

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín
mediante el proceso de extrusión**

Por:

Sirly Marilyn Turpo Mamani

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, octubre de 2019

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "RECICLADO DE PLÁSTICO PET PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUÍN MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN" constituye la memoria de la Bachiller Sirly Marilyn Turpo Mamani para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la Institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 16 días del mes de octubre del año 2019.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión.

TESIS

Presentada para optar el título de profesional de Ingeniero Ambiental.

JURADO CALIFICADOR




MSc. Rose Adeline Callata Chura

Presidenta



MSc. Jael Calla Calla

Secretario



Ing. Raúl Luciano Mestas Tola

Vocal



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

Juliaca, 16 de octubre de 2019

DEDICATORIA

A Dios, por ser él ancla en mi vida.

A mis preciados padres: Ubaldo y Celestina quienes son mi mayor motivo de superación.

A mis queridos hermanos: Dino, Jhonatan y Erick que depositaron su confianza en mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud, economía e inteligencia, por mantenerme firme y segura ante cualquier adversidad.

Al Ing. Eduardo Vigo Rivera, por su asesoramiento y motivación en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la situación problemática	15
1.2. Justificación.....	16
1.3. Presuposición Filosófica	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
CAPITULO II: REVISION DE LA LITERATURA.....	20
2.1. Resultados anteriores de investigación relacionados al objeto de estudio	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.2. Fundamentos del objeto de estudio	21
2.2.1. Tipos de los plásticos	21
2.2.2. Tipos de plástico termoplásticos	22
2.2.3. Principales características del Tereftalato de Polietileno (PET)	23
2.2.3.1. Comportamiento térmico de un polímero cristalino.....	26
2.2.4. Reciclaje del plástico para elaborar adoquines	27
2.2.5. Características de la arena fina	28
2.2.6. Características de los adoquines	28
2.3. Métodos para la acción del objeto de estudio	30
2.3.1. Proceso de extrusión	30
2.3.2. La máquina extrusora	31
2.3.2.1. Funciones de una máquina extrusora	32
2.3.2.2. Técnicas de extrusión	32

2.3.2.3.	Elementos básicos de la extrusora.....	33
2.3.3.	Enfriamiento del plástico fundido	36
2.3.4.	Definición de términos	37
2.4.	Marco normativo legal	38
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		39
3.1.	Metodología de investigación	39
3.1.1.	Método de investigación	39
3.1.2.	Diseño de investigación.....	39
3.1.3.	Muestra de estudio	39
3.2.	Variables de la investigación	39
3.2.1.	Variables dependiente	39
3.2.2.	Variable independiente	40
3.3.	Lugar de ejecución	40
3.4.	Método de diseño y ensamblaje de la extrusora	40
3.4.1.	Diseño del husillo	43
3.4.1.1.	Características del Tubo o camisa	45
3.4.2.	Modelo de la tolva	46
3.4.3.	Selección del motorreductor y ensamblado de la máquina extrusora	47
3.4.4.	Programación de la caja de Control.....	48
3.4.4.1.	Ensamblado de la caja de control.....	49
3.4.4.2.	Automatización de las condiciones de la temperatura de extrusión.....	49
3.4.4.3.	Funciones del microcontrolador	52
3.4.4.4.	Ejecución de la orden programada.....	52
3.5.	Proceso de obtención del plástico PET.....	55
3.5.1.	Procedencia del Plástico a ser utilizada en la investigación.....	56
3.5.2.	Proceso de reciclaje del plástico PET	56
3.6.	Procedencia de la arena fina a ser utilizada en la investigación	58
3.8.1.	Características del adoquín	60
3.8.2.	Proceso de moldeado y enfriamiento del producto	61

3.8.3.	Parámetros que se controlaron en el proceso de la extrusión.....	61
3.9.	Evaluar las propiedades de resistencia a la compresión de los adoquines	62
3.10.	Análisis estadístico	62
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		63
4.1.	Resultados del diseño de la extrusora de adoquín	63
4.1.1.	Resultado de las temperaturas empleadas durante la extrusión	63
4.2.	Resultados de los parámetros controlados	64
4.3.	Resultados de la prueba de laboratorio	65
4.3.1.	Ensayo de resistencia a compresión	65
4.4.	Análisis estadístico	65
4.4.1.	Diseño estadístico	65
4.4.2.	Análisis de varianza (ANOVA)	66
4.4.3.	Comparación múltiple (Duncan) promedio de las resistencias a la compresión por diseño de mezcla PET – Arena.....	67
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
5.1.	Conclusiones.....	71
5.2.	Recomendaciones.....	72
Referencias		73
Anexos		76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los tipos de plásticos reciclables a nivel mundial según el sistema (SPI) Sociedad de Industrias de Plástico	22
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del plástico para ser reciclado PET	24
Tabla 3. Grado de cristalinidad de las mezclas de Reciclado de Tereftalato de Polietileno (RPET) y PET virgen.	25
Tabla 4. Propiedades de la arena fina	28
Tabla 5. Resistencia a la compresión del adoquín NTP 399.611.2017	29
Tabla 6. Materiales para el ensamblado de la extrusora	42
Tabla 7. Equipos para el ensamblado de la extrusora.....	42
Tabla 8. Partes y dimensiones del husillo	45
Tabla 9. Materiales para el ensamblado de la caja de control.....	49
Tabla 10. Datos obtenidos de la calibración de temperaturas	51
Tabla 11. Resistencia fija.....	51
Tabla 12. Cantidad de pruebas realizadas.....	60
Tabla 13. Condiciones de temperatura programada que se trabajó para el PET	63
Tabla 14. Resultados de los parámetros controlados.....	64
Tabla 15. Resultado del ensayo de resistencia a compresión de adoquines.....	65
Tabla 16. Prueba de normalidad	65
Tabla 17. Homogeneidad de varianza	66
Tabla 18. Análisis de varianza para el tratamiento de resistencia	66
Tabla 19. Media para grupos homogéneos.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva calorimétrica de los polímeros (UPV, 2011).....	26
Figura 2. Zonas del husillo.....	32
Figura 3. Representación esquemática de una extrusora de plástico (Groover, 2007)	34
Figura 4. Diagrama de flujo del diseño y ensamblado de la extrusora	41
Figura 5. Partes del husillo (Groover, 2007).....	43
Figura 6. Dimensiones del modelo de la tolva.....	46
Figura 7. Altura de la tolva	47
Figura 8. Diagrama de flujo de la programación de la caja de control	48
Figura 9. Simulación del comportamiento de la temperatura con el uso de calentadores.	54
Figura 10. Diagrama del flujo del proceso de obtención de PET	55
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de extrusión	59
Figura 12. Media de los resultados de resistencia a compresión	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño de la extrusora	77
Anexo 2. Circuito eléctrico del controlador de temperatura	79
Anexo 3. Dimensiones del adoquín.....	81
Anexo 4. Constancia de ensayo de laboratorio	82
Anexo 5. Panel fotográfico	84

SÍMBOLOS USADOS

ASTM	:Asociación Americana de Ensayo de Materiales
CEVE	:Centro Experimental de la Vivienda Económica
GUI	:Constructor de Interfaz Gráfica
HP	:Horse Power (Caballos de fuerza)
IDE	:Entorno de Desarrollo Integrado
JICA	:Agencia de Cooperación Internacional del Japón
MINAM	:Ministerio del Ambiente
NTP	:Norma Técnica Peruana
NTC	:Coeficiente Negativo de Temperatura
ONG	:Organismo no Gubernamental
ohm	: ohmio
PET	:Tereftalato de Polietileno
RPET	:Reciclado de Tereftalato de Polietileno
rpm	:Revolución por minuto
SIGERSOL	:Sistema de Información para la Gestión de los Residuos Sólidos
SPI	:Sociedad de Industrias de Plástico
Td	:Degradación
Tg	:Temperatura transición vítrea
Tm	:Temperatura de fusión
V	:Voltios

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es reciclar plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión. El trabajo inició con el diseño, ensamblado y operación de una extrusora monohusillo que trabajó con un motor de 1.5HP acoplado a un motorreductor de 40 rpm, posee 3 calentadores cada uno programados a temperaturas de 260, 275 y 280°C, estos son controlados por 3 sensores de temperatura mediante el microcontrolador ARDUINO MEGA 2560. Por consiguiente, en el diseño de mezcla se realizaron 4 tratamientos, las dosis fueron trabajadas en porcentajes y son los siguientes tratamientos: 100%PET, 75%PET - 25%Arena fina, 50%PET - 50% Arena y 30%PET – 70%Arena; el plástico se trituró a un tamaño menor de 10mm y se realizó una mezcla previa con la arena fina ambos materiales estuvieron secos antes de colocar a la extrusora. Se realizó el moldeo de los adoquines y enfriamiento a temperatura menores de 10°C; posteriormente se realizó el ensayo de resistencia a compresión, en total 20 adoquines, con 5 repeticiones por cada tratamiento. Los resultados se analizaron con la prueba de Análisis de varianza (ANOVA) con el Diseño Completamente al Azar (DCA) para determinar las diferencias en las medias con relación a los tratamientos. Los resultados indican que el cuarto tratamiento (30%PET – 70% arena) mostró el valor más alto de resistencia a compresión con 220.6 kg/cm² soportando así la mayor carga y esfuerzo de la prensa antes de la deformación y fractura del adoquín.

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

ABSTRACT

The objective of this research work is to recycle plastic (PET) for the preparation of paving stones through the extrusion process. The work began with the design, assembly and operation of a single-screw extruder that worked with a 3 HP motor coupled to a 40 rpm geared motor, has 3 heaters each programmed at temperatures of 260, 275 and 280 ° C, these are controlled for 3 temperature sensors using the ARDUINO MEGA 2560 microcontroller. Therefore, in the mix design 4 treatments were performed, the doses were worked in percentages and are the following treatments: 100% PET, 75% PET - 25% Fine sand, 50% PET - 50% Sand and 30% PET - 70% Sand; The plastic was crushed to a size smaller than 10mm and a pre-mix with the fine sand was made, both materials were dry before placing the extruder. Cobblestone molding and cooling to temperatures below 10 ° C were performed; Subsequently, the compression strength test was performed, in total 20 pavers, with 5 repetitions for each treatment. The results were analyzed with the Variance Analysis test (ANOVA) with the Completely Random Design (DCA) to determine the differences in the means in relation to the treatments. The results indicate that the fourth treatment (30% PET - 70% sand) showed the highest value of compressive strength with 220.6 kg / cm² thus supporting the highest load and effort of the press before deformation and fracturing of the paving stone.

Keyword: Paver, extrusion, recycling PET and fine sand.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Descripción de la situación problemática

“El crecimiento poblacional genera el uso de grandes cantidades de plástico cada año y la mayoría de las cosas están hechas de plástico tereftalato de polietileno (PET), su uso aumenta en todo el mundo, los esfuerzos por recoger y reciclar no logran continuar al ritmo del consumo.

Según la investigación 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 miles de millones de unidades y su Tasa de Crecimiento Anual Compuesto (TCAC) que es de 3.8% desde el 2015 hasta el 2020.

“En el Perú, casi 950 mil toneladas de plástico se consumen al año; del cual el 56 % de los residuos plásticos que se generan terminan en un relleno sanitario, mientras que el 43 % llega a botaderos y termina en ríos y en el océano. Solo el 0.3 % es reinsertado en la cadena productiva a través del reciclaje de acuerdo a las cifras del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018). Además, Jacobo Escrivá jefe de la unidad de reciclado de San Miguel Industrias empresa peruana que posee tecnologías de reciclaje, indica que el reciclaje es muy poco y no continúa al ritmo del consumo.

