que se requieren cargas mayores para fracturarlo totalmente. En la Figura 8 se muestra la gráfica del ensayo de compresión obtenida a partir del software de la máquina Autograph (no es compatible con hojas de cálculo).

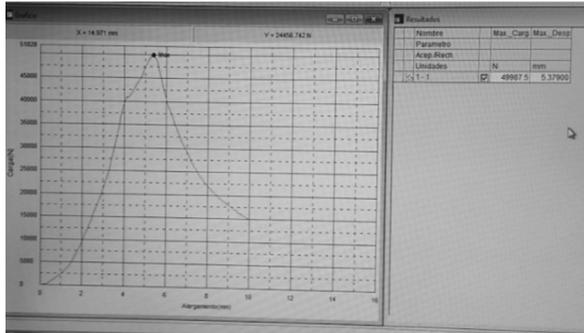


Figura 8. Gráfica del ensayo de compresión del adoquín.
 Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la prueba realizada para determinar el comportamiento del adoquín de rPET expuesto por un periodo de 30 minutos a diferentes temperaturas.

Tabla 2. Comportamiento del adoquín fabricado de rPET sometido a diferentes temperaturas

Temperatura °C	Comportamiento del adoquín de rPET		
	Sin cambio	Con cambio	Observaciones
4	x		
10	x		
20	x		
30	x		
60		x	Se calienta ligeramente la superficie
80		x	Calentamiento de la superficie
120		x	Presenta reblandecimiento leve en superficie y zona en contacto directo con la placa de metal de calentamiento de la estufa.
140		x	Se reblandece en la las orillas, se adhiere a la placa de metal; al enfriarse mantiene su estructura inicial.

Fuente: elaboración propia.

El uso de adoquín elaborado con PET reciclado presenta temperatura de servicio óptima para su uso en diferentes regiones geográficas de México, cuyas temperaturas fluctúan entre 4°C y 60°C sin presentar cambios en sus propiedades estructurales.

En la Tabla 3 se presenta el costo de producción del adoquín de rPET, considerando la mano de obra de 66.45 pesos diarios con actividades, principalmente separación de etiqueta, tapa rosca, lavado de botella PET, suministro de botellas PET en tolva para trituración, almacén de PET triturado, abastecimiento de rPET en tolva de máquina de inyección y almacén de adoquín. La materia prima considera el costo de compra de botellas recicladas de PET y su traslado al área de producción; los gastos indirectos comprenden luz, agua y mantenimiento,.

TABLA 3. COSTO DE PRODUCCIÓN DEL ADOQUÍN.

Concepto	Costo (\$)
Mano de obra	0.80
Materia prima	2.94
Gastos indirectos	1.31
Costo de producción	5.05

Fuente: elaboración propia.

El precio de venta del adoquín se muestra en la Tabla 4, considerando una ganancia de 60% en función de los precios del mercado.

TABLA 4. PRECIO DE VENTA DEL ADOQUÍN.

Concepto	Precio (\$)
Costo de producción	5.05
Ganancia 60%	3.03
Precio de venta	8.08

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

En este trabajo se describieron los pasos que se llevaron a cabo para la elaboración de un adoquín hecho con PET reciclado, sujeto a cargas de compresión, por lo que fue necesario determinar cuál es su resistencia. Los resultados obtenidos al realizar pruebas mecánicas demuestran que el adoquín de rPET soporta cargas de 50,000 N, su resistencia a temperaturas en intervalos comunes en el área geográfica de México permite establecer su factibilidad y viabilidad de uso en casas habitación, patios, sitios públicos, entre otros; además de ser ligero y de fácil instalación.

Reciclar plásticos trae como beneficios el mejoramiento ecológico y generación de nuevas industrias que puedan resolver problemas de contaminación, asociado a obtención de utilidades y producción de empleos. Este proyecto plantea una opción viable para el reciclaje de materiales plásticos convirtiéndolos en un producto funcional.

REFERENCIAS

- Ávila Córdoba, L.I., Martínez-Barrera, G., Barrera-Díaz, C.E., Ureña Nuñez, F., & Loza Yáñez, A. (2015), "PET de desecho y su uso en concreto", en Martínez Barrera, G., Hernández Zaragoza, J.B., López Lara, T., & Menchaca Campos, C. (Eds.), *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción*, Barcelona, OmniaScience.
- Berreta H., R. Arguello, M. Gaitan, R. Gaggino (1971), "Nuevos materiales para la construcción: los plásticos reciclados", Instituto de Investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la República Argentina (CONICET). [En línea], disponible en www.arpet.org.docs/Nuevos-materiales-para-la-construccion-los-plasticos-reciclados-Conicet.pdf
- Centro Empresarial del plástico (2012), "Seminario reciclado de plásticos" México: CEP. [En línea], disponible en <https://plastico.com.mx/capacitacion/> y <https://plastico.com.mx/2132-2/> (consultado el 10 Agosto 2016).
- Centro Empresarial del plástico. (2013), "Seminario de inyección de plásticos" México: CEP. [En línea], disponible en <https://plastico.com.mx/capacitacion/> (consultado el 10 Agosto 2016).
- M. Arandes, José (2004), "El reciclado de residuos plásticos", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), pp. 28-45.
- Maya, Ortega E. (2007), *Diseño de moldes de inyección de plástico, con ingeniería concurrente*. Tesis de maestría, México, ESIME Zacatenco del IPN.
- México, NMX-C-314-ONNCCE-2014, "Industria de la Construcción-Mampostería-Adoquines para uso en Pavimentos-Especificaciones y Métodos de Ensayo"
- Sánchez, V., Rodríguez, F. (2003), *Moldeo por inyección de termoplásticos*. México: Limusa.
- Crónica (2007), "La UNAM convierte plásticos PET en escobas, láminas y tuberías" [En línea], disponible en <http://www.cronica.com.mx/notas/2007/285436.html> (consultado el 10 agosto 2016).