

Uso de reciclado de plástico tereftalato de polietileno (pet) para la elaboración de adoquín de construcción

Use of recycling of polyethylene terephthalate (pet) plastic for the manufacture of construction cobblestone

Sirly Marilyn Turpo Mamani¹ - Juan Eduardo Vigo Rivera²

Resumen

El objetivo de esta investigación fue reutilizar el plástico PET para la elaboración de adoquines utilizados en la construcción de pavimentos peatonales mediante el proceso de extrusión. Se diseñó, ensambló y operó una extrusora monohusillo que trabajó con un motor de 1.5 HP acoplado a un motorreductor de 40 rpm y 3 resistencias calentadoras programados a temperaturas de 260, 275 y 280°C utilizando Arduino Mega 2560. Los tratamientos fueron introducidos a la extrusora, con un diámetro de PET menor a 10 mm y arena fina con humedad menor a 0.05%. El diseño de mezcla fue de 4 tratamientos: 100% PET, 75% PET-25% arena fina, 50% PET-50% arena fina y 30% PET-70% arena fina. Los adoquines fueron sometidos a pruebas de resistencia a compresión con 5 repeticiones para cada diseño y se evaluó con el ANOVA para determinar las diferencias en las medias de los tratamientos. Los resultados muestran que con el cuarto tratamiento (30% PET - 70% arena fina) se obtuvo el más alto valor de resistencia a la compresión (220.6 kg/cm²) soportando así la mayor carga y esfuerzo antes de la deformación y fractura del adoquín.

Palabras clave: Adoquín, extrusión, reciclado de PET y arena fina.

Abstract

The objective of this investigation was to re-use PET plastic for the making of cobblestones used in the building of pedestrian pavements through the extrusion process. An extruder was designed, assembled and operated a single screw extruder that worked a 1.5 HP motor coupled to a gearmotor of 40 rpm and 3 heating resistors programmed at temperatures of 260, 275 and 280°C using Arduino Mega 2560. The treatments were introduced to the extruder with diameter of PET less than 10 mm and fine sand with humidity less than 0.05%. The mix design was 4 treatments: 100% PET, 75% PET-25% fine sand, 50% PET-50% fine sand and 30% PET-70% fine sand. The cobblestones were sometimes tests of compressive strength with 5 repetitions for each treatment and was evaluated with the ANOVA to determine the differences in the treatment means. The results show that with the fourth treatment (30% RPET - 70% fine sand) the highest value was obtained compressive strength (220.6 kg/cm²) thus supporting the greatest load and effort before deformation and fracture of the cobblestone.

Key words: Cobble, extrusion, PET recycling and fine sand.

¹ Ingeniero Ambiental. EMSAPUNO S.A. sirlyturpo@upeu.edu.pe

² Maestro en Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión. eduardo.vigo@upeu.edu.pe

Introducción

En el Informe Anual del 2018 del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (MINAM, 2018) se menciona que en el distrito de Juliaca de la Provincia de San Román se generó 1170 Tn/año de residuos plástico de Tereftalato de Polietileno (PET), de esta cantidad sólo el 1.33% se ha recuperado en el proceso de recolección selectiva, el 77% lo realizan mediante la recolección informal y/o venta directa a las empresas recicladoras y el 21% de residuo PET sigue siendo un problema para la sociedad y el medio ambiente, cuyo destino final son los botaderos, ríos, canales, canaletas de alcantarillado, pozos, cerros y otros incinerados (SIGERSOL, 2019).

Los esfuerzos por recoger y reciclar el plástico tereftalato de polietileno (PET) no logra continuar al ritmo del uso. Según Downey (2016) una de las mayores expertas en la producción de botellas de plástico, indica que el tipo de envase líder en el mundo en el 2015 fue las botellas de PET con 57% de uso, acumulando un volumen de 500 mil millones de unidades y su tasa de crecimiento anual compuesto de 3.8% desde el 2015 hasta el 2020.

En esta investigación se recicló plástico PET como materia prima para la elaboración de adoquines, ya que los adoquines se utilizan en múltiples aplicaciones en la industria de la construcción, es por eso que se busca que los productos más utilizados tengan en su composición materiales reciclados y por consiguiente atenuar la gran cantidad de residuos plástico PET que se genera de forma constante.