Según el informe, publicado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) mediante la página del SIGERSOL en el “Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales: Gestión 2010-2011”, muestra que la sierra tiene mayor generación de plástico con el 11.21%.

En el Informe Anual del 2018, del “Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos” SIGERSOL (2019), menciona lo siguiente: en el distrito de Juliaca Provincia de San Román se generó 1170 Tn/año de residuos plástico 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 que pasa con el 21% de residuo PET, pues sigue siendo un problema para la sociedad y el medio ambiente, encontrándose en los botaderos, en los ríos, canales, canaletas de alcantarillado, pozos, cerros y otros son incinerados.

También la actividad de los miles de recolectores de plásticos está limitada por la falta de un mercado de reuso de PET, es momento de desarrollar un mercado más amplio de reciclaje, innovar procesos para cambiar la estructura del objeto y volver a crear otro a partir del material.

1.2. Justificación

El presente trabajo busca reciclar plástico tereftalato de polietileno (PET) como materia prima para la elaboración de adoquines ya que este producto es muy utilizado en la actualidad, es por eso que se busca que los productos más utilizados tengan en su composición materiales reciclados y con esto se busca mitigar la gran cantidad de residuos plástico PET que generamos de forma constante y aplicando un proceso de transformación tecnológica que tiene varias ventajas que la hacen atractiva desde el punto de vista económico y ambiental, como es la “extrusión”.

En el proceso de extrusión que es el medio por el cual se da la transformación del plástico en su entorno se utiliza la programación digital microprocesador de Arduino de código abierto (IDE), esto indica que es libre de uso a disposición de todos, y como estudiantes tenemos acceso a este recurso, por tanto podemos realizar el control eficiente

y automático de la temperatura de fusión del polímero, estas son las preeminencias de usar el microprocesador sobre todo el costo de todos sus módulos de sensores son económicos.

Para Llorca et al. (2016), “incorporar el plástico PET en el proceso distinto y constructivo, es un aprovechamiento total, por lo que las alternativas de reciclaje y reutilización de residuos dentro de las estrategias de aprovechamiento y valorización son mucho más viables económica y ambientalmente”.

Mientras tanto Gaggino, Arguello, & Berretta, (2009) han logrado obtener elementos constructivos utilizados a partir de materiales plásticos reciclados, como componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica suficiente para cumplir la función de cerramientos lateral de viviendas realizados patentados en el “Centro Experimental de Viviendas económicas de Córdoba Argentina”. (CEVE)

Hoy en día vemos construcciones de menor a mayor escala, todos estos explotan el recurso del agua para su producción, en cambio en este proyecto el agua no es imprescindible para su elaboración, esto por razones que en algún momento este líquido vital llegue a un déficit total, es cuando ninguna industria se moverá incluido el de la construcción. Por ello hace falta métodos de producción ecológicos para la industria más álgida de los últimos años.

Con la aplicación de este método de trabajo podemos decir que existe una creciente concientización sobre la más necesaria racionalización de los recursos dentro de un escenario global con verdaderos problemas para gestionar la ingente cantidad de desechos plásticos generados por el crecimiento poblacional.

1.3. Presuposición Filosófica

Las actividades que efectúan cada ser humano está afectando la salud del planeta como nunca en la historia, cuanto más peligrosos se vuelven los problemas de generación de residuos sólidos, mayores son los esfuerzos de los científicos, gobiernos y grupos industriales por hallar una solución.

En el libro de Proverbios 3:19, se menciona: “Con sabiduría el señor fundó la tierra, Afirmó los cielos con inteligencia” (Reina Valera, 2000). Las acciones normales del hombre generan cierto grado de residuos inorgánicos; por tal razón, “Dios implantó con sabiduría ciclos naturales que se encargan de procesarlos, manteniendo así limpios el aire, el agua y el suelo”. Consecuentemente, nuestros hechos deben armonizar con tales procesos. Deberíamos procurar no contribuir innecesariamente a la crisis medioambiental; de esta forma demostramos que amamos al prójimo como a nosotros mismos; esta lección está ilustrada en Marcos 12:31 “Él la creó, y nos pertenece a nosotros porque nos la delegó”. Esto no expresa que nos la haya traspasado, renunciado a sus derechos sobre ella, sino que nos dio la responsabilidad de salvaguardar, trabajar y preservar la tierra en su nombre.

Aunque reciclar admite un esfuerzo extra, pone de manifiesto nuestro deseo de tener un planeta limpio.

Tomar conciencia de la importancia del trabajo ecológico; ante el extendido deterioro ambiental, no se puede seguir consumiendo en exceso sin tener moderación, en cambio se debe favorecer nuevos programas e iniciativas con tecnología limpias a favor de un mejor cuidado de la tierra.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Reutilizar plástico (PET) en la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y ensamblar la extrusora.
- Seleccionar plástico PET para el proceso de extrusión.
- Determinar la mezcla óptima de PET y arena fina.
- Evaluar la resistencia a compresión del adoquín de PET y arena fina.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Resultados anteriores de investigación relacionados al objeto de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

García, et al., (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 – 250 KJ/m².

(Martínez, Fernández, Álvarez, García, & Martínez, 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 es de 60% aserrín y 40% PET con 285.5 Kg/cm² trabajando a 240, 260 y 270°C.

Según la investigación realizada por Maure, et al., (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 y quede estable, esto les permitió comprobar y obtener un producto con resistencia mecánica de 40.4KN aplicada al material de forma axial en toda la superficie. En este trabajo mencionado tuvieron limitaciones e impedimentos por la falta de una máquina de proceso industrial de alta capacidad para realizar todo el proceso.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la ciudad de Lima la empresa Paraíso, está reciclando todos los tipos de plásticos y en su mayor porcentaje bolsas de uso común estos mismos que están excediendo con su presencia en todos los rincones de nuestro país. El objetivo del proyecto fue transformar el plástico mediante la extrusión, y así poder obtener productos para la construcción con valor agregado como son: ladrillos y adoquines, obteniendo buenos productos, por lo que con los mismos adoquines iniciaron la colocación en los pisos de la planta Paraíso (2019).

Según (Mansilla & Ruiz, 2009), el objetivo de su trabajo fue el reciclaje mecánico orientado a la producción de fibra corta de poliéster; hicieron la molienda en hojuelas de PET transparente, lavado, secado mediante un ventilador para tener libre de humedad; posteriormente se procedió con el siguiente paso que constó de la preparación de una solución viscosa, luego del fundido mediante una extrusora o tobera para formar fibra, finalmente se dio con el enfriamiento y endurecimiento en contacto con la temperatura ambiental, obteniéndose como resultado fibra apto para la industria de la textilera.

2.2. Fundamentos del objeto de estudio

2.2.1. Tipos de los plásticos

Existe dos clases principales en el mundo de los plásticos:

Termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos son los plásticos que se pueden reciclar, pueden ser derretidos en forma líquida y ser moldeado múltiples veces. Piensa en la mantequilla, es cremosa y puede ser derretida y enfriada muchas veces y tomar diferentes formas. Así son los termoplásticos. Agradecemos que la mayoría de producción global está hecha de termoplásticos.

Los termoestables pueden ser derretidos y cambiar de forma solo una vez. Una vez que se han endurecido mantienen su forma sólida para siempre. En el proceso de los termoestables, ocurre una reacción química que es irreversible “Fundamentos de la manufactura moderna” Groover, (2002). Los termoestables son parecidos al pan, cuando

llega a su estado final cualquier adición de calor lo llevaría a quemarse. por lo tanto, se nos hace viables trabajar exclusivamente con los termoplásticos. Así que cuando se menciona la palabra plástico PET se refiere a un termoplástico.

2.2.2. Tipos de plástico termoplásticos

Se subcategorizan en 7 clases diferentes. Cada tipo tiene componentes químicos diferentes, con propiedades y aplicaciones a las que se les da un número llamado códigos de la “Sociedad de Industrias del plástico” (SPI) para así diferenciar unas clases de las otros. Hoy, la mayoría de las fábricas ponen el código SPI en la parte inferior de sus productos.

Los polímeros reciclables son aquellos que, por su composición interna, formada por cadenas lineales, se desarmen fácilmente con el calor y se reconstruyen al enfriarse, no pierden sus propiedades, logran derretirse y vuelven a introducirse en las fábricas muchas veces.

Tabla 1. *Clasificación de los tipos de plásticos reciclables a nivel mundial según el sistema (SPI) Sociedad de Industrias de Plástico*

Nombre	Símbolo	Clave
Polietileno de tereftalato (PET)	(PET)	1
Polietileno de alta densidad	(HDPE)	2
Cloruro de polivinilo	(PVC)	3
Polietileno de baja densidad	(LDPE)	4
Polipropileno	(PP)	5
Poliestireno	(PS)	6
Otros		7

Fuente: (SPI & ASTM, 1980)

Esta clasificación también indica, que conforme sube la numeración va aumentando la dificultad en los procesos de reciclaje según (Parthasarathy & Sbarki, 2007).

2.2.3. Principales características del Tereftalato de Polietileno (PET)

La selección exclusiva del tipo de plástico es el Tereftalato de Polietileno (PET), se opta debido a que se puede modificar varias veces con fuerzas mecánicas o caloríficas, haciéndolo un plástico 100% reciclable. El PET se puede inyectar, extruir, laminar y soplar, es uno de los plásticos favoritos de la industria, principalmente de envases.

Se derrite con el calor y se solidifican al enfriarse, pudiéndose moldear a nuevas formas que se fijan y quedan estables al enfriarse. Es debido a que las macromoléculas están unidas por débiles fuerzas que se rompen con el calor.

Fórmula molecular del Tereftalato de Polietileno PET según: $(C_{10}H_8O_4)_n$

El método de reciclado que se va a aplicar es el mecánico, que hace productos diferentes a los envases. Se encuentra materiales como envases de gaseosas, aceites, agua mineral, cosméticos, envases de (mayonesa, salsa, etc.), películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera (productos alimenticios), envases al vacío, bolsas para hornos, bandejas para microondas, cintas de video y de audio, geotextiles (pavimentación caminos), capas radiográficas.

Es recomendable NO mezclar el PET con otros tipos de polímeros y mucho menos con el Cloruro de polivinilo (PVC) porque una pequeña cantidad de PVC puede contaminar grandes cantidades de PET dispuesto para su reciclado por su diferente temperatura de fusión o ablandamiento. El PVC y el PET no pueden ser separados por micro selección o por flotación, puesto que ambos plásticos poseen una densidad superior al agua (Cecar, 2012).

Tabla 2. *Propiedades físicas y químicas del plástico para ser reciclado PET*

Propiedades	Tereftalato de Polietileno PET
Densidad bruta	520 kg/m ³ <> 0.52 g/cm ³
Densidad Neta	1400 kg/m ³ <> 1.4 g/cm ³
Módulo de Young	2800-3100 Mpa
Absorción de agua	0.2 % (24 horas)
Resistencia a la tracción	900 kg/cm ²
Resistencia a la tensión	0.60 - 0.74 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	260 / 480 kg/ cm ²
Resistencia al calor	80 - 120 °C
Resistencia flexión	1450 kg/cm ²
Conductividad térmica	0.25 Kcal/mh °C
Viscosidad	0.75 dL/g

Fuente: (Martínez & Cote, 2014) además indica que las propiedades del PET solo se pierden cuando se mezcla con otros materiales que pueden ser otro tipo de plástico, aditivos u otros. Por lo que sus características nos dan la seguridad para introducir o fabricar otros productos en otras áreas de la industria.

