



Descripción del comportamiento de una varilla de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET) extruido

Description of the behavior of an extruded polyethylene terephthalate (PET) recycled plastic rod

Descrição do comportamento de uma haste de plástico reciclado extrudado de tereftalato de polietileno (PET)

Anderson Darío Muñoz-Chichande ^I

amuñozc@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0503-8377>

Marcos Xavier Chalaco-Valle ^{II}

mchalacov@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5103-0080>

Javier Nicolás Areche-García ^{II}

jarecheg@ulvr.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002--0985-9482>

Correspondencia: amuñozc@ulvr.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 26 de febrero de 2021 ***Aceptado:** 20 de marzo de 2021 * **Publicado:** 08 de abril de 2021

- I. Estudiante en Egreso de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción en la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- II. Estudiante en Egreso de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción en la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Egresado de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda Coro Venezuela, Magister Sciarum en Gerencia Empresarial, PhD-Doctor en Ciencias para el Desarrollo Estratégico, Docente Investigador, Catedrático en la Universidad de Guayaquil y la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

En la presente investigación se desglosa un marco conceptual sobre: el comportamiento mecánico y propiedades de los materiales, los polímeros (propiedades y clasificación), la varilla (generalidades y clasificación) y la normativa técnica (ecuatoriana e internacional). Todo ello con la finalidad de presentar una propuesta de trabajo que promueve la reutilización de elementos que han sido catalogados como desechos, el cual generaría un impacto como elemento alternativo en la construcción. Bien es cierto, que dentro de los principales materiales plásticos recuperados se encuentra el polietileno tereftalato PET, que es un polímero de alta producción con diversas aplicaciones, el cual se utilizó para describir el comportamiento de una varilla de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET) extruido, estudio fundamentado en un paradigma positivista, con enfoque cuantitativo y tipo de investigación de campo en el que se concluye que con los procesos adecuados se cumple con el objetivo, elaborando resistencias tipo boquilla de acero inoxidable y termopares.

Palabras claves: Comportamiento; polímeros; varilla; polietileno tereftalato; plástico reciclado.

Abstract

In this research a conceptual framework is broken down on: the mechanical behavior and properties of materials, polymers (properties and classification), the rod (generalities and classification) and technical regulations (Ecuadorian and international). All this in order to present a work proposal that promotes the reuse of elements that have been classified as waste, which would generate an impact as an alternative element in construction. It is true that among the main plastic materials recovered is polyethylene terephthalate PET, which is a high-production polymer with various applications, which was used to describe the behavior of a recycled plastic rod made of polyethylene terephthalate (PET). extruded, a study based on a positivist paradigm, with a quantitative approach and a type of field research in which it is concluded that the objective is met with the appropriate processes, developing stainless steel nozzle type resistors and thermocouples.

Keywords: Behavior; polymers; rod; polyethylene terephthalate; recycled plastic.

Resumo

Nesta pesquisa, um arcabouço conceitual é dividido em: comportamento mecânico e propriedades dos materiais, polímeros (propriedades e classificação), a barra (generalidades e classificação) e regulamentos técnicos (equatorianos e internacionais). Tudo isso com o objetivo de apresentar uma proposta de trabalho que promova o reaproveitamento de elementos que foram classificados como resíduos, o que geraria um impacto como elemento alternativo na construção. É verdade que entre os principais materiais plásticos recuperados está o polietileno tereftalato PET, um polímero de alta produção com diversas aplicações, que foi utilizado para descrever o comportamento de um bastão plástico reciclado feito de polietileno tereftalato (PET). Extrudado, um estudo baseado em um paradigma positivista, com abordagem quantitativa e um tipo de pesquisa de campo em que se conclui que o objetivo é alcançado com os processos adequados, desenvolvendo resistências e termopares do tipo bico de aço inoxidável.

Palavras-chave: Comportamento; polímeros; bastão; tereftalato de polietileno; plástico reciclado.

Introducción

En el mundo se estima que aproximadamente que cada año se producen 500 mil millones de botellas de plástico, donde cada una de ellas tarda en promedio 450 años en descomponerse, y el 90% son producidas a partir de combustibles fósiles (Organización Ecologista Greenpeace, 2021). Alrededor de 8 millones de toneladas de residuos plásticos (Domínguez, 2015) acaban en los océanos llegando a grandes ríos del mundo y sus principales afluentes debido a su mala disposición final y no contar con un sistema eficiente para su reutilización .