Por lo tanto, la aplicación del método de extrusión es muy efectivo para transformar el plástico PET siendo este método muy atractivo desde el punto de vista económico y ambiental (Kent, 2008) citado por Posada y cols (2015). El objetivo de la investigación fue reutilizar PET en la elaboración de adoquines de construcción mediante el proceso de extrusión.

DESAROLLO

Antecedentes

García y cols. (2013) desarrollaron una investigación con el objetivo de obtener un material compuesto de polietileno tereftalato (PET) de post consumo y paja de trigo para elaborar madera plástica, para ello realizaron el acopio de PET usado y pacas de pajas de trigo molido, para su posterior mezclado en una extrusora mono-husillo, donde las temperaturas utilizadas en las tres zonas de calentamiento fueron de 215, 200 y 190 °C con la rotación de un motoreductor a 40 rpm, el material extruido fue moldeado por una prensa de platos caliente marca Hull a una presión de 8200 KPa, los resultados obtenidos a la resistencia de impacto estuvieron en el intervalo de 36 a 250 KJ/m².

Martínez y cols. (2014) desarrollaron una investigación con el objetivo de evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales mediante el proceso de extrusión, demostrando que la mejor resistencia fue en la mezcla de 60% aserrín y 40% PET con 285.5 Kg/cm² trabajando a temperaturas de 240, 260 y 270°C.

Según la investigación realizada por Maure y cols. (2018), el objetivo fue fabricar ladrillos de plástico PET fundido y virutas metálicas, mediante el proceso de extrusión, fundieron el material a temperatura de 70°C hasta 126°C, dentro de un molde al que se le agregaron progresivamente las virutas de metal para lograr una mejor consistencia y compactación dejando enfriar por un día hasta que endurezca, esto les permitió comprobar y obtener un producto con resistencia mecánica de 40.4 KN aplicada al material de forma axial en toda la superficie; pero tuvieron limitaciones e impedimentos por la falta de una máquina de proceso industrial de alta capacidad para realizar todo el proceso.

Metodología

El proyecto de investigación se realizó en el Distrito de Juliaca, Provincia de San Román en la Región Puno - Perú. La tabla 1 muestra los Materiales de diseño y ensamblado de la extrusora de PET empleada en la elaboración de adoquines de construcción.

Ítems	Descripción	Cantidad	Ítems	Descripción	Cantidad
1	Aisladores cerámicos	200	10	Lija para metal N° 80, 11/2 y 120	20
2	Boquilla de 30 mm de salida	1	11	Motor monofásico 1.5HP	1
3	Brocas de 4, 10, 15 y 20 mm	20	12	Motorreductor 40rpm	1
4	Cable vulcanizado 14 AWG 6 m	1	13	Perfil L metal 2 x 2" de 9 m	1
5	Cables jumper hembra-macho	15	14	Plancha de metal acerado (2mm 2 x 2 m)	4
6	Chumacera	2	15	Tomacorrientes industriales	2
7	Disco de desgaste 7" y 4"	2	16	Tornillos 3 cm x 8 mm	24
8	Discos de corte 7"	15	17	Tubo de acero galvanizado de 2" x 1 m	1
9	Electrodo 6011	5 kg			

Tabla 1. Materiales de diseño y ensamblado de la extrusora

El husillo es el componente más importante en la extrusora que cumple la función de transportar, mezclar y comprimir al material dentro del cilindro (ver figura 1).

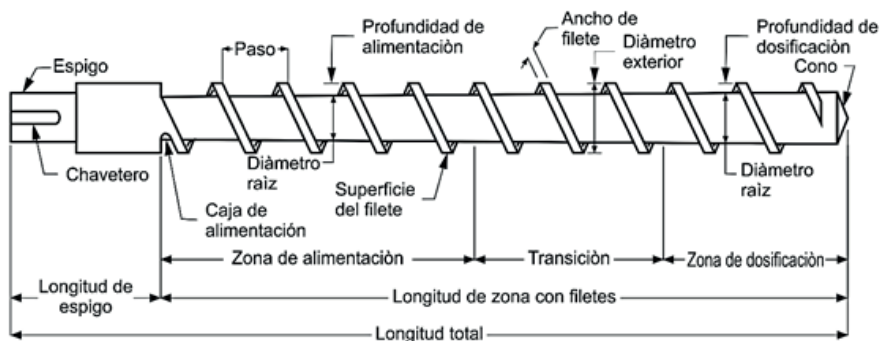


Figura 1. Partes del husillo (Groover, 2007)

Para los cálculos de las dimensiones del husillo se utilizó las ecuaciones matemáticas según Savgorodny (1973), los valores se muestran en la tabla 2.