La temperatura tolerable por el PET sin deformación ni degradación alcanza a soportar hasta los 71°C, pero el PET cristalizado propiamente las botellas de plásticos que conocemos alcanza a resistir temperaturas hasta 230°C, según (Mariano, 2011). Se debe tomar en cuenta que este material en la extrusión se trabaja a temperaturas superiores de 250° C, siendo el punto de fusión 260° C del PET y otra de sus propiedades más destacadas es que siendo un termoplástico y como tal es un producto químicamente inerte y sin excesos en aditivos. Estas características significativas le hacen apropiado y fácil con el reciclado en máquina, con equipos cristalizadores y también es posible el reciclado en plantas de recuperación de energía.

Los gases que emite durante la fusión son esencialmente limpios, debido a que el “PET cristalizado no contiene halógenos, sulfuros, u otros materiales de difícil eliminación” (Groover, 2002).

Tabla 3. *Grado de cristalinidad de las mezclas de Reciclado de Tereftalato de Polietileno (RPET) y PET virgen.*

Porcentaje de contenido de PET reciclado %	Temperatura de fusión (°C)
100% PET virgen	250.0
90% PET virgen 10% RPET	250.0
80% PET virgen 20% RPET	249.8
70% PET virgen 30% RPET	249.9
50% PET virgen 50% RPET	249.7
100% RPET (grado alimenticio)	251.2
100% RPET (grado fibra)	251.6

Fuente: (López, 2016).

Colocar el material reciclado en mayor proporción a la hora de reciclar incrementa significativamente la temperatura de recristalización, siendo el PET 100% reciclado el valor que posee es el mayor que se muestra en la tabla 3. “A elevada temperatura, la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad del PET virgen son más altos los valores que del PET reciclado y sus mezclas”. Esto manifiesta que las propiedades mecánicas de las mezclas de PET virgen/reciclado son menores a los materiales vírgenes (SPI & ASTM, 1980).

Los polímeros se caracterizan por una concordancia de resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico, una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes Anda (2005).

2.2.3.1. Comportamiento térmico de un polímero cristalino

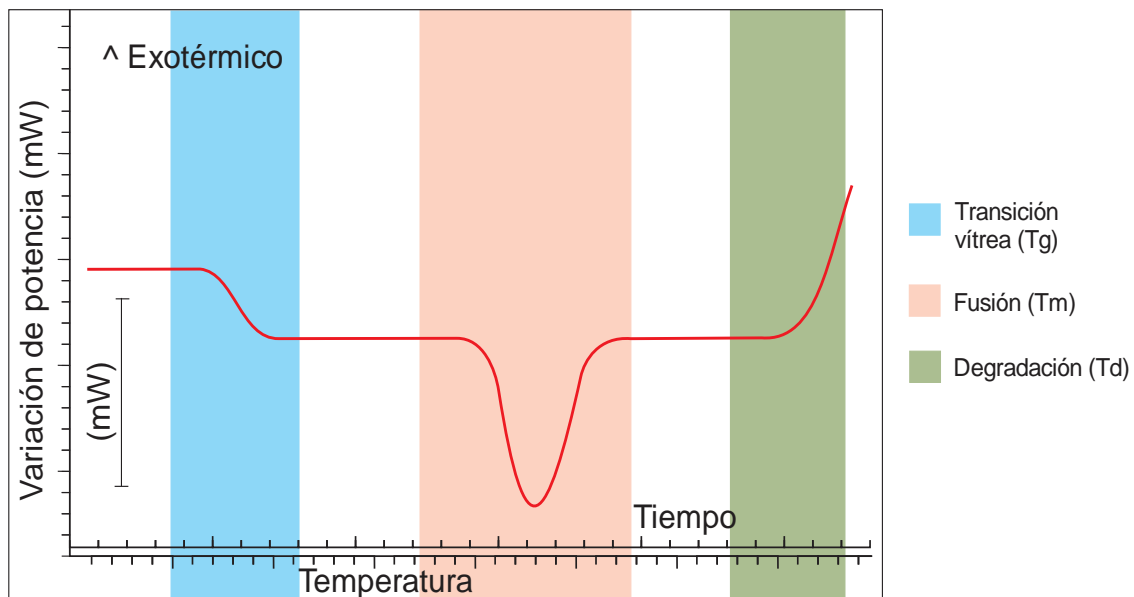


Figura 1. Curva calorimétrica de los polímeros (UPV, 2011)

Temperatura de Transición vítrea (Tg): Este fenómeno es el intervalo donde inicia el cambio o ablandamiento del polímero. Según el (JICA, 2014, p. 167), “el polímero PET posee una temperatura de transición vítrea (tg) de 70 – 80 °C presentando un aspecto elástico”.

Temperatura de fusión (Tm): La parte cristalina se convierte rápidamente en líquido, incrementando el volumen y la temperatura de fusión de “250°C- 275°C”, teniendo un aspecto líquido (Groover, 2007, p. 690).

Degradación (Td): Este fenómeno sucede cuando al sobrepasar la temperatura de fusión de cristales, hace una rápida transición a la degradación o fenómeno exotérmico ocurriendo un cambio de líquido a gas, algo así como si se estuviera quemando.

- **Las propiedades de inflamabilidad del PET**

El PET no continúa ardiendo cuando se le aleja de la llama, es auto extinguido, esto indica que no es inflamable porque posee un índice de oxígeno del 20%; la concentración de oxígeno en el ambiente es de 21%, por lo tanto, los materiales con el índice de oxígeno

mayor a 22% son inflamables según lo revisado por la “Federación de la Industria de Plásticos de Japón” (JICA, 2014).

Además, el polímero PET en contacto directo al fuego tiene emanación de humo, es por ello que no se debe colocar directamente, además se hace negro posterior a la quema o se hace blanco, esto indica la dificultad para inflamarse según (Química & Ilustrada, 1999, p. 174).

Sin embargo, mediante el proceso de extrusión la emisión que genera es una pequeña cantidad de aroma ya que el pH, del gas producido por este método es una indirecta desintegración térmica del polímero, y por lo tanto se ha determinado que el PET tiene un gas neutro, pero se debe tener precaución ya que de alguna forma contiene componentes volátiles del solvente, aditivos y rellenos (Química & Ilustrada, 1999, p. 174).

2.2.4. Reciclaje del plástico para elaborar adoquines

Reciclaje es toda actividad que permite reaprovechar un residuo mediante un proceso de transformación material para cumplir su fin inicial u otros fines Según la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 en concordancia con el D.L. N° 1278.

Para enfrentar este problema se requiere una política pública de largo plazo, por ello actualmente el Ministerio del Ambiente (MINAM) es el ente rector de los residuos sólidos que tomó el liderazgo con el Programa Perú Limpio, siendo este la Política del MINAM para el reciclaje del plástico, y desde luego ya se están trabajando con el consorcio “*Recíclame*” proyectos piloto en Lima y Arequipa, para promover la valorización de residuos con participación de recicladores que son clave para que la cadena de valor del reciclaje funcione (MINAM, 2018).

El 18 de abril de 2018 llevado cabo en Lima el I Congreso Internacional de la Industria Plástica, donde participó el MINAM presentó las políticas de la institución respecto al reciclaje del plástico. Durante el congreso organizado por el Comité de Plásticos de la

Sociedad Nacional de Industria (SNI), también se abordaron temas como las “Tecnologías de punta en máquinas de transformación del plástico” (MINAM, 2018).

2.2.5. Características de la arena fina

La arena fina es un material ampliamente utilizada en diferentes áreas de la industria de la construcción a nivel universal. Es un recurso natural no renovable y es explotada por sus características físicas mecánicas y químicas magníficas.

La arena natural está constituida por fracciones de roca límpidos, duros, macizos, durables. “No debe contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos que son perjudiciales según la norma E.060”.

Tabla 4. *Propiedades de la arena fina*

Propiedades	Arena fina
Composición	SiO ₂
Densidad	1500 kg/m ³
Punto de fusión	1700 °C
Inflamabilidad	No inflamable

Fuente: Loizaga & Suarez, (2008)

2.2.6. Características de los adoquines

Según la Norma Técnica Peruana (NTP). 399.61.2010 sobre “Unidad de albañilería”, los adoquines son un bloque cocido de arcilla, sílice-cal o de concreto que tiene las dimensiones y el peso adecuadas para la fácil manipulación manual.

Los adoquines de concreto elaborados de acuerdo a la NTP 399.61.2010, son de tres tipos como se menciona:

Tipo I: “Adoquines para pavimentos de uso peatonal”

Tipo II: “Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero”.

Tipo III: “Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores”.

El adoquín tipo I se encuentra en pavimentos peatonales como travесías, parques, villas, boulevard, pavimentos vehiculares ligeros, etc. Es muy popular por todo el mundo debido a sus múltiples aplicaciones en: andenes, zonas peatonales, plazas, calles, avenidas y en pequeñas comunidades.

La resistencia de los adoquines necesariamente debe ser mayor para aguantar la abrasión debido al tránsito constante, que, para no partirse bajo las cargas, además el desgaste ocasionado en los adoquines por el paso de personas o animales es mayor que el de los vehículos.

La importancia de la prueba es porque el producto (adoquín) está a sujeto a cargas y esfuerzos. Ya que estos deben tener las propiedades de ductilidad, resistencia a la compresión. Ligereza, entre otros para cumplir especificaciones de uso Berreta et al., (1971).

Para conocer la resistencia que tiene el adoquín, se toma en cuenta el diseño y las dimensiones del adoquín, de acuerdo a ello se da el uso en superficies donde circulen personas, automóviles, etc.

Tabla 5. *Resistencia a la compresión del adoquín NTP 399.611.2017*

Tipo	Grosor	Valor por Unidad	Valor promedio de 3 unidades
Tipo I	6	28 Mpa	31 Mpa
Tipo II	8	-	37 Mpa
Tipo III	10	-	41 Mpa

Los adoquines de buena calidad para la superficie de pavimentos al menos duran 40 años, manteniendo su apariencia por ser la parte visible del pavimento.

2.3. Métodos para la acción del objeto de estudio

2.3.1. Proceso de extrusión

Esta técnica es cada vez más esgrimida en la transformación, por su versatilidad en la elaboración de nuevos productos y a su eficacia, tanto productiva como energética. Por lo tanto, esto requiere un enfoque muy ameno y la necesidad de poseer, revelar mayor conocimiento de los fenómenos físicos y químicos de los componentes principales involucrados en esta técnica que afectaran las características de calidad finales del producto.

El proceso de extrusión es la acción de hacer pasar un polímero o material fundido de consistencia gomosa, por medio de la presión, a lo largo de un tornillo simple más conocido como husillo.

La parte más importante es el husillo que se ajusta con presión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar, la maquina se alimenta de un extremo y en el otro extremo sale el material fundido y homogenizado para ser sometido a un moldeo o en otros casos ya sale perfilado.

El husillo es un tornillo que cumple la función de transportar, mezclar y comprimir al material dentro del cilindro, el husillo debe estar muy bien pulido para evitar que la masa se pegue y termine rotando junto con el husillo (Rosato, Rosato, Mattia, & D., 2004).

Las ventajas de la extrusión son interesantes, porque tiene buena flexibilidad para cambios de productos, el costo de la maquina es inferior a otros procesos, alta productividad, se puede utilizar para gran variedad de materiales; pero dentro de sus desventajas para considerar esta que se debe tener el control muy preciso de la temperatura en el caso de termoplásticos según (Gutiérrez & Vargas, 2017).