En ciertas naciones industrializadas se ha logrado conseguir que un porcentaje superior al 50% de los desechos sólidos que se reciclan se pueden aprovechar, mientras que en América Latina y el Caribe es apenas el 14%, según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Las naciones del mundo se propusieron hacia el 2030 reducir considerablemente la generación de desechos (Morán, 2021).

En 2019 en Ecuador, se generaron de 528.000 toneladas de residuos plásticos (Naranjo, 2020), equivalentes al 11% del total de desechos sólidos producidos, y donde las botellas desechables de agua representaron un 36%, las cifras van en aumento, en el 2016 eran 0,58 kilogramos diarios. Por su lado, Morán (2021), refiere que en el 2017, esta cifra subió a 0,86 kilogramos y en 2020 debido a la inmensa cantidad de desechos que produce la población donde al menos 12.000

toneladas de desperdicios son enterradas, considerado como un modelo insostenible, según los expertos; así también, la autora indica que según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4%.

Los desechos generados por botellas de plásticos tienen tres destinos: el relleno sanitario (45,7%), las celdas emergentes (28,8%) y los botaderos a cielo abierto (25,6%) (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2010). Estos espacios por lo general están ubicados cerca de los ríos y los expertos temen que estos sean contaminados por los lixiviados o líquidos contaminantes que genera la basura. El mayor número de botaderos a cielo abierto y de celdas emergentes están en la Costa, 66 y 14 respectivamente, mientras que el mayor número de rellenos sanitarios están en la Sierra (Morán, 2021).

Guayaquil, la segunda ciudad más grande de Ecuador, presentan dos situaciones problemáticas que afectan a su población, en primer lugar la falta de vivienda de interés social y seguidamente los altos índices en contaminación ambiental, motivado a los desechos sólidos, entre los cuales se destaca el alto porcentaje en plásticos de un solo uso, causando incidencias sociales, culturales y medioambientales que afectan a la sociedad y su entorno.

En tal sentido, la primera ciudad del país en generar más desechos sólidos al día: es Guayaquil, donde el relleno Las Iguanas recibe 3.395 toneladas diarias. La capital de la nación, Quito es la segunda con un porcentaje de entre 2.100 y 2.200 toneladas, cifra que aumentó en 600 toneladas durante la pandemia, seguido de la ciudad de Cuenca ocupa el tercer lugar y arroja 521 toneladas diarias al relleno Pichacay (Morán, 2021).

Los índices de contaminación se incrementan debido a que un alto porcentaje de los plásticos que son producidos solo tienen un lapso de uso precario, los cuales son utilizados y desechados casi de manera inmediata por el consumidor, debido a la falta de información y en muchos casos a una propuesta de interés social que permita reducir el uso de los mismos, reciclar y reutilizar en un proyecto innovador. Por lo que, este trabajo tiene como finalidad recopilar información existente sobre las fibras de polímeros y mostrar su utilidad en el sector de la infraestructura, en donde se promueva la reutilización de elementos que han sido catalogados como desechos, sea vista como una alternativa en la construcción de viviendas a bajo costo.

Por otro lado, en relación a las varillas de acero tradicionales, indispensables en la actualidad para construir las viviendas de hormigón armado corresponde al uso de materia prima virgen la cual se

obtiene directamente de la naturaleza. Adicionalmente se le suman los procesos de extracción, el refinamiento del mineral de hierro, el carbón y la piedra caliza para la fabricación del hierro. Esto conlleva a una alta demanda de energía eléctrica, gran consumo de combustibles fósiles y la generación de emisiones al aire, suelo y agua afectando en mayor medida la categoría de agotamiento de los minerales, con una participación porcentual del 97,7%.