Ítems	Partes	Valores	Ítems	Partes	Valores
1	Ancho de filete	4 mm	9	Longitud total	110 cm
2	Chavetero	8 cm	10	Paso husillo	30 mm
3	Cono o Boquilla	16 mm	11	Profundidad de alimentación	4.95 mm
4	Diámetro exterior	30 mm	12	Profundidad de dosificación	4.5 mm
5	Diámetro raíz	20.1 mm	13	Superficie de filete	5 mm
6	Diámetro raíz	20.9 mm	14	Zona de alimentación	300 mm
7	Longitud de espigo	30 cm	15	Zona de dosificación	120 mm

8	Longitud de zona con filetes	770 mm	16	Zona de Transición	180 mm
---	------------------------------	--------	----	--------------------	--------

Tabla 2. Partes y dimensiones del husillo

Los cálculos de las dimensiones de la tolva se hicieron de acuerdo a los criterios de Biswas y Davenport (1994).

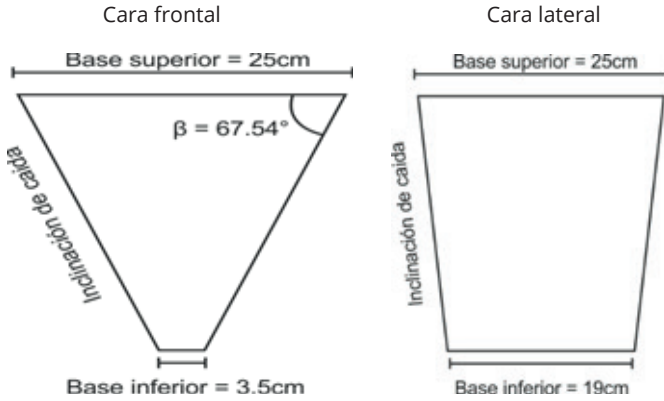


Figura 2. Dimensiones del modelo de la tolva

La cantidad de materiales para la programación de la caja de control de temperatura se muestra en la tabla 3.

Ítems	Descripción	Cantidad	Ítems	Descripción	Cantidad
1	Cables jumper hembra - macho	12	6	Módulo 3 relés electro-mecánico	3
2	Calentador o resistencia de 350w	3	7	Multímetro	1
3	Cautín soldador	1	8	Pasta para soldar	1
4	Estaño	1	9	Tarjeta de control Arduino Mega	1
5	Fuente 12V y 5V	2	10	Termistor NTC 100K 3950	3

Tabla 3. Materiales para el ensamblado de la caja de control

El control de la temperatura de extrusión se realizó mediante la aplicación de un micro-controlador Arduino MEGA 2560, el cual cumple la función de dar órdenes programadas a los relays y fueron las siguientes condiciones: si la temperatura es mayor o menor de 280°C el relay debe ser apagado o de lo contrario debe ser encendido. Lo que se quiere lograr es que se mantenga la temperatura constante que no suba ni baje de 280°C, de lo contrario si la resistencia calentadora supera los 280°C ocurrirá la degradación del plástico PET (Gutiérrez y Vargas, 2017).

```
// Relay 1
// Leer valor de Tc1:
// int Tc1Value = Tc1*1;
; if (Tc1 > TemperaturaR1) {
digitalWrite(relay1, HIGH);
} else {
digitalWrite(relay1, LOW);
}
}
```

Este código nos muestra la información en tiempo real en la pantalla de la computadora a través del puerto 9600.

```
Serial.print("CALENTADOR 1 Temperatura 1: ");
/* Serial.print(Tf);
Serial.print(" F; ");*/
Serial.print(Tc1);
Serial.println(" °C");
```

Este código es el que le da la velocidad de funcionamiento a toda la programación, mientras este valor sea menor, mejor será la aproximación (CRN Tecnopart, 2000). Además, se ha realizado los siguientes procesos de reciclaje del plástico PET.