2.3.2. La máquina extrusora

“Es una herramienta de innovación para la industria del reciclaje, para la tecnología constructiva se considera apropiada porque no requiere grandes gastos de energía, por lo que un panel solar tranquilamente sería la fuente de energía, no causa desechos ni contaminación, es climáticamente aceptable, segura frente a inclemencias de tiempo y peligros naturales, emplea fuerza laboral local tanto para la producción como para el mantenimiento y reparación, resulta socialmente aceptable, usa materiales locales (abundantes, renovables, disponibles, de poco peso y fácil manipulación, durables y de calidad), es socialmente aceptable, evita herramientas o equipos de alto costo, requiere baja especialización, fácil aprendizaje, ... y tiene escasa incidencia sobre el medio” Sutz (2004).

“La adopción de tecnología innovadoras puede ayudar a aumentar la eficiencia y la productividad en la industria de la gestión y del reciclaje de residuos, con la consiguiente reducción de los costos de mano de obra, transporte y daño medioambiental”. En este sentido nos encauzamos en el potencial ecológico de esta tecnología el cuál sería el óptimo a escala más ecológico dentro del rango productivo de la fabricación aditiva. En efecto esta vez se hará enfocado en las posibilidades que nos brinda el reciclaje de materiales del plástico.

Puede crear bienes únicos y estar en constante trabajo. Técnicamente si tienes suficiente plástico y un proceso de racionalización organizado, podrías poner esta máquina a funcionar 24 horas durante los 7 días de la semana. “Con la máquina extrusora se pueden crear diversos objetos se puede trabajar creativamente con moldes”. Esta máquina del mismo modo es muy buena como propósito pedagógico, ya que es una máquina muy versátil y comprensible (García C. , 2015).

Trabajar con la extrusión ya sea a pequeña, mediana o a gran escala y con el reciclaje de residuos tiene un impacto significativo, actualmente las industrias apuestan por las tecnologías limpia aquella que permite disminuir los residuos que se genera durante el procesamiento y optimizando las materias” (Cardona, 2006).

2.3.2.1. Funciones de una máquina extrusora

La extrusora cumplen diversas funciones, dependiendo al objetivo específico definido para su acción. En general, las principales funciones son:

- Acoger y recopilar el polímero
- Trasladar el material sólido
- Calentar y comprimir el polímero.
- Homogenizar los materiales
- Generar la presión necesaria para la obtención del producto final.
- Extruir el semielaborado.

2.3.2.2. Técnicas de extrusión

En general las distintas técnicas para extruir los polímeros son las siguientes:

* **Extrusión con un solo husillo**

Según el texto de plástico del “Instituto de Investigaciones Técnicas de la Ciudad de Osaka” (2009), por su mecanismo de operación, el husillo se divide en:

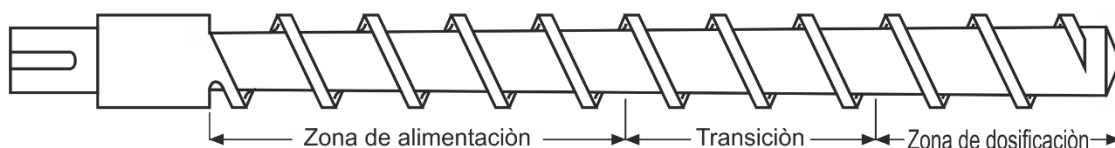


Figura 2. Zonas del husillo

1. **Zona de alimentación;** Enviar el material desde la tolva hacia el interior del husillo, y la elevación de la temperatura.
2. **Zona de transición;** En esta sección se funde y ocurre la mezcla del material lo compone el cilindro el tornillo y las resistencias eléctricas.

3. **Zona de dosificación;** Expulsa el material la cantidad fundida lo compone el cabezal y la boquilla.

Además, la presurización, homogenización. dispersión y distribución se producen a lo largo de todo la extrusora.

* ***Extrusión sin husillo***

Estas extrusoras utilizan bombas y extrusores de disco en lugar del husillo.

* ***Extrusión de múltiples husillos***

Proporciona mayores esfuerzos cortantes relativamente altos y mezclado intensivos, es decir es un proceso demasiado agresivo.

2.3.2.3. Elementos básicos de la extrusora

Los elementos básicos son:

- ***Motor***

Las fuentes de energía de una extrusora pueden variar, desde un eléctrico hasta un hidráulico.

- ***Motorreductor***

Es utilizado para reducir la velocidad de rotación del husillo, además para evitar el transporte acelerado, mientras más rápido se transporta el material, menos eficiente es el mezclado. “Las extrusora que se diseñan pueden operar con plásticos entre 10 a 500 rpm para procesar plástico PET, según su tamaño y pueden proporcionar caudales de 2000 kg/h de material” (Beltrán & Marsilla).

- ***Tolva***

La tolva se coloca en la parte de la alimentación, permite una dosificación ordenada y homogénea del material, el tamaño varía dependiendo de su aplicación o cantidad, desde el diseño de nivel de laboratorio a escala industrial citado por Biswas & Davenport, (1994).

- **Husillo**

Es la parte principal, y se opera a diferentes velocidades según sea el plástico que vaya utilizar, cumple funciones de transporte, mezclado y otros más, la forma espiral que tiene le permite realizar dichas funciones.

Sus alabes o filetes, recorren el husillo y son los verdaderos impulsores del material a través del cilindro las dimensiones y formas que estos tengan, determinara el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa.

- **Tubo metálico**

Se le denomina a un barril donde se mete el husillo y está hecho de acero con tratamiento anticorrosivo y anti-abrasivo. Se calienta con los calentadores o resistencias desde el exterior.

- **Cabezal y boquilla**

Es la pieza que facilita lo más posible el flujo del material hacia la boquilla.

“La boquilla es la de moldear el plástico fundido, las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto”.

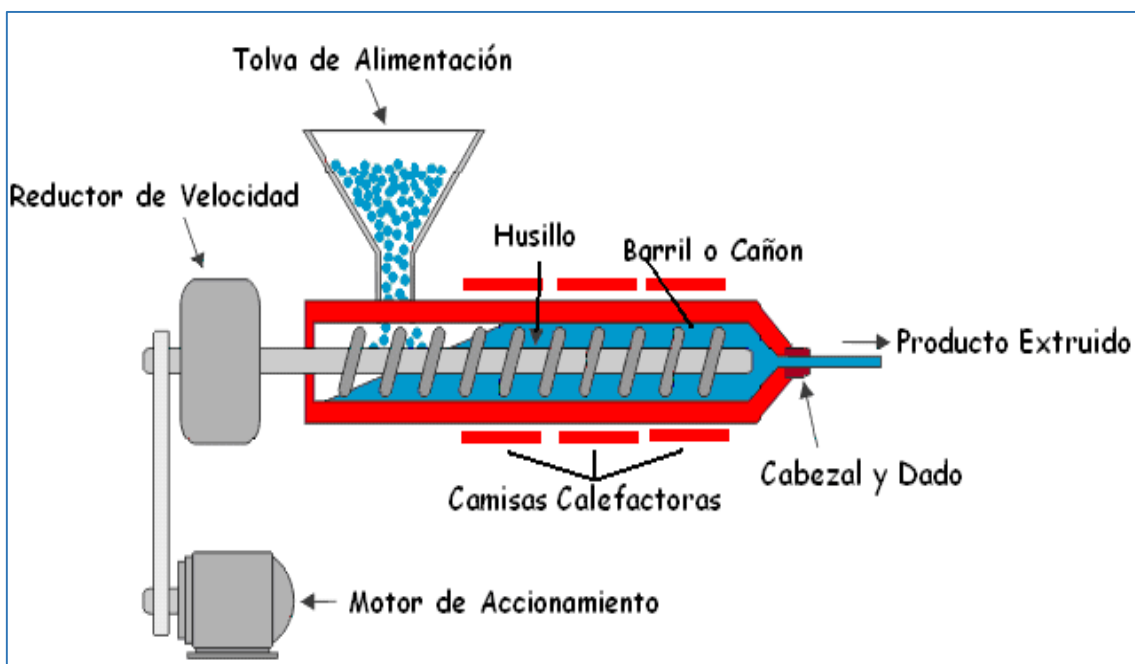


Figura 3. Representación esquemática de una extrusora de plástico (Groover, 2007).

- **Calentadores**

Son elementos que transmiten parte de la energía térmica requerida para el proceso, ya que más de un 40% de la energía necesaria para fundir el plástico se logra mediante la fricción de la materia en el interior del cilindro (CETAL, 2000).

- **Sistema eléctrico**

Toda la parte del calentamiento es controlado por un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material.

- **Microcontrolador**

De acuerdo a (García, 2005, p. 95), es un circuito compuesto que se puede programar y es capaz de ejecutar instrucciones definidas con anterioridad.

- **Arduino Mega 2560:** Se trata de una placa capaz de realizar un sin número de actividades para diferentes aplicaciones, es totalmente programable y cuenta con un sin fin de sensores llamados módulos.

Esta tarjeta está construida con un microcontrolador modelo mega2560 que brinda varias salidas, entradas digitales y analógicas, totalmente programables de código abierto.

- **Entorno de desarrollo integrado (IDE) Arduino:** Es un editor de código, un compilador, un depurador y un “Constructor de Interfaz Gráfica” (GUI) que a su vez viene equipado con herramientas para cargar el código a la memoria flash del hardware.

- **Controladores de temperatura**

Para (Ogata, 2003, p. 4), “es un instrumento que se utiliza para regular la temperatura, posee una entrada que se conecta a un sensor de temperatura, así mantener la temperatura ideal.

- **Relé:** Este controla la salida cambia solamente cuando la temperatura alcanza o supera un valor ajustado. En el caso de un control de calentamiento, la salida se

apaga cuando la temperatura supera el valor ajustado y se enciende cuando la temperatura está por debajo del valor ajustado (Maloney, 2006, p. 394).

- **Termistor 100K o sensor:** Se trata de un sensor de temperatura que sirve para controlar la temperatura de calentamiento en los calentadores, este se conecta a un microcontrolador en este caso al Arduino Mega que se encarga de mantener una temperatura constante con la ayuda de la información que recibe desde el termistor, para que la mezcla en la extrusora tenga la temperatura adecuada y así el plástico llegue a su punto de fusión sin quemarse.

2.3.3. Enfriamiento del plástico fundido

Al enfriarse el plástico fundido se produce una fuerza de contracción en la parte interna de la masa, reduciéndose el tamaño y aumentando su densidad. En el tema del polímero de tipo amorfos se contraen menos que los semicristalinos, esto porque las regiones cristalinas tienen densidades mayores que las amorfas, por lo tanto, la velocidad y homogeneidad del enfriamiento condicionan la microestructura del material (Schwarz, Ebeling, & Furth, 2003).

La contracción producida por el enfriamiento generalmente no es uniforme, esto se debe a la diferencia muy grande entre la velocidad que enfrían las zonas externas y las zonas internas de la masa o cuerpo, apareciendo así zonas hundidas, porosidades, rechupadas al contraerse en el interior del material.

Por lo tanto, las unidades de refrigeración es parte imprescindible en el proceso de extrusión, sin dejar de lado la calibración. Es por eso, cuando el material fundido emerge de la extrusora debe enfriarse inmediatamente para que conserve la forma y adquiera la rigidez necesaria. Por ello es necesario un sistema de enfriamiento, sea cual sea el sistema escogido, el enfriamiento debe ser lo más uniforme posible en toda la pieza, de modo que no existan gradientes de temperatura importantes entre puntos cercanos del

material, es decir deben ser temperaturas muy menores a la de fusión del material (Davehakkens, 2017).