A tales efectos, para la investigación se plantea la interrogante sobre ¿cómo se describe el comportamiento de una varilla de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET)?, tomando como objetivo general describir el comportamiento de una varilla de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET) extruido, por medio de una metodología de paradigma positivista, con enfoque cuantitativo y tipo de investigación de campo, para definir el uso de un material reciclado en la construcción y aportar en el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) concebida en la Agenda 2030 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2015, donde Ecuador se suscribió, específicamente insertando el tema abordado en el objetivo 9 sobre: industria, innovación e infraestructura donde se proyecta construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Desarrollo

En las siguientes líneas, se establece un marco conceptual y teórico sobre el tema, a saber: comportamiento mecánico y propiedades; polímeros: propiedades, clasificación; varilla: generalidades y clasificación; y la normativa técnica.

Comportamiento mecánico y propiedades

Comportamiento mecánico es la conducta que presentan las propiedades de los materiales al ser sometidas a fuerzas mecánicas externas que tienden a alterar su capacidad de equilibrio, donde el comportamiento mecánico de los materiales y su inmediata evolución, se encuentra dentro de la estructura de las propiedades del material. Es necesario para el entendimiento sobre el comportamiento mecánico de los materiales, conocer las propiedades mecánicas que presentan los materiales (Núñez et al., 2011).

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de la estructura interna de la materia ante la acción de fuerzas externas. Cuando dos fuerzas opuestas actúan sobre un cuerpo, pueden provocar una modificación interna, alterando la posición y distancia entre sus átomos, que resulta

en un cambio de forma de dicho cuerpo. A continuación, se explican todos los términos relacionados con dichas propiedades:

- **Fuerza:** es la tracción que se aplica sobre un cuerpo, lo que produce un cambio en la posición de reposo (deformación) o movimiento del mismo. Estas fuerzas pueden ser axiales (tracción y compresión) y no axiales (cizallamiento o tangenciales):
 - *Fuerza de tracción:* producida por una carga que estira o alarga un cuerpo, va acompañada de una deformación por tracción.
 - *Fuerza de compresión:* producida por una carga que comprime o acorta un cuerpo, va acompañada de una deformación por compresión.
 - *Fuerza de cizallamiento o corte:* resultado de dos grupos de fuerzas paralelas entre sí, que resisten el desplazamiento o movimiento de una parte de un cuerpo sobre otro, lo que resulta en un corte del cuerpo.
- **Distorsión o deformación:** se refiere al cambio de la forma original que puede surtir un cuerpo por acción de una carga o fuerza ajena al cuerpo. La deformación puede ser:
 - *Elástica:* es una deformación reversible. El cuerpo recupera su forma original cuando se retira la fuerza ejercida sobre él.
 - *Plástica:* es una deformación permanente. El cuerpo no recupera su forma original al ser retirada la fuerza.
- **Elasticidad:** se refiere a la propiedad mecánica que hace que los materiales tengan la posibilidad de deformarse por fuerza externas y volver a su estado original sin romperse o fracturarse. Los materiales completamente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, que es lo que se conoce como límite elástico.
- **Límite elástico:** también conocido como límite de elasticidad, es la tensión máxima que puede llegar a soportar un material elástico sin presentar deformaciones permanentes.
- **Módulo de elasticidad:** conocido como módulo de Young, hace referencia a la relación, entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Cuando se presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria a esta se le denomina LEY DE HOOKE.
- **Dureza:** resistencia de un cuerpo a ser penetrado por otro. En algunos casos puede ser modificada (aleaciones, tratamientos). Oposición que ejerce un cuerpo para no rayarse.

- **Tenacidad:** es definida como la energía por unidad de volumen que absorbe el material hasta la fractura puede evaluarse mediante el módulo de tenacidad, considerado como un parámetro auxiliar en selección de materiales.
- **Fatiga:** es la rotura por un esfuerzo de magnitud o sentido variable, es una deformación de los materiales sometidos a cargas variable, algo inferiores a la rotura.
- **Fragilidad:** cualidad contraria a la tenacidad. Tienen el límite de elasticidad y el de rotura muy próximos: carecen de zona plástica. Cuando se ejerce una fuerza sobre un material este se fractura.
- **Esfuerzo axial o normal:** es la fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada.
- **Esfuerzo a tensión:** se establece que este esfuerzo es ocasionado cuando una estructura está sometido a dos fuerzas o cargas de sentido opuesto entre sí, ocasionando que la estructura se deforme por alargamiento.
- **Esfuerzo a compresión:** descrito como un esfuerzo de compresión, ocasionado cuando el cuerpo está bajo la acción de dos fuerzas en sentido opuesto, que ocasiona una deformación por aplastamiento sobre la estructura.
- **Esfuerzo a flexión:** se define que una estructura está sometida a flexión cuando se encuentra bajo fuerzas que provocan que la estructura se doble.