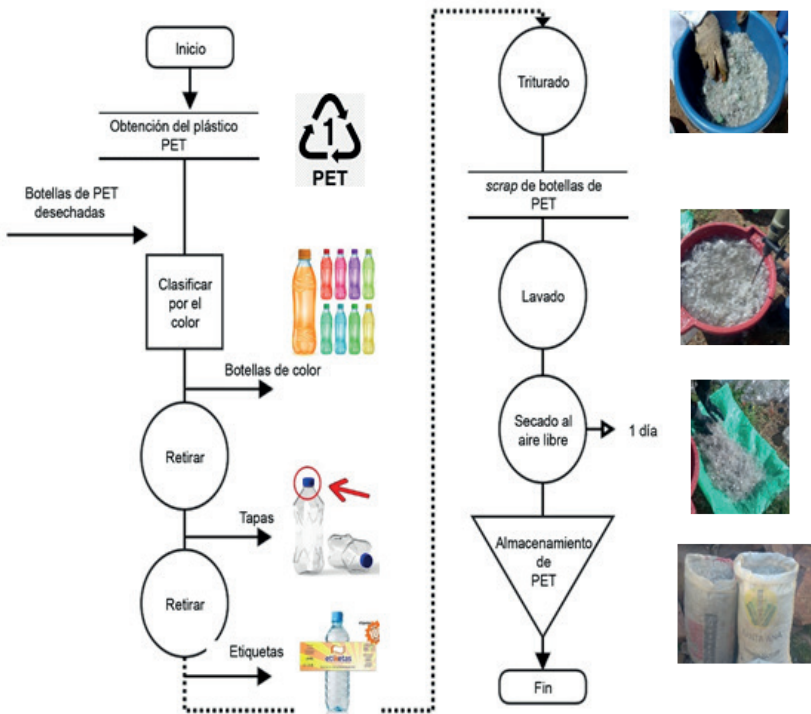


Figura 3. Diagrama del flujo del proceso de obtención del plástico PET.

Las características de la arena fina utilizada en la investigación, es una arena natural procedente de la cantera del río Coata del Distrito de Juliaca de la Provincia de San Román.

Para su aplicación en el diseño de mezcla primerose dejó secar la arena por dos días para que obtenga una humedad aceptable de 0.05% y así evitar los efectos de hidrólisis que conlleva a la reducción de la cadena polimérica del PET (Gneuss, 2015).

Para el diseño de mezcla se realizó las siguientes combinaciones de las muestras a diferentes concentraciones de plástico PET molido y a distintas concentraciones de arena fina (ver tabla 4), este es un método empírico según (Maure y cols., 2018).

Tratamientos	Concentración	N° de repeticiones
Tratamiento 1	PET puro	5
Tratamiento 2	PET 75% y Arena 25%	5
Tratamiento 3	PET 50% y Arena 50%	5
Tratamiento 4	PET 30% y Arena 70%	5

Tabla 4. Cantidad de pruebas realizadas.

Se realizaron 4 tratamientos con 5 repeticiones, obteniendo un total de 20 adoquines y estas fueron sometidas a pruebas de resistencia a la compresión. Los parámetros que se controlaron en el proceso de extrusión fueron: 1) material que se va utilizar, 2) datos de la fuente de calor en la que se fundirá la muestra del material, 3) tiempo de precalentamiento, 4) Tiempo de fundición, 5) temperatura de fundición, 6) temperatura de enfriamiento, 7) tiempo de enfriamiento, 8) medidas y peso del espécimen fundido, 9) medidas del molde que lo contendría, 10) proceso de desmoldado y 11) volumen de muestra vaciada en molde.

A los 20 adoquines obtenidos se realizó el ensayo de “Resistencia a la compresión” para determinar en qué valor se encuentra esta propiedad mecánica, con la Prensa Digital Automática marca FORNEY, del Laboratorio de “Tecnología del concreto y ensayo de los Materiales” de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión-Filial Juliaca. Para el análisis de los datos obtenidos se aplicó un análisis estadístico ANOVA, con un Diseño Completamente al Azar (DCA), y se procesó con el software SPSS.

Resultados

La Tabla 5 muestra las temperaturas empleados en la extrusora, para la elaboración de adoquines a base de PET y arena fina.