Los medios de enfriamiento son diversos suelen realizarse en tanques por donde circula el agua, por medio de chorros de aire que circulan a pequeña velocidad, en otros casos empleando rodillos metálicos fríos, por el interior de los cuales circula un fluido refrigerante, aplicados de acuerdo a las líneas de producción.

2.3.4. Definición de términos

Adoquín: Pieza de plástico y arena siempre, de forma nominal, fabricada mediante una extrusora.

Diseño de mezcla: Es la elección de las proporciones de los materiales, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más apropiados y de la combinación más conveniente, con la intención de obtener un producto con las propiedades requeridas.

Extrusión de polímero: Es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de fusión del plástico que, por flujo continuo con presión y empuje, generado por la acción giratorio de un husillo se obtiene polímero fundido.

Extrusora: Es una máquina que está diseñada para trabajar bajo ciertas condiciones controladas.

Fusión: Es el cambio de estado de una sustancia pura, a la temperatura que pasa de estado sólido a líquido

Husillo: Se trata de un enrollamiento helicoidal de acero cuyo diseño es importante para su posterior uso.

Reciclaje: Toda actividad que permite reaprovechar un residuo sólido mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines.

Resistencia a la compresión: Es la relación entre la carga de rotura a compresión de un adoquín y su sección.

Tereftalato de Polietileno (PET): Es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Tereftálico y Etilenglicol, aunque también puede

obtenerse también utilizando dimetil tereftalato en lugar de Ácido Tereftálico, los cuales al polimerizar en presencia de Tereftálico, catalizadores y aditivos producen los distintos tipos de PET. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico.

Trituradora: Máquina que procesa un material de forma que produce dicho material en trozos de un tamaño menor.

2.4. Marco normativo legal

- **Constitución Política del Perú (1993).** “Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”.
- **Ley General del Ambiente - Ley N° 28611 (2005).** “El Capítulo 4 de esta Ley reconoce la importancia de la tecnología y la Educación Ambiental para el desarrollo”.
- **Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos, Ley N° 27314 (2004) modificado por el Reglamento N° 1278 (2017).** En el capítulo I, del artículo 4, en el numeral 5 indica, “Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado”.
- **Ley que Regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables – Ley N° 30884 (2018).** “Que, en el artículo 10 indica, “Obligación del uso de material reciclado en botellas de tereftalato de polietileno (PET)”.
- **Decreto Supremo N° 038-2014-SA.** “Que permite el reciclaje de botellas PET para el envase de bebidas”.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de investigación

3.1.1. Método de investigación

El método de investigación es cuantitativo se da con base en la medición numérica y el análisis mediante métodos estadísticos para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, puesto que la “manipulación y control” de las muestras o variables nos permite obtener datos representativos del experimento (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

3.1.3. Muestra de estudio

- Los especímenes de ensayo fueron adoquines con dimensiones: 6 cm de alto x 8 cm de ancho x 20 cm de largo.
- La temperatura de fusión fue de 280°C y esta se utilizó para elaborar todas las muestras.
- Se utilizó agua para el enfriamiento de todas las pruebas realizadas.
- La cantidad total de adoquines ensayadas fueron de acuerdo a la tabla 12.

3.2. Variables de la investigación

3.2.1. Variables dependiente

- Temperatura.
- Dimensiones del husillo.
- RPM del husillo.
- % de dosis de la arena fina.
- Tiempo de calentamiento.
- Humedad de la arena fina.

- Resistencia a la compresión.
- Tamaño de triturado del plástico.

3.2.2. Variable independiente

- % de dosis del Plástico PET.

3.3. Lugar de ejecución

El proyecto se realizó en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, en la urbanización praderas del inka II etapa.

3.4. Método de diseño y ensamblaje de la extrusora

Una máquina de procesamiento de plástico en principio se diseña a partir del tipo de material a trabajar, el proceso a utilizar y la forma del producto, para ello se tiene lo siguiente:

Para el diseño de la máquina extrusora se ha tomado como referencia el tipo de plástico PET usado, de acuerdo a ello se hicieron los cálculos de diseño de sus componentes como son: husillo, la tolva, tubo o camisa, motorreductor, caja de control y la mesa de soporte.

El proceso de diseño y ensamblaje de la máquina se muestra en la figura 4.



Resumen de actividades	
Actividad	Símbolo
Operación	○
Control	□
Transporte	⇒
Almacenamiento	▽

Figura 4. Diagrama de flujo del diseño y ensamblado de la extrusora

Tabla 6. *Materiales para el ensamblado de la extrusora*

Descripción	Cantidad
Boquilla de 30 mm de salida	1
Eje husillo (Broca) 1 m	1
Perfil L metal 2 x 2" de 9 m	1
Tubo de acero galvanizado de 2" x 1 m	1
Plancha metal acerado de 2mm 2 x 2 m	4
Chumacera	2
Cable vulcanizado 14 AWG 6 m	1
Tornillos 3 cm x 8 mm	24
Aisladores cerámicos	200
Cables jumper hembra-macho	15
Tomacorrientes industriales	2
Electrodo 6011	5 kg
Discos de corte 7"	15
Disco de desgaste 7" y 4"	2
Broca de 20mm, 15mm, 10mm, 4mm	20
Lijar para metal de 80, 11/2 y 120	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. *Equipos para el ensamblado de la extrusora*

Descripción	Cantidad
Motor monofásico 1.5HP	1
Motorreductor	1
Máquina de soldar DW250 MMA Daywo	1
Taladro CT10066 Crown	1
Amoladora CT13009 Crown	1
Guantes antiestáticos	4
Balanza digital	1
Lentes	2
Casco de soldador	1

Fuente: elaboración propia

3.4.1. Diseño del husillo

Por las condiciones de operación, los factores químicos y mecánicos, que afectarían la pieza, al analizaron diferentes opciones se optó por seleccionar una broca de acero marca Bosch de 32 mm de diámetro por 110 mm de longitud.

Para obtener y adecuar los filetes del husillo de acuerdo al diseño, se necesitó la ayuda de una máquina de tornería que tiene la capacidad de realizar este tipo de trabajo, en el diseño del husillo se vio la variación del espaciamiento de los hilos que presentan 3 tipos, estas variaciones se realizaron cada 25 cm, dichas variaciones se refieren a la zona de alimentación, la zona de transición y la zona de dosificación hacia la boquilla.

Las 3 zonas se disponen de la siguiente manera, dispersos en la primera parte para el adecuado transporte del material, más ceñidos por la mitad para la compresión del material con la finalidad de eliminar las burbujas de aire que afectarían la calidad del material imprimido, en la parte final los filetes del tornillo son más ceñidos con la finalidad de expulsar con mayor presión el material hacia la boquilla.

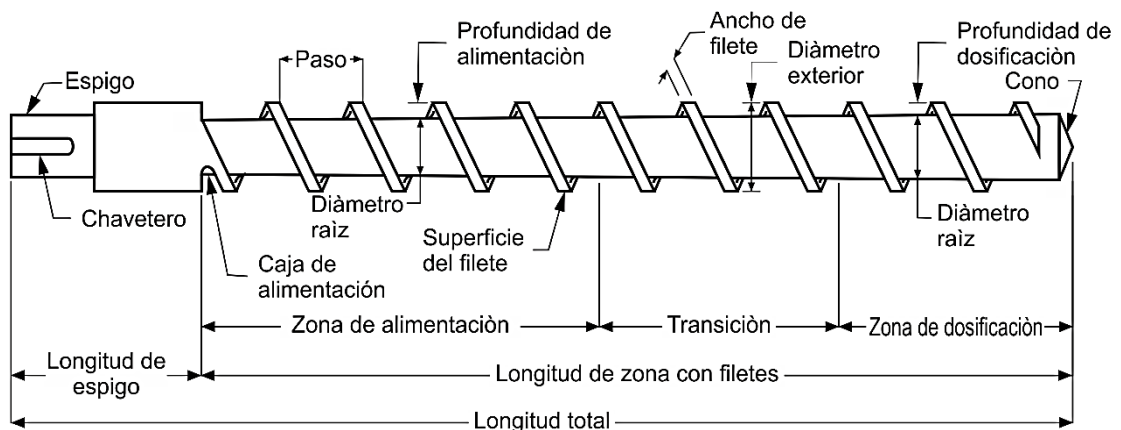


Figura 5. Partes del husillo (Groover, 2007)

Para los cálculos de las dimensiones del husillo utilizamos ecuaciones matemáticas según (Savgorodny, 1973).

Ø **La relación Longitud/Diámetro**

$$L: \text{longitud} = 770\text{mm}$$

$$D: \text{diámetro} = 30\text{mm}$$

Ø **Calculo de las longitudes de las tres zonas:**

$$a: \text{alimentación} = 10D \dots\dots\dots (1)$$

$$a = 300 \text{ mm}$$

$$t: \text{transición} = 6D \dots\dots\dots (2)$$

$$t = 180\text{mm}$$

$$d: \text{dosificación} = 4D \dots\dots\dots (3)$$

$$d = 120\text{mm}$$

Ø **Paso de husillo (ph)**

$$ph = \pi \times D \times \tan \varphi \dots\dots\dots (4)$$

$$ph = 3.1416 \times 30\text{mm} \tan (17.6)$$

$$ph = 30\text{mm}$$

Ø **Ancho del filete (e)**

$$e = 0.12 \times D \dots\dots\dots (5)$$

$$e = 0.12 \times 30\text{mm}$$

$$e = 4\text{mm}$$

Ø **Numero de filetes del husillo**

$$f = \frac{L}{D} \dots\dots\dots (6)$$

$$f = \frac{770\text{mm}}{30\text{mm}}$$

$$f = 26 \text{ filetes}$$

Por razones de cálculo se tiene este resultado, en el caso del husillo de este trabajo tiene más de 26 filetes.

Ø **La velocidad de rotación η**

$$\eta = 40 \text{rpm} \dots\dots\dots (7)$$

La velocidad de rotación está tomada de acuerdo a lo mencionado por Davehakkens,(2017) de la ONG *Precious Plastic*, quien se dedica a reciclar plásticos mediante el diseño de sus propias extrusoras.

Tabla 8. *Partes y dimensiones del husillo*

Partes	Valores	Descripción
Longitud total	110 cm	-
Longitud de zona con filetes	770 mm	-
Longitud de espigo	30 cm	-
Chavetero	8 cm	-
Zona de alimentación	300 mm	-
Diámetro raíz	20.1 mm	-
Paso husillo	30 mm	-
Profundidad de alimentación	4.95 mm	-
Superficie de filete	mm	-
Zona de Transición	180 mm	-
Ancho de filete	4 mm	-
Diámetro exterior	30 mm	-
Zona de dosificación	120 mm	-
Diámetro raíz	20.9 mm	-
Profundidad de dosificación	4.5 mm	-
Cono o Boquilla	16 mm	-

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1. Características del Tubo o camisa

Se utilizó un tubo de acero galvanizado y este material permite realizar soldaduras, tiene 770 mm de longitud, con diámetro de 32 mm, en el interior va el husillo que apenas con el espacio suficiente para girar y el tubo se mantiene fijo. El tubo o camisa debe ser capaz de operar bajo las condiciones del plástico PET y resistir altas temperaturas sin deformarse.

3.4.2. Modelo de la tolva

La tolva cumple la función de recibir el material previamente mezclado de plástico y arena por efecto de la gravedad va ingresando al husillo, es de material acero de 2mm.