Polímeros: propiedades, clasificación

Un polímero, se puede definir como un compuesto orgánico, procedente de origen natural o sintético, que posee un alto peso molecular, formado por unidades estructurales repetitivas denominadas: monómeros. Castañeda (2020) indica que “los polímeros son moléculas de grandes dimensiones, compuestas por eslabones orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes” (p. 01), aquí destaca el enlace de los mismos, mencionando que primordialmente están compuestos por átomos de carbono y varios de ellos pueden poseer grupos laterales o radicales conformado con uno o más átomos.

Por su parte, Sánchez (2015), precisa a los polímeros como moléculas lineales o de tipo ramificadas, que se forman debido a una repetición indefinida de los grupos funcionales simples, destaca sobre todo en su definición la clasificación de los mismos, su composición y

comportamiento químico. Las moléculas orgánicas como son, las que componen los materiales plásticos, se originan mediante la polimerización, que es un proceso que genera la reacción de miles de monómeros mismos que son parte de una cadena macromolecular extensa.

Los polímeros se pueden clasificar en tres diferentes tipos de materiales (López, 2005):

- los elastómeros: sustancias que poseen la elasticidad que caracteriza al caucho y al igual que este se emplean para fabricar gomas, mangueras o neumáticos.
- las fibras: materiales capaces de orientarse para formar filamentos largos y delgados como el hilo. Poseen una gran resistencia a lo largo del eje de orientación, tal como ocurre con el algodón, la lana y la seda. Tienen su principal aplicación en la industria textil.
- los plásticos: son polímeros que pueden ser moldeados a presión y transformados en diversos objetos con formas diferentes, o bien, usados como pinturas o recubrimientos de superficies.

Existe otra clasificación más amplia, de acuerdo a Sánchez (2015), a saber:

- Polietileno de baja densidad (LDPE): es el principal polímero comercial de etileno, también denominado como polietileno ramificado, posee características de ser un material de baja densidad o de alta presión.
- Policloruro de vinilo (PVC): es un producto de síntesis que forma parte del amplio grupo de los compuestos vinílicos mencionando que es una sustancia con una gran capacidad reactiva que conforman parte de polímeros (compuestos), propiedad que es empleada para la fabricación de los plásticos.
- Polipropileno (PP): es el más ligero de los plásticos importantes, el cual posee una densidad de 0.905, donde su alta cristalinidad le proporciona una mayor resistencia a la atracción, rigidez y dureza. El elevado punto de fusión permite que las piezas bien moldeadas sean esterilizables y el polímero conserva una alta resistencia a la tracción a temperaturas elevadas.
- Polietileno de alta densidad (HDPE) - lineal: el polietileno lineal puede producirse de varias formas, dentro de las cuales se encuentra la polimerización radical del etileno y la polimerización del etileno con un catalizador de óxido metálico soportado. Son altamente cristalinos en un porcentaje superior al 90%, y contienen menos de una cadena lateral por cada 200 átomos de carbono de la cadena principal.

- Poliestireno (PS): es un polímero de tipo lineal, termoplástico, considerado uno de los tres grandes termoplásticos más antiguos en ser concebidos, es decir, polietileno, policloruro de vinilo y poliestireno, el cual posee características de bajo coste de producción y facilidad para moldear.
- Politereftalato de etilenglicol, poli(etilén tereftalato) o polietileno tereftalato (PET): es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, es de tipo lineal, y posee un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, características que lo hacen idóneo para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

Debido a las propiedades físicas del PET y la capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas, este material se ha empleado en el desarrollo y producción de fibras textiles y una amplia gama de envases, principalmente en la fabricación de botellas, bandejas, flejes y láminas.

De acuerdo con Elias y Jurado (2012), el tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato, politereftalato de etileno conocido por las siglas en inglés PET, conforma la familia de los poliésteres denominado como un polímero, termoplástico, el cual es producido por la polimerización del etilenglicol con ácido tereftálico, mismo que dependiente de la velocidad en que se enfríe luego de ser conformado puede ser considerado como amorfo o parcialmente cristalizado.