Material	Zona de alimentación	Zona de transición	Zona de dosificación	Temperatura de moldeo	Temperatura de Enfriamiento
PET y Arena fina	260°C	275°C	280°C	270°-280°C	Menores de 10°C

Tabla 5. Temperaturas empleadas en la extrusora del PET

Las temperaturas de trabajo en la investigación de Rodríguez y Chavez (2016), sobre factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envolventes, utilizaron temperaturas de fundición 255, 280 y 300°C, son datos similares empleados en nuestra investigación con 260, 270 y 280°C, siendo estas temperaturas adecuadas para transformar el PET. La temperatura de enfriamiento se realizó a temperaturas menores de 10 °C en cubetas de agua fría, de acuerdo a la recomendación de Eden (2000). La tabla 6 muestra los resultados de los parámetros de trabajo en el proceso de la extrusión para la elaboración de adoquines a base de PET y arena fina

Ítem	Parámetros de trabajo	Valores	Descripción
1	Materiales utilizados	PET y arena fina	PET triturado menor a 10mm + arena fina. El tamaño de trituración ayuda en realizar una buena mezcla.
2	Cantidad de la muestra.	–	Según el diseño de mezcla ver tabla 4
3	Datos de la fuente de calor en la que se fundió el material.	3 resistencias Calentadoras	Mediante las resistencias se realizan la transferencia de calor (CETAL, 2000)
4	Tiempo de precalentamiento.	Por 10 minutos	Se dejó calentar por este periodo de tiempo para que llegue a la temperatura programada, que a su vez ayuda a remover los residuos de los trabajos anteriores dentro de la extrusora, en el que no debe haber residuos que obstruyan el trabajo del husillo Rosato, Rosato y Mattia, (2004).
5	Tiempo de fundición.	1 a 3 minutos	Desde el ingreso del material por la tolva hasta la salida en la boquilla.
6	Temperatura de fusión.	280°C	El plástico sólido cambia por completo al estado líquido.
7	Temperatura de enfriamiento.	Menor a 10°C y a temperatura ambiente.	El proceso de enfriamiento inmediato es necesario por las fuerzas de Van der Waals Mansilla y Ruíz (2009), para evitar grietas en el adoquín.
8	Tiempo de enfriamiento.	15 min	En este periodo de tiempo el material se endurece y queda estable.
9	Medidas del molde.	7cm altura x 10cm ancho x 24cm largo	El grosor de la plancha metálica se consideró 5mm, y esta no deben sufrir deformaciones debe resistir altas temperaturas.
10	Velocidad de rotación del husillo	40 rpm	La velocidad de rotación del husillo debe ser controlado, mientras más rápido se transporta el material, menos eficiente es el mezclado Beltrán y Marsilla (2000)
11	Proceso de desmoldado.	–	Con un leve empuje de la cara lateral se desprende el adoquín del molde.

Tabla 6. Resultados de los parámetros de trabajo en el proceso de la extrusión para la elaboración de adoquines a base de PET y arena fina

De acuerdo a García y cols. (2013), el plástico PET por sus múltiples características físicas actuó como un aglutinante o conglomerante en estado fundido, se puede unir y unirse a otros materiales con facilidad en proporciones convenientes, para ello se realizó un diseño de mezcla, y ésta mezcla se dio mediante las reacciones o transformaciones químicas del PET y el poder aglutinador que por lo general es una atracción electrostática.

La tabla 7 muestra los resultados del ensayo de la prueba de resistencia a compresión en adoquines de los cuatro tratamientos.

Tratamientos	1	2	3	4
	PET 100%	PET 75% y Arena 25%	PET 50% y Arena 50%	PET 30% y Arena 70%
Resistencia de compresión kg/cm ²	131.7	133.2	164.1	227.9
	121.4	149.9	186.4	226.3
	116.7	136	166.6	223
	113.9	151.7	173.5	208
	116.7	148.3	183.3	217.8
MEDIA	120.08	143.82	174.78	220.6

Tabla 7. Resultado del ensayo de la prueba de resistencia a la compresión en adoquines

La tabla 8 muestra el ANOVA para el tratamiento de resistencia, el cual indica que hay diferencia significativa en el valor promedio entre tratamientos, y al menos uno de los tratamientos reporta un valor promedio diferente a los demás; al 95% de confianza ($p=0.000<0.05$, prueba de ANOVA).