Los cálculos se hicieron de acuerdo a los criterios de (Biswas & Davenport, 1994) y a continuación están los siguientes pasos:

Paso 1: Para el diseño de la tolva se necesita conocer el ángulo de reposo del material, para el plástico PET su ángulo de reposo es de acuerdo a (Biswas & Davenport, 1994).

$$\alpha = 52.54^\circ$$

Paso 2: Cálculo de la inclinación de caída de la tolva.

$$\beta = \alpha + 15^\circ \dots \dots \dots (8)$$

$$\beta = 52.54^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 67.54^\circ$$

Paso 3: Se eligió las dimensiones de base superior e inferior de la tolva. Por lo tanto, la base superior es de 25cm x 25cm y la base inferior será 3.5cm x 19cm como se muestra en la figura 6.

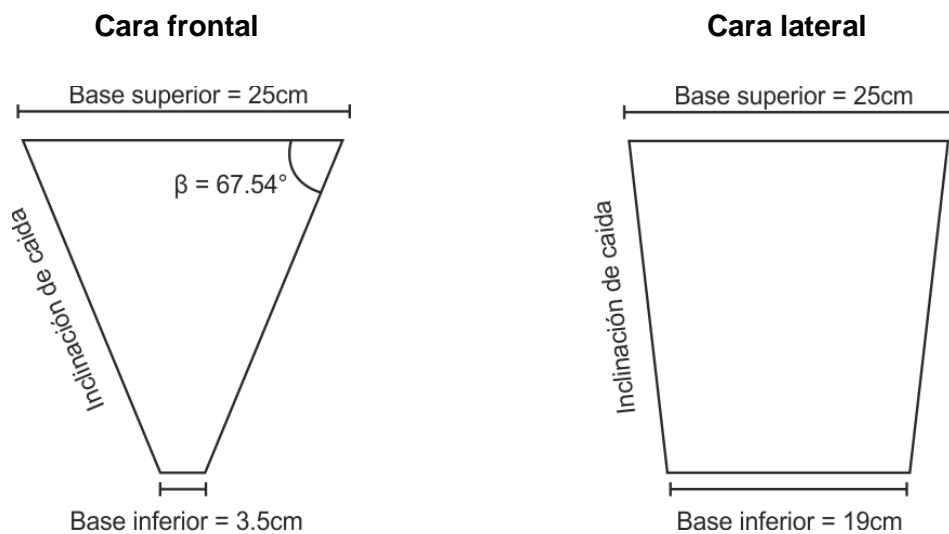


Figura 6. Dimensiones del modelo de la tolva

Paso 4: Cálculo de la altura de la tolva como muestra la figura 7.

$$h = \tan(\beta) * 10.75\text{cm} \dots\dots\dots (9)$$

$$h = \tan(67.45^\circ) * 10.75 = 26\text{cm}$$

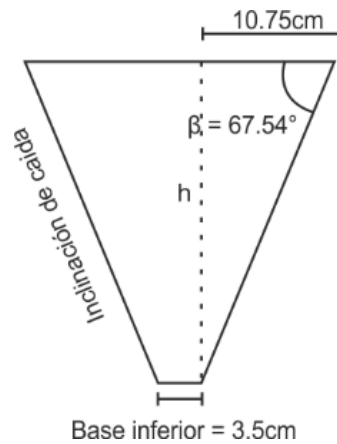


Figura 7. Altura de la tolva

Paso 5: Calculo del Volumen de la tolva

$$\text{Área base superior: } A1 = 25\text{cm} \times 25\text{cm} = 625\text{cm}^2$$

$$\text{Área base inferior: } A2 = 3.5\text{cm} \times 19\text{cm} = 66.50\text{cm}^2$$

$$V = \left(\frac{h}{3}\right) * (A1 + A2 + \sqrt{(A1 * A2)}) \dots\dots\dots (10)$$

$$V = \left(\frac{26}{3}\right) * (625 + 66.50 + \sqrt{(625 * 66.50)})$$

$$V = 7759.86 \text{ cm}^3 \llcorner 0.00775986\text{m}^3$$

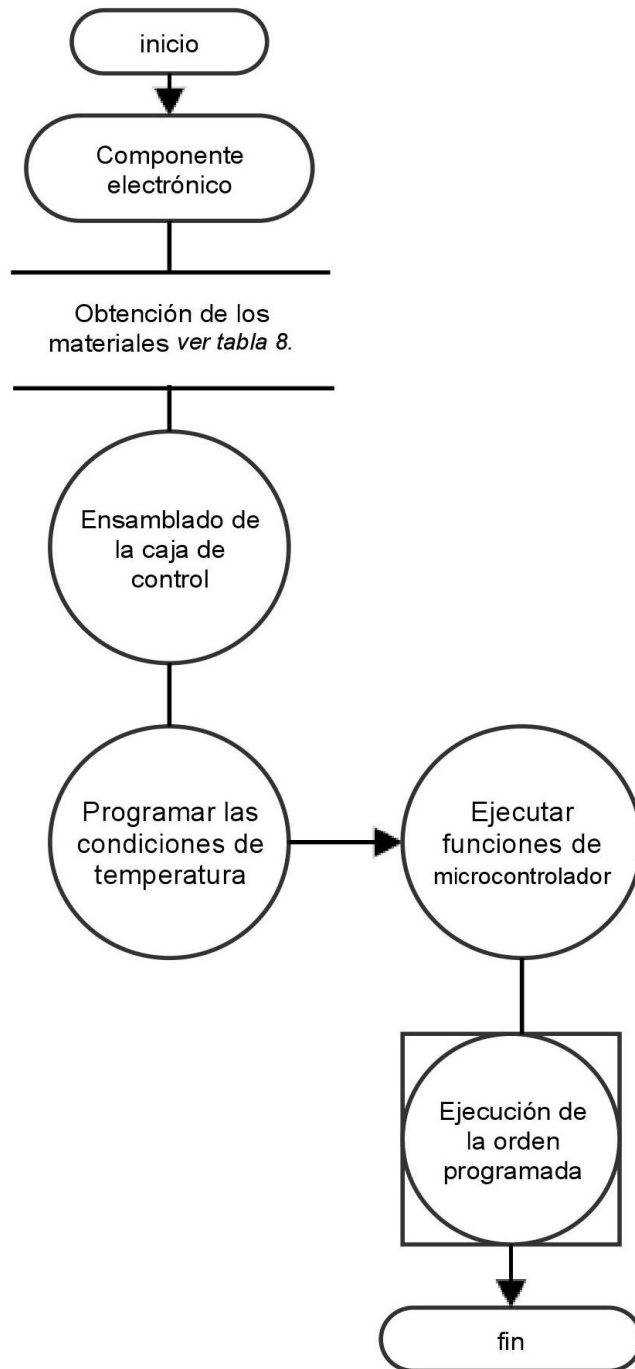
3.4.3. Selección del motorreductor y ensamblado de la máquina extrusora

El motorreductor posee rodamientos axiales y radiales los cuales soportarán la carga del husillo además reducirán de 1640 rpm a 40 rpm, indica la ecuación (7), nos indica que debemos usar 40 rpm para rotar el husillo y trabajar con el PET (Davehakkens, 2017).

Al tener todo listo y en orden los respectivos componentes se dio inicio al ensamblado: Primero colocando la mesa de soporte el cual fue unido mediante la soldadura con electrodos 6011, posterior a ello se colocó el husillo al interior de un tubo metálico galvanizado de 32mm esto a la vez requiere soporte para ello se realizó la soldadura con electrodos 6011 con sus respectivas chavetas, finalmente se hizo la conexión mediante el

eje del husillo a un motorreductor de 40 rpm que va trabajar con un motor monofásico de 1.5HP, el diseño de la extrusora se muestra en el Anexo 1.

3.4.4. Programación de la caja de Control



Resumen de actividades	
Actividad	Símbolo
Operación	○
Control	□
Transporte	⇒
Almacenamiento	▽

Figura 8. Diagrama de flujo de la programación de la caja de control.

Tabla 9. *Materiales para el ensamblado de la caja de control*

Descripción	Cantidad
Termistor NTC 100K 3950	3
Multímetro	1
Fuente 12V y 5V	2
Módulo 3 relés electromecánico	3
Calentador o resistencia de 350w	3
Pasta para soldar	1
Estaño	1
Cautín soldador	1
Cables jumper hembra – macho	12
Tarjeta de control Arduino Mega	1

Fuente: elaboración propia

3.4.4.1. Ensamblado de la caja de control

El husillo cuenta con los respectivos calentadores que quedan situados en el cilindro acoplados al tubo de acero hasta la temperatura deseada, y luego mantener constante la temperatura requerida.

Se utilizó 3 calentadores que son controlados mediante módulos de 3 relé estos a su vez son conectados a un microcontrolador arduino MEGA 2560 a base de datos analógicos lecturados por medio de 3 termistores 100k o sensores de temperatura que están situados en el tubo del husillo.

3.4.4.2. Automatización de las condiciones de la temperatura de extrusión

La automatización del sistema eléctrico de la extrusora se realizó con Arduino Mega 2560 cuyo dispositivo posee:

- 3 termistores de 100k ohm con sus respectivas resistencias de equivalentes a 100k ohm.
- Módulo relé de 3 canales

Pines a usar en el microcontrolador:

Termistor 1 = A0

Termistor 2 = A1

Termistor 3 = A2

Relé 1 = 4

Relé 2 = 5

Relé 3 = 6

GND para todos

VCC 5v para todos

Definiendo los pines y variables que se van a utilizar:

```
int ThermistorPin1 = 0;
```

```
int ThermistorPin2 = 1;
```

```
int ThermistorPin3 = 2;
```

```
int V1;
```

```
int V2;
```

```
int V3;
```

Aquí mostramos las variables en las que debemos colocar las temperaturas que deben mantener cada termistor en °C.

```
int TemperaturaR1 = 250;
```

```
int TemperaturaR2 = 260;
```

```
int TemperaturaR3 = 280;
```

R1 es la resistencia fija que tiene el divisor de tensión de 100k ohm.

```
float R1 = 10000;
```

Aquí se declaran más variables que serán usadas más adelante.

```
float logR2, logR3, logR4, R2, R3, R4, T1, T2, T3, Tc1, Tc2, Tc3, Tprom1, Tprom2;
```

Para esta parte del código se necesitan los valores, para los coeficientes C1, C2 y C3, para lo cual se necesita calibrar los termistores en base a su ficha técnica que nos indica una resistencia de 100k ohm a una temperatura de 25°C, este dato nos sirve para realizar la calibración del termistor realizando 2 mediciones a temperatura menor a 25°C y otra mayor a 25°C aplicando la ecuación de (Steinhart & Hart, 1968, p. 497) muy conocido como los coeficientes de SH. Para realizar este paso se necesita de la ayuda de un termómetro calibrado.

$$\frac{1}{T} = a + b(\ln R) + c(\ln R)^3 \dots \dots \dots (11)$$

Para la tabla 8, se muestran los datos obtenidos de la calibración, que se convirtió de °C a °K y el Ln (R), realizándose de la siguiente forma:

$$Temp\ 5^{\circ}C = 5 + 273.15 = 278.15^{\circ}K.$$

$$Ln(R) = Ln(250000) = 12.4292162$$

Se siguen los mismos procedimientos para los siguientes datos de la tabla 10.

Tabla 10. *Datos obtenidos de la calibración de temperaturas*

	Temp °C	Resistencia R	Temp °K	Ln (R)
Bajo	5	250000	278.15	12.4292162
Medio	25	100000	298.15	11.5129255
Alto	45	40000	318.15	10.5966347

Fuente: elaboración propia

El siguiente paso es calcular con los datos de la tabla 10, las resistencias fijas.