Reyes (2018), indica que el PET es un polímero plástico, el cual se encuentra dentro de la categoría de los termoplásticos, los cuales están compuestos por cadenas de polímeros lineales, mismos que tienden a fundirse o ablandarse a un determinado rango de temperatura. Los cuales pueden presentar una estructura totalmente desordenada en sus cadenas y ser denominadas como amorfos o presentar áreas con determinada organización geométrica y ser catalogadas como semicristalinos. El PET establece los tipos de procesos mediante los cuales puede ser sometido tales como: extrusión, inyección, inyección y soplado de preforma y termo conformado.

Varilla: generalidades y clasificación

Una varilla, la cual también se conoce como acero de refuerzo o acero corrugado, es una barra común de acero al carbón laminado que comúnmente se utiliza como mecanismo de tensión en las

estructuras de concreto reforzado y mampostería reforzada conservando el concreto en compresión (Empresa Aceros Jasso SA, 2015).

Una varilla corrugada es una aleación de acero y otros componentes químicos que le dan a esta características especiales, formada por corrugas o resaltes que son necesarios para la adhesión del hormigón, no tienen una capa protectora ante la corrosión u oxidación ya que el mismo concreto se encarga de revestirla y darle un tiempo de vida extendido (Pérez y Trujillo, 2016).

Tienen características especiales, tales como: muy buena ductilidad, gran límite de fluencia y un alto grado de resistencia sísmica. Se pueden clasificar en:

- **Varilla con resaltes:** especialmente fabricada para utilizarse en hormigón armado, de núcleo central circular en cuya superficie existen salientes denominados resaltes.
- **Varilla recta:** es de sección circular, con resaltes transversales que asegura una alta adherencia con el concreto; laminadas en caliente y termo tratadas que garantizan mayor flexibilidad y seguridad que el acero común. Puede ser soldable en caso de que la estructura así la requiera.
- Varilla termo tratada: es la varilla que ha recibido un proceso de termo tratamiento.
- **Varilla laminada en caliente micro aleada o de baja aleación:** esta varilla alcanza las propiedades mecánicas requeridas en esta norma mediante su composición química en la cual existen elementos de aleación entre los cuales pueden estar cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, niobio, titanio y zirconio en pequeñas cantidades. Estas varillas son fabricadas mediante un proceso de laminación en caliente y un enfriamiento al aire no forzado.

Normativa técnica

Se utilizaron normativas nacionales e internacionales para el desarrollo de la investigación, en las que se encuentran:

- NTE INEN 2167 (ecuatoriana): varillas de acero corrugadas y lisas de baja aleación para refuerzo de hormigón.
- ASTM A706 (Americana): barras deformadas de acero de baja aleación para refuerzo de hormigón.

- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC: se oficializan los primeros capítulos contemplados para la NEC, relacionados con la seguridad estructural de las Edificaciones.
- NEC-SE-CG. Cargas (no sísmicas): contempla los factores de cargas no sísmicas que deben considerarse para el cálculo estructural de las edificaciones: cargas permanentes, cargas variables, cargas accidentales y combinaciones de cargas.

Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-CG de las NECs. Las normas referentes de la NEC-SE-CG son:

- ASCE 7-10: Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras (estándar ASCE/SEI7-10). Estas normas describen el análisis y diseño sísmico que deberán poseer las estructuras de un edificio, para que sea capaz de brindar resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía ante los movimientos del suelo, para ello debe incluir sistemas que proporcionen resistencia a la fuerza lateral y vertical.
- NSR-10: Título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Estas normas describen el diseño que debe seguir una edificación para ser capaz de resistir las fuerzas que le imponen su uso, temblores de poca a mediana intensidad sin daño en su estructura, y temblores fuertes con daños en la estructura sin colapso.

Los capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) sobre seguridad estructural de las edificaciones, se tiene:

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 1,2,3,4
- NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras
- NEC-SE-GC: Geotécnica y Cimentaciones
- NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado
- NEC-SE-AC: Estructuras de Acero
- NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m - 1,2,3,4
- NEC-SE-DS. Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente: contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismo resistente de las edificaciones, estableciéndose como un conjunto de especificaciones básicas y mínimas, adecuadas para el cálculo y el dimensionamiento de las estructuras que se encuentran sujetas a los efectos de sismos en algún momento de su vida útil.