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	28 266.338	3	9 422.129	132.328	.000
Intra-grupos	1 139.244	16	71.203		
Total	29 405.632	19			

Tabla 8. Análisis de varianza para el tratamiento de resistencia de compresión

La comparación múltiple (Duncan) promedio de las resistencias a la compresión por diseño de mezcla PET - Arena. El tratamiento de PET 30% y arena 70% reporta el promedio más alto (220.6 kg/cm²) mientras que los otros 3 tratamientos mostraron resistencias más bajas (ver tabla 9).

Prueba	Tratamiento		N	Sub-conjunto			
				Media*			
				1	2	3	4
Duncan	1	PET 100%	5	120.080 d			
	2	PET 75% y arena 25%	5		143.820 c		
	3	PET 50% y arena 50%	5			174.780 b	
	4	PET 30% y arena 70%	5				220.600 a
	Significancia			1.000	1.000	1.000	1.000

*) Letras iguales indican diferencias no significativas (Prueba de Duncan, $p<0.05$). Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Tabla 9. Media para grupos homogéneos

El primer tratamiento de PET 100% puro; obtuvo 120 kg/cm² de resistencia a la compresión mostrado en la tabla 9, este resultado es similar a lo obtenido por Rodríguez y Chavez (2016), quienes obtuvieron una resistencia media de 121 kg/cm² al realizar la factibilidad de PET reciclado en elementos de cubierta y envolvente.

Pero antes de ser reciclado el PET de acuerdo a los resultados de Richardson y Lokensgard (2000), tuvieron resistencia a la compresión de 457 kg/cm² en su investigación comportamiento mecánico del PET y sus aplicaciones geotecnias, por lo tanto, esta reducción se debe al historial térmico adicional experimentada por el material reciclado.

Por otro lado, se observó que la temperatura de enfriamiento del plástico PET puro es bastante acelerada, lo que dificulta en el proceso del moldeado. Por lo que se recomienda un enfriamiento rápido del adoquín, para evitar las rajaduras o grietas pequeñas, como se presentaron en algunos adoquines. Sin embargo, es imprescindible que el material fundido que emerge de la extrusora debe tener un enfriado uniforme en toda el adoquín, para evitar gradientes de temperatura en el adoquín, con la finalidad de mejorar la rigidez necesaria como lo indica Davehakkens (2017) de la ONG "Precious Plastic".

El segundo tratamiento (PET 75% y 25% arena fina) tuvo 143.8 kg/cm² de resistencia a la compresión (ver tabla 9), este resultado es mayor a lo que obtuvieron Maure y cols. (2018), que obtuvieron una resistencia de 40.4 KN con una mezcla de 90% PET y 10% virutas metálicas, en ladrillos de plástico PET fundido más virutas metálicas mediante el proceso de extrusión. De acuerdo a Flores y cols. (2014) al añadir arena fina se mejora la capacidad de resistencia, reforzando así el producto.

Además, según García y Cols. (2013) el plástico por sus múltiples características físicas y químicas también actúa como un aglutinante o conglomerante principalmente en estado fundido, puede unir y unirse a otros materiales con facilidad en proporciones convenientes, señalado en su investigación "Obtención de un material compuesto de polietileno tereftalato (PET) de post consumo y paja de trigo para elaborar madera plástica.

El tercer tratamiento de 50% PET y 50% arena fina (ver figura 9) tuvo una resistencia a la compresión de 174.78 kg/cm², se observa que al agregar arena fina el valor de resistencia a la compresión se incrementa. Esto se debe a que la arena fina cumple la función de crear un cuerpo rígido y estable, además le otorga cohesión y trabajabilidad a la mezcla en porcentajes convenientes de acuerdo a la norma técnica de la ASTM-136, por lo que al momento de procesar este tratamiento tuvo buena fluidez y aglutinación.

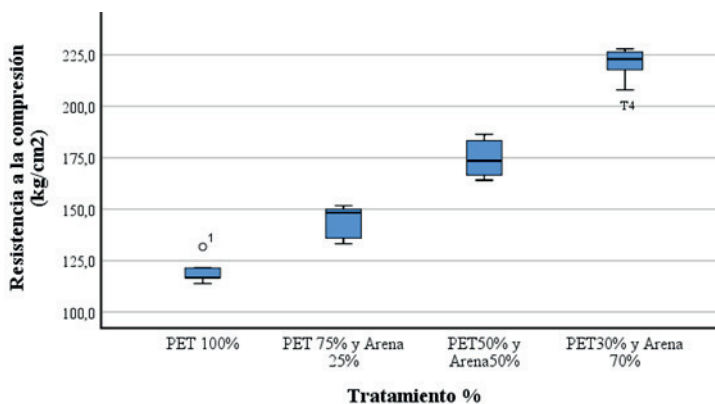


Figura 4. Media de los tratamientos realizados.