Tabla 11. *Resistencia fija*

Ln(R1) - Ln(R2)	0.91629073	X
Ln(R1) - Ln(R3)	1.83258146	Y
(1/T1) - (1/T2)	0.00024117	Z
(1/T1) - (1/T3)	0.00045201	W

Fuente: elaboración propia

Cálculo de los coeficientes C3 mediante la ecuación siguiente:

$$\frac{Z - X * \frac{W}{Y}}{((Ln R1^3) - (Ln R2^3)) - X * \frac{(Ln R1^3) - Ln R3^3}{Y}} \dots\dots\dots (12)$$

Reemplazando datos se obtiene: $c3 = 2.019202697e - 07$

Cálculo de coeficiente C2:

$$\frac{Z - c3 * (LnR1^3)}{X}$$

Se obtiene : $c2 = 2.378405444e - 04$

Cálculo de coeficiente C1:

$$\frac{1}{Temp\ 1^{\circ}K} - c3 * (LnR1^3) - c2 * (LnR1^3)$$

Se obtiene: $c1 = 1.009249522e - 03$

Con los coeficientes ya obtenidos, en la programación lo definimos como flotante.

```
float c1 = 1.009249522e-03
```

```
float c2 = 2.378405444e-04
```

```
float c3 = 2.019202697e-07
```

Con este comando (`void setup() { }`) se definen los pines donde se conectaron los relés, en los pines 4, 5 y 6.

```
int relay1 = 4;
```

```
int relay2 = 5;
```

```
int relay3 = 6;
```

Configuración de relés como salida

```
pinMode(relay1, OUTPUT);
```

```
pinMode(relay2, OUTPUT);
```

Puerto por el que se va a comunicar el Arduino con la computadora.

```
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

3.4.4.3. Funciones del microcontrolador

Este comando (`void loop() { }`), hace una lectura de los datos que envían los termistores y los convierte en °C, el código solo se muestra para el termistor 1.

```
/* TERMISTOR 1*/
```

```
V1 = analogRead(ThermistorPin1);
```

```
R2 = R1 * (1023.0 / (float)V1 - 1.0);
```

```
logR2 = log(R2);
```

```
T1 = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2));
```

```
Tc1 = T1 - 273.15;
```

3.4.4.4. Ejecución de la orden programada

A continuación, se indica la programación de los relés en donde el Arduino comprueba los valores leídos que deben cumplir la condición de si es mayor o menor de 280°C, en donde si es mayor el relé debe ser apagado o de lo contrario será encendido. Lo que se quiere lograr es que se mantenga una temperatura constante que no suba ni baje, la temperatura a la que se necesita trabajar es igual a 280°C, si el calentador se calienta a más de 280°C se corre el riesgo de que el material PET se queme lo cual no es bueno.

```
// 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 mayor es la aproximación.

```
delay(2000);
```

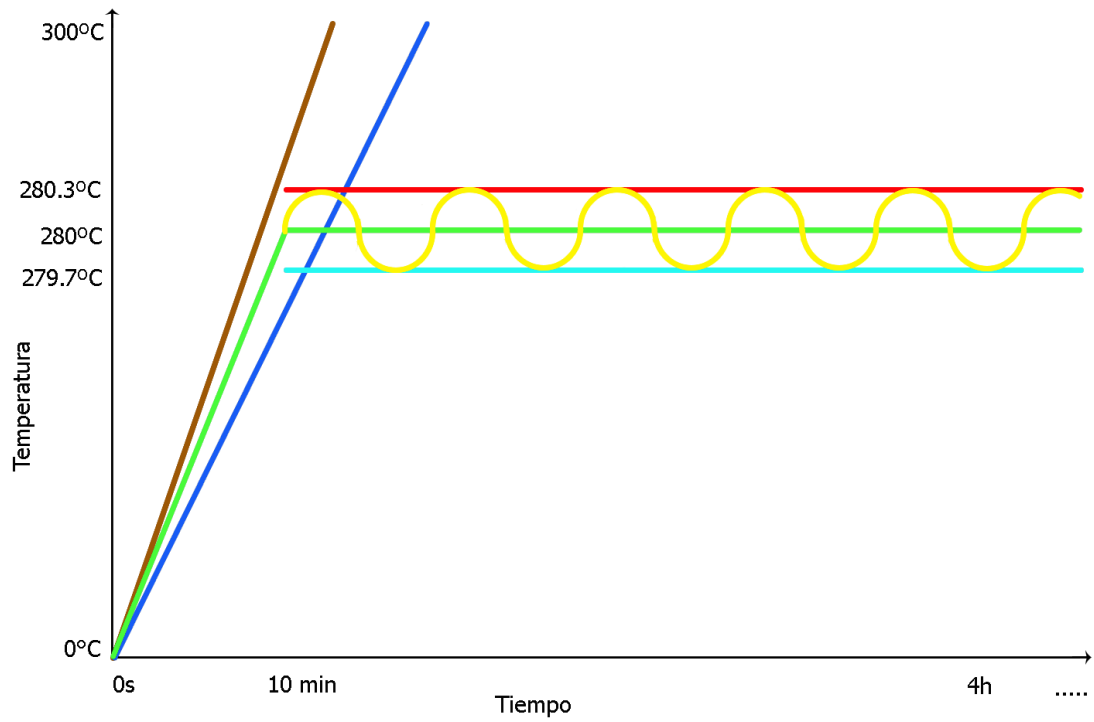


Figura 9. Simulación del comportamiento de la temperatura con el uso de calentadores.

Ver anexo 2. Circuito eléctrico del controlador de temperatura.

3.5. Proceso de obtención del plástico PET

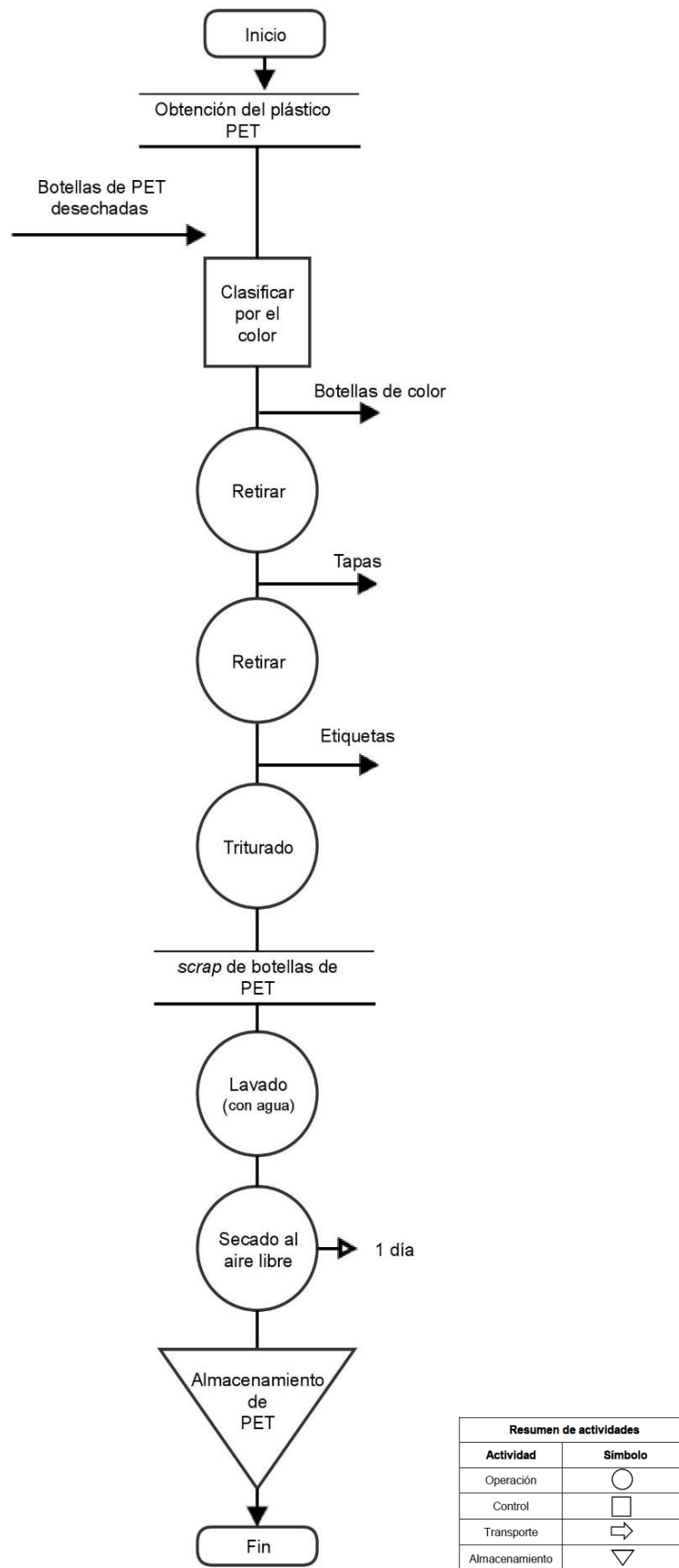


Figura 10. Diagrama del flujo del proceso de obtención de PET

Tabla 9. *Lista de materiales, equipos de reciclaje*

Materiales	Equipos
Bolsas	Guantes
Cúter	Mascarillas
Escobilla	Guardapolvo
Tina con agua	Guantes sintético

Fuente: Elaboración propia


3.5.1. Procedencia del Plástico a ser utilizada en la investigación

El material se obtuvo de una asociación de recicladores (Mabel) es una recolectora formal de la ciudad de Juliaca, que al mes recolecta alrededor de 30.5 toneladas de PET, la cantidad de plástico que se adquirió estuvo determinado por la cantidad de adoquines que se desea elaborar, para obtener un kilogramo de plástico triturado se requiere 9 botellas PET de 2 litros, conociendo este dato se compró 40 kilogramos de plástico PET a un precio de 0.50 céntimos por 1 kilogramo.

3.5.2. Proceso de reciclaje del plástico PET

En el proceso de reciclaje se realizó los siguientes pasos:

Paso 1: La identificación del tipo de termoplástico se realizó mediante la codificación que poseen dada por la Sociedad de Industrias de Plástico (SPI) por lo general está en la parte inferior de los artículos, a veces muy pequeño y otras veces marcado en la etiqueta; este criterio nos permitió seleccionar de acuerdo con la homogeneidad del material con que se desea trabajar.

El PET está designado con el símbolo  saber con qué tipo de plástico estas trabajando fue indispensable, esto para la temperatura de fusión del plástico, asimismo para llevar a cabo un proceso armonioso de reciclaje.

Paso 2: Se ha considerado para este trabajo solo el color transparente se tuvo que separar los colores (verde, ámbar, etc.), todas las pruebas se realizaron con el plástico PET transparente.

Paso 3: Las botellas tienen el rótulo o etiqueta y la tapa fueron retirados, porque son de otro tipo de plástico, por ejemplo, la etiqueta de la botella PET es adhesivo sintético de base agua y la tapa es de polipropileno (PP) por lo que la botella no es homogénea.

Paso 4: Una vez que el polímero estuvo correctamente seleccionado, se llevó al punto de trituración, en este punto el plástico fue triturado en gránulos o escamas para reducir su tamaño y volumen, se hizo un triturado en escamas menores a 10 mm para la facilidad de alimentación mediante la tolva. Luego el material triturado se almacenó en bolsas para usar en procedimientos posteriores.

Paso 5: El plástico triturado fue lavado en agua fría, esto se realizó para evitar que otros materiales mayormente tierra que poseen algunas botellas, el lavado no produce un cambio químico en su estructura durante ni después del lavado.