- NEC-SE-GM. Geotécnica y Diseño de Cimentaciones: contempla criterios básicos a utilizarse en los estudios geotécnicos para edificaciones, basándose en la investigación del subsuelo, la geomorfología del sitio y las características estructurales de la edificación, proveyendo de recomendaciones geotécnicas de diseño para cimentaciones futuras, rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes.
- NEC-SE-HM. Estructuras de Hormigón Armado: contempla el análisis y el dimensionamiento de los elementos estructurales de hormigón armado para edificaciones, en cumplimiento con las especificaciones técnicas de normativa nacional e internacional.

Metodología

Para esta investigación se establecen los métodos inductivo y deductivo, desde la posición de Dávila (2006), quien indica al método deductivo como aquel que permite establecer un vínculo de unión entre la teoría y la observación, acumula conocimientos e informaciones aisladas, permitiendo deducir a partir de la teoría los fenómenos objeto de observación y en relación al método inductivo, establece sus conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante la observación directa.

Por otro lado, el paradigma investigativo es positivista, con enfoque cuantitativo, dado que requiere de un conjunto de procesos secuenciales y probatorios (Hernández et al., 2014), y diseño experimental, que se refiere a la manipulación intencional de una acción para después analizar sus resultados (Hernández et al., 2014). En este sentido, la investigación se basa en medir el comportamiento (mecánico) de las varillas PET, tales como: resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y a su vez un ensayo térmico, cuyos resultados serán expresados en números. El tipo de investigación es de campo, debido a que este trabajo se van a analizar pruebas con las varillas PET en ambiente controlado de laboratorio.

Los instrumentos que se utilizaron son: el laboratorio de pruebas mecánicas, máquina de tracción, máquina extrusora de plástico y laptop.

Por otro lado. la población o universo, se refiere al conjunto de todos los casos que tienen determinadas características que serán estudiados y sobre la que se pretende trascender los resultados (Hernández et al., 2014). Aquí está conformado por varillas de diámetro de: 1/2", 5/8", 3/4", 1". La muestra es, un subconjunto de la población, se refiere a un grupo de elementos

con características definidas que forman parte del universo (Hernández et al., 2014), que en este estudio es de tipo no probabilística, porque se seleccionó por las características de la investigación y criterio de los investigadores, tomando como referencia para la muestra los diámetros de varillas más utilizadas y comerciales. Así, tenemos que la muestra corresponderá a 4 especímenes por ensayo, es decir, 12 especímenes para varilla de 1/2", 12 especímenes para varilla 5/8", 12 especímenes para varilla 3/4" y 12 especímenes para varilla 1". Teniendo un total de la muestra de 48 especímenes.

Resultados y discusión

A continuación, se describen los pasos para la fabricación de la máquina extrusora de plástico, cuyos resultados se muestran en las figuras presentadas:

Inicialmente se procedió a la fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción (figura 1), cuya función es alojar el tornillo sinfin o husillo para la máquina de extrusión de PET, por lo general el cilindro de calefacción debe construirse en aceros muy resistentes al calor.

Figura 1: Fabricación del eje extrusor o cilindro de calefacción



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Se realizó el maquinado del tornillo extrusor o husillo que va hacer por donde va a pasar el material PET (figura 2), el material utilizado para su fabricación debe ser resistente a tratamientos térmicos sin perder sus características aun después de haber sido sometido a altas temperaturas. Posteriormente se procedió a realizar el maquinado del muñón que es la parte trasera del husillo, que servirá para unir el motor que a su vez dará movimiento y plastificará el material. Se continuó a seccionar y acoplar el cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo el cual portara las boquillas de calentamiento (figura 3).

Figura 2: Maquinado del tornillo extrusor o husillo



Fuente: Elaboración propia, (2021)

Figura 3: Acoplamiento del cilindro de calefacción con el tornillo sin fin o Husillo



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Después se sigue con el procedimiento de modelación de la tolva de la máquina extrusora de PET (figura 4), dado que la máquina cumplirá funciones a nivel de un prototipo, el diseño de la tolva no requerirá grandes dimensiones. Se definieron las medidas de la tolva en función al diámetro del cilindro de calefacción, se seccionaron las partes, para luego moldear las láminas de acero, soldar las costuras de la tolva y pulir.