La figura 4 muestra que en el cuarto tratamiento muestra una relación perfecta entre el PET y la arena fina, además la resistencia a la compresión es de 220.6 kg/cm² y de acuerdo a la investigación de Martínez y cols. (2014) donde evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales mediante el proceso de extrusión, demostraron que la mejor resistencia es de 60% aserrín y 40% PET con 285.5 kg/cm² de resistencia a la compresión donde el aserrín favoreció el resultado, mostrando buena interacción entre las partículas del polímero y el aserrín, y las altas temperaturas favorecieron el proceso. Por lo tanto, en el cuarto tratamiento hubo un comportamiento similar al trabajo de Martínez y cols. (2014) donde el resultado fue favorecido por la arena fina.

Otro factor que se consideró es la humedad de los materiales que de acuerdo a Gneuss (2015) la extrusora requiere materiales secos para evitar el proceso de hidrólisis que conduce al acortamiento de las cadenas del polímero y por consiguiente afecta la calidad del producto. Los materiales que se utilizaron en el desarrollo experimenta que tuvieron valores menores a 0.05%.

Otro factor que influyó en el tratamiento 4 (30% de PET más 70% de arena fina) fue la capacidad de aglutinación del plástico PET (0.75 dL/g) considerada con viscosidad baja que de acuerdo a Martínez (2007) influyó en la disminución de la fluidez de la mezcla. Además, la densidad de la arena fina (1500 kg/m³) es mayor a la densidad del PET (1400kg/m³), esta propiedad física es la relación de masa sobre volumen, que según Poblete (2001) obligó a que el polímero se sature.

El tratamiento 4 (30% de PET y 70% de arena), presentó un valor de 220.6 kg/cm² de resistencia a compresión, si se compara con la resistencia de los adoquines convencionales que es de 285.5 kg/cm² no hay mucha diferencia. El resultado del tratamiento 4 puede ser mejorado con aditivos para llegar al valor de los adoquines de construcción para pavimentos peatonales, según la Norma Técnica Peruana 399.611.2017 (ver figura 6).

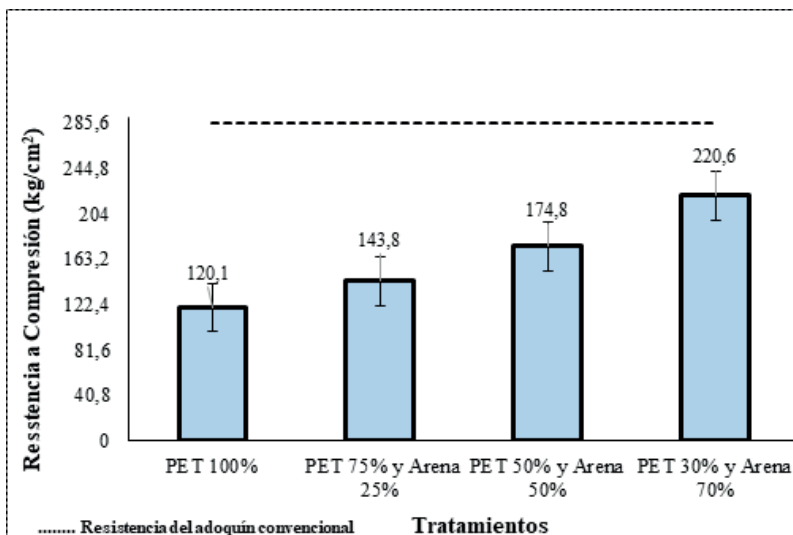


Figura 6. Resistencia del adoquín de PET -Arena versus la resistencia de adoquín para pavimento peatonal.