Se perforaron las platinas de refuerzo (figura 5) donde se ajusta la tolva hacia el tubo de calentamiento y se pulió todas las partes. Se procedió a soldar las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y después a la tolva (figura 6). Se lleva a cabo, el centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento (figura 7), con el debido ajuste de pernos, centrado y posicionamiento de las piezas donde pasara el material PET triturado.

Figura 4: Modelación de la tolva de máquina extrusora **Figura 5:** Perforación de las platinas de refuerzo de PET



Fuente: Elaboración propia, (2021).



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Figura 6: Suelda de las platinas que van fijadas al tubo de calentamiento y tolva **Figura 7:** Centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento



Fuente: Elaboración propia, (2021).



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Se lleva a la práctica el maquinado de los diferentes tipos de boquilla de extrusión tanto de 1/2", 5/8", 3/4" y 1" (figura 8) que serán el medio por donde el PET triturado se calentara hasta conseguir un estado altamente plástico, que se hará fluir mediante alta presión dentro de la moldura en donde luego se solidificara tomando la forma deseada. Además, se realizó el diseño y pulido de la estructura de soporte tanto del eje extrusor, tubo de calentamiento y tolva (figura 9).

Figura 8: Maquinado de boquilla de extrusión de 1/2", 5/8", 3/4" y 1" **Figura 9:** Diseño y pulido de la estructura de soporte del eje extrusor, tubo de calentamiento y tolva



Fuente: Elaboración propia, (2021).



Fuente: Elaboración propia, (2021).

También, se efectuó el maquinado de la brida entre el motor y el reductor de velocidad del eje extrusor (figura 10). Luego se procedió hacer el montaje del motor y reductor de velocidad que harán girar el tornillo extrusor (figura 11).

Figura 10: Maquinado de la brida entre el motor y el reductor de velocidad del eje extrusor



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Figura 11: Montaje del motor y reductor de velocidad



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Se ejecutó el soldado de los tubos de refuerzo hacia el eje extrusor y nivelación del eje extrusor con respecto a la tolva (figura 12). Una vez realizado el ensamblaje total del cuerpo de la máquina extrusora, se procedió a soldar las patas de la mesa donde se apoyará la máquina extrusora y los tubos horizontales del refuerzo de la mesa, realizando el ensamble total de la mesa con su plancha de refuerzo (figura 13).

Figura 12: Soldado de los tubos de refuerzo hacia el eje extrusor



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Figura 13: Ensamble total de la mesa con su plancha de refuerzo



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Se verificaron las medidas entre la base del motor y el reductor de velocidad y la concentricidad entre el reductor de velocidad y el eje extrusor, además se realiza la comprobación entre la altura

del motor y la base de soporte (figura 14). Se efectuó el diseño de los puntos de calentamiento de la máquina extrusora (figura 15), posteriormente se procede a realizar el corte con plasma de la base del motor y de la base del reductor de velocidad y luego se procedió a soldar la base del motor y el reductor de velocidad.

Figura 14: Comprobación entre la altura del motor y la base de soporte



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Figura 15: Diseño de los puntos de calentamiento de la máquina extrusora



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Luego se llevó a efecto, armar el tablero de control de la máquina extrusora, el cual va a calibrar los sensores de temperatura (figura 16) y se realizó el montaje de los breakeres del panel de control (figura 17), el cual sirve para evitar cualquier corto eléctrico al momento de hacer la calibración de los sensores de temperatura.

Figura 16: Tablero de control de la máquina extrusora



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Figura 17: Montaje de los breakeres del panel de control



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Finalmente, se elaboraron las resistencias tipo boquilla 250W/240V las cuales son de acero inoxidable y se fabrica los termopares tipo K, rosca de 1/4" las cuales sirven para censar las temperaturas en los diferentes puntos de calentamiento (figura 18).

Figura 18: Resistencias tipo boquilla 250W/240V



Fuente: Elaboración propia, (2021).

Conclusión

Uno de los materiales que tiene mayor dificultad al ser reutilizando es el PET, ya que es un material que presenta un proceso de enfriamiento complejo; sin embargo, al accionar sobre este proceso se pueden controlar las propiedades finales de una pieza.