Conclusiones

- El PET es un polímero que se puede reciclar y en combinación con la arena fina se puede obtener adoquín de construcción aplicado en pavimentos peatonales.
- Se puede diseñar y construir una máquina extrusora ensamblada con un monohusillo de 1.10m de longitud y diámetro de 30mm, 01 motor de 1.5HP acoplado a un motorreductor de 40 rpm con 01 tolva de alimentación de 10 m³, que se puede controlar con un microcontrolador Arduino Mega 2560, para controlar las diferentes temperaturas en cada parte de la sección de la extrusora.
- Para la fabricación de adoquines de construcción en una extrusora se debe utilizar PET reciclado con diámetros menores a 10 mm y arena fina con humedad menor a 0.05%.
- El tratamiento 4 (30%RPET – 70% arena fina) obtuvo el valor máximo de resistencia a la compresión (220.6 kg/cm²) soportando la mayor carga y esfuerzo cortante antes de la deformación y fractura del adoquín.
- Según la evaluación del ANOVA los Tratamientos presentan diferencias significativas con $p < 0.05$.

Bibliografía

- ASTM. (2001). Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. Obtenido de Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregado fino y grueso.
- Beltrán, M. R., & Marcilla, A. G. (2000). Tecnología de los polímeros. Extrusión. Madrid.
- Biswas, A. K., & Davenport, W. G. (1994). El cobre metalúrgica extractiva. España: Limusa.
- CRN Tecnopart, S.A. (2000). Resistencias eléctricas y equipo calefactores. CETAL (34).
- Davehakkens. (2017). Precious Plastic. <https://preciousplastic.com/>
- Downey, R. M. (2016). El tamaño del envase esta determinando el crecimiento de la industria mundial. Euromonitor Internacional (5). <https://blog.euromonitor.com/category/packaging/>
- Eden (2000). Fuentes de agua fría, la temperatura si importa. The water company.
- Flores, V. , Rojas, J., Torres, R., & Vallejos, R. (2014). Mezcla de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas. Dialnet (8-10) .
- García, V. A., Amado, M. G., Casados, P. A., & Brito, P. R. (2013). Madera plástica con Pet de post consumo y paja de trigo. Ciencia y tecnología, 37-40.
- Gneuss, M. E. (2015). Extrusión de PET libre de secado con control de viscosidad. Interempresas.
- Groover, M. P. (2007). Fundamentos de la Manufactura moderna. México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Gutiérrez, C. A., & Vargas, A. L. (2017). Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Kent, R. A. (2008). Energy Management in Plastics Processing, (1ra Ed.). Londres, Inglaterra.

- Mansilla, P. L., & Ruiz, M. R. (2009). Reciclaje de botellas de Pet para obtener fibras de poliéster. Red de revistas científicas de América Latina el Caribe, España y Portugal(27), 123-137.
- Martínez, A. D., & Cote, M. L. (2014). Diseño y fabricación del ladrillo reutilizando materiales a base de Pet, 2(10), 2-5.
- Martínez, Y. L., Fernández, R. R., Álvarez, M. L., García, G. N., & Martínez, R. E. (2007). Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales. Scielo, 8-10 doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.02.003.
- Maure, L. J., Candanedo, M., Madrid, J., Bolobosky, M., & Marín, N. Ric. (2018). Fabricación de ladrillos a base de polímeros pet y virutas metálicas. Panamá. Doi: 10.33412/rev-ric.v4.0.1816.
- MINAM. (2018). Estamos en contra del uso superfluo del plástico y regularemos su uso en el Perú.
- NTP 399.611 (2017). Requisitos de adoquines de concreto .
- Poblete, H. (2001). Tableros de Partículas. Universidad Austral de Chile. Editorial El Kultrún. Valdivia, Chile. 177.
- Posada, J., Vargas, C., Jaramillo, L., & García, L. Consumo de nergía en la industria delplástico: Revisión de estudios realizados. Cea, 6-15 (2015).
- Richardson, & Lokensgard. (2000). Industria del plástico. Madrid: Paraninfo.
- Rodríguez, L., & Chávez, W.(2016) Factibilidad de Pet reciclado en elementos de cubierta y envolvente. Ingeniería, 10-16 .
- Rosato, D., Rosato, A., & Mattia, D. (2004). Blow molding handbook:tecnology, performance, markets, economics: the complete blow molding operation. Hanser Gardner publications.
- Savgorodny, V. (1973). Transformación de plásticos. Barcelona: Gustavo Pili S.A.
- Sigersol (2019). Sistema de información para la gestión de residuos sólidos. Perú.