Por lo que, en esta investigación se detalla la problemática existente en cuanto al reciclaje de los residuos en Guayaquil-Ecuador, específicamente en el comportamiento de varillas de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET) extruido.

Se elaboró todo un proceso para armar la máquina extrusora, para posteriormente tomar la descripción de todo el procedimiento, el cual cumplió funciones de un prototipo respecto al diseño de la tolva que no requirió grandes dimensiones de acuerdo al diámetro del cilindro de calefacción, llevando a tono el centrado y colocación de la tolva hacia el tubo de calentamiento con ajuste de los pernos, posicionando las piezas por donde pasó el material PET triturado, en el que se elaboraron las resistencias tipo boquilla 250W/240V de acero inoxidable y los termopares tipo K, rosca de 1/4", por lo que todos los pasos cumplen con el objetivo.

Referencias

1. American Society for Testing and Materials, ASTM A706/A706M-04a. (2004). Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement.
2. Arenas, W., Martínez, O., Martínez, M., Otero, R. y Manrique, M. (2019). Optimización de la rugosidad y la dureza del acero empleando la metodología de superficie de respuesta. <https://cutt.ly/NcmRYme>
3. ASCE/SEI 7-10 (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. <https://cutt.ly/TcRYCpL>
4. Banco Interamericano del Desarrollo (BID). (2003), II Reunión: La aplicación de Instrumentos Económicos para la Gestión del Agua y residuos Sólidos. Instrumentos Económicos para el Manejo Integral de residuos sólidos en América Latina y El Caribe. 25 y 26 de febrero, Washington, D.C.
5. Castañeda, Z. (2020). Guía de aprendizaje de química. <https://cutt.ly/LcmRXkm>
6. CPE INEN-NEC-SE-CG 26-1. (2014). CAPÍTULO 1: CARGAS (NO SÍSMICAS). <https://cutt.ly/ocRIfnV>
7. Dávila, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12, 180-205.
8. Domínguez, N. (2015). El mundo tira ocho millones de toneladas de plástico al mar cada año. https://elpais.com/elpais/2015/02/12/ciencia/1423754724_622856.html
9. Elias, X., Y Jurado, L. (2012). Reciclaje de residuos industriales. Madrid, España: Días de Santos S.A.
10. Empresa Aceros Jasso SA. (2015). Varillas corrugadas. <http://acerosjasso.mx/varilla-corrugada/>
11. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. Editorial McGraw-Hill. México.
12. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). Estadísticas INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
13. López, F. (2005). Fundamentos de polímeros. <https://cutt.ly/ucRSOUu>
14. Ministerio del Ambiente del Ecuador (2010) . Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS). Período 2010 -2021. <https://cutt.ly/AcRR0MV>

15. Morán, S. (2021). Ecuador, ahogado en basura, está lejos de cumplir las metas de los ODS al 2030. <https://cutt.ly/zcmRSA8>
16. Naranjo, V. (2020). Lo cotidiano está ligado a los plásticos. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/plasticos-contaminacion-ecuador>
17. NEC 15 (Cargas No Sísmicas). Capítulo 1 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción actualizada al año 2015. <https://cutt.ly/5cRU45b>
18. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1373. (2017). Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1373.pdf
19. NTE INEN 2167. (2017). Varillas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado. <https://cutt.ly/RcRY3qa>
20. Núñez, C., Roca, A. y Jorba, J. (2011). Comportamiento mecánico de los materiales. <http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/07452.pdf>
21. Organización Ecológica Greenpeace. (2015). La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. De hecho, en los últimos diez años hemos producido más plástico que en toda la historia de la humanidad. <https://cutt.ly/FcmRPey>
22. Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://cutt.ly/scRYaZv>
23. Pérez, J. y Trujillo, O. (2016). Diseño de una máquina para cortar y doblar estribos en serie para columnas de hormigón armado. <https://cutt.ly/vcmRHd7>
24. Reyes, I. (2018). Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta - Ate - Lima Este (2018). <https://core.ac.uk/download/pdf/337286372.pdf>
25. Sánchez, E. (2015). Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de PETTES a partir de plástico reciclado. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Guayas, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/20/UPS-GT000106.pdf>