El secado se realizó a temperatura ambiente y aprovechando el calor solar durante un día, considerando como prioritario que el material este seco y sin humedad, después del secado se almacenó en bolsas para los siguientes procesos.

3.6. Procedencia de la arena fina a ser utilizada en la investigación

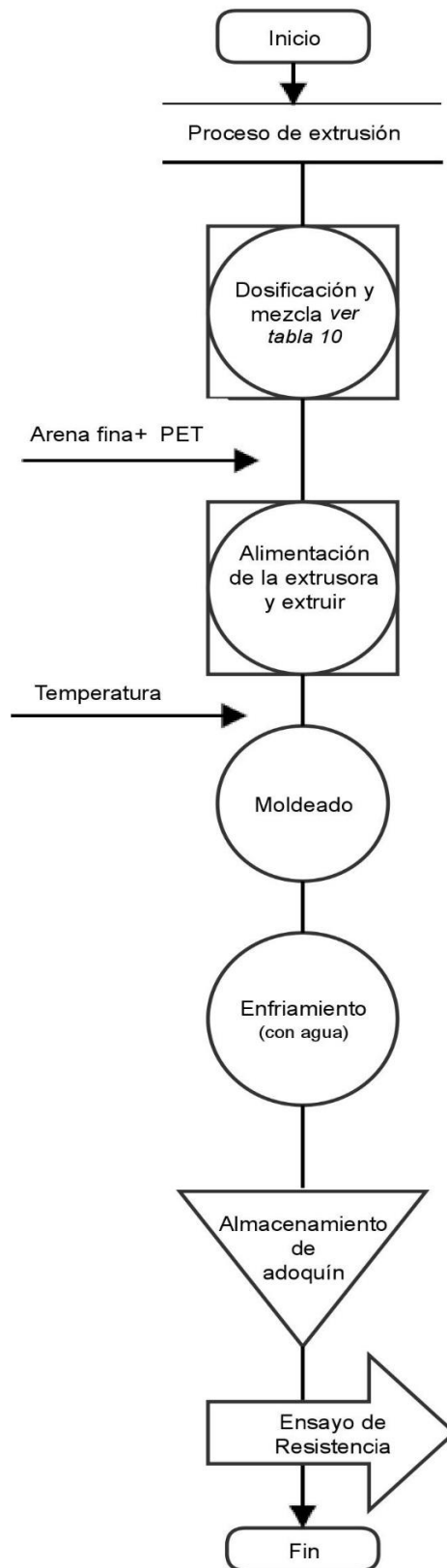
La arena fina que se obtuvo es una arena natural procedente de la cantera del río Coata del Distrito de Juliaca de la Provincia de San Román a 6 km de la ciudad de Juliaca.

El motivo por el cual se eligió esta cantera fue porque posee una granulometría de 0.25 a 2 mm realizado por (Conza & Ballesteros, 2012), estos valores son adecuados para realizar la mezcla con el plástico en una extrusora.

Se hizo secar la arena por dos días y se utilizó para la mezcla, siendo aceptable para la extrusión una humedad de 0.05% para evitar efectos de hidrólisis y reducción en la cadena polimérica del PET Gneuss, (2015).

3.8. Determinación de la mezcla óptima de PET reciclado y arena

El cemento actuó como aglutinante dentro de la construcción; de la misma manera el plástico PET por sus múltiples características físicas también puede actuar como un aglutinante o conglomerante en estado fundido, puede unir y unirse a otros materiales con facilidad en proporciones convenientes, para ello se realiza un diseño de mezcla, y esta mezcla se da mediante las reacciones o transformaciones químicas del PET, y el poder aglutinador que por lo general es una atracción electrostática (García, et al., 2013).



Resumen de actividades	
Actividad	Símbolo
Operación	○
Control	□
Transporte	⇨
Almacenamiento	▽

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de extrusión

Se realizó las siguientes combinaciones de las muestras a diferentes concentraciones de plástico PET granulado y a distintas concentraciones de arena fina, prácticamente se usará un método empírico según (Maure, et al., 2018), en este caso consiste en realizar varias proporciones en porcentajes del volumen de la unidad de albañilería como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. *Cantidad de pruebas realizadas*

Pruebas	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

Fuente: Elaboración propia

Se ha obtenido en total 20 especímenes, y para cada muestra se tiene 5 repeticiones donde estos 5 se llevaron a prueba de laboratorio.

Los materiales empleados como la arena fina y el plástico deben tener comportamientos sometidos, manejables y juntamente con los aspectos técnicos que se pueda obtener un producto apto para la construcción (Guevara, Hidalgo, Rodríguez, Rojas, & Segura, 2012).

3.8.1. Características del adoquín

Las dimensiones que posee el adoquín son: 6 cm x 8 cm x 20 cm, así como muestra el Anexo 3.

3.8.2. Proceso de moldeado y enfriamiento del producto

El proceso de moldeado se va dar justo cuando el material va salir por la boquilla de la extrusora, en donde se le colocó los moldes para su posterior llenado y darle la forma requerida, para eso se dispusieron de unos moldes metálicos, con las dimensiones diseñadas para moldear el adoquín.

Después de extruir en el molde el material inmediatamente caliente se llevó a enfriar, en una tina con agua fría, el enfriamiento es para eliminar poros de aire o para que la alineación molecular sea efectiva. Las cadenas moleculares se mantienen unidas entre sí por enlaces cruzados o por fuerzas intermoleculares (llamadas enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals). Las fuerzas son similares a la atracción entre un imán y un trozo de hierro. Mientras más cerca estén las cadenas unas de otras, más fuertes serán los enlaces (Mansilla y Ruíz 2009).

3.8.3. Parámetros que se controlaron en el proceso de la extrusión

- Material que se va utilizar.
- Dosis de la muestra.
- Datos de la fuente de calor en la que se fundirá la muestra del material.
- Tiempo de precalentamiento.
- Tiempo de fundición.
- Temperatura de fundición.
- Temperatura de enfriamiento.
- Tiempo de enfriamiento.
- Medidas y peso del espécimen fundido.
- Medidas del molde que lo contendría.
- Proceso de desmoldado.
- Volumen de muestra vaciada en molde.

- Habiendo terminado y controlado el proceso de fabricación de los adoquines, se llevaron a ensayos de laboratorio, en resistencia a compresión.

3.9. Evaluar las propiedades de resistencia a la compresión de los adoquines

Es una de las propiedades mecánicas más importantes que se le debe realizar a las muestras de adoquín, siendo la medida para ver la calidad del producto.

Se realizó el ensayo con la Prensa Digital Automática marca FORNEY. “En el laboratorio de Tecnología del concreto y ensayo de los Materiales” de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión-Juliaca.

3.10. Análisis estadístico

En este proyecto se aplicó el análisis de varianza ANOVA, con el Diseño Completamente al Azar (DCA), con el software SPSS.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del diseño de la extrusora de adoquín

4.1.1. Resultado de las temperaturas empleadas durante la extrusión

Tabla 13. *Condiciones de temperatura programada que se trabajó para el PET*

Material	Zona de alimentación (T1)	Zona de transición (T2)	Zona de dosificación (T3)	Temperatura de moldeo	Temperatura Enfriamiento
PET y Arena fina	260°C	275 °C	280 °C	270°-280 °C	Menores de 10°C

Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas de trabajo en la investigación de Rodríguez & Chavez (2016), sobre factibilidad de uso del PET reciclado en elementos e cubierta y envoltentes utilizaron temperaturas de fundición 255°C, 280°C y 300°C, son datos similares que se emplearon en nuestra investigación con 260, 270 y 280°C, siendo estas temperaturas adecuadas para transformar el PET.

La temperatura de enfriamiento se realizó a temperatura menor de 10°C en cubetas de agua fría; en nuestra zona un agua fría es considera menores a 10°C (Eclen, 2000).

4.2. Resultados de los parámetros controlados

Tabla 14. *Resultados de los parámetros controlados*

Ítem n°	Parámetros de trabajo	Valores	Descripción
1	Material que se utilizó	PET y arena fina	PET molido 8-10mm + arena fina
2	Cantidad de la muestra.	–	Según el diseño de mezcla ver tabla 11
3	Datos de la fuente de calor en la que se fundió el material.	3 Calentadores	Los calentadores generaron 3 Kw/h de potencia a 220V de energía.
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.
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 fundición.	280°C	Es donde 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 se realizó sumergido en agua, inmediatamente después del moldeado.
8	Tiempo de enfriamiento.	15 min	En este periodo de tiempo el material se endurece y queda estable.
9	Medidas del molde que lo contendría.	7cm altura x 10cm ancho x 24cm largo	El grosor de la plancha metal se consideró 5mm
10	Proceso de desmoldado.	–	Se destaparon las tapas de la cara lateral y con un leve empuje se desprende el adoquín del molde.

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de la prueba de laboratorio

4.3.1. Ensayo de resistencia a compresión

Tabla 15. *Resultado del ensayo de resistencia a compresión de adoquines*

	PET 100%	PET 75% y Arena 25%	PET 50% y Arena 50%	PET 30% y Arena 70%
	131.7	133.2	164.1	227.9
	121.4	149.9	186.4	226.3
Resistencia kg/cm ²	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	220.60

Fuente: elaboración propia

4.4. Análisis estadístico

4.4.1. Diseño estadístico

En este proyecto se aplicó Análisis de varianza (ANOVA) con el Diseño Completamente al Azar (DCA), con 4 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento, haciendo un total de 20 pruebas experimentales; donde el factor de estudio es: Resistencia a compresión Kg/ cm² con la finalidad de comprobar las diferencias significativas de las medias de los tratamientos; todos los análisis fueron realizados a un nivel de confianza del 95 %, siendo el nivel de significancia del 5%. Para ello se utilizó el programa SPSS versión 25.0.

Supuestos

a. Normalidad de los datos

En base a los resultados de la resistencia se realizó una prueba de normalidad, el cual hace constar que existe una distribución normal en la estimación de todos los tratamientos, al 95% de confianza ($p > 0.05$. prueba de shapiro – wilk) ver tabla 16.

Tabla 16. *Prueba de normalidad*

	Tratamiento	Kolmogorov - Smimov ^a			Shapiro - Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión	PET 100%	,285	5	,200*	,850	5	,194
	PET 75% y arena 25%	,300	5	,162	,836	5	,154
	PET 50% y arena 50%	,206	5	,200*	,911	5	,472
	PET 30% y arena 70%	,217	5	,200*	,904	5	,434

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significancia verdadera

Para un alfa 0.05 existe distribución normal

b. Homogeneidad de varianza

Como se muestra en la tabla 17 la homogeneidad de varianza para la resistencia muestra un P- valor superior al valor de la significancia de 0.05 entonces decimos que la varianza es igual entre los demás grupos.

Tabla 17. *Homogeneidad de varianza*

	Prueba de homogeneidad de varianza			
	Levene	gl1	gl2	Sig.
Resistencia a la compresión	,598	3	16	,626

Para un alfa de 0.05 hay homogeneidad de varianza

4.4.2. Análisis de varianza (ANOVA)

En la tabla 18 se 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).

Tabla 18. *Análisis de varianza para el tratamiento de resistencia*

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	28266,338	3	9422,129	132,328	,000
Intra-grupos	1139,244	16	71,203		
Total	29405,632	19			

4.4.3. 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 19).

Tabla 19. *Media para grupos homogéneos*

Prueba	Tratamiento	N	Sub-conjunto			
			Media			
			1	2	3	4
Duncan	PET 100%	5	120,0800			
	PET 75% y arena 25%	5		143,8200		
	PET 50% y arena 50%	5			174,7800	
	PET 30% y arena 70%	5				220,6000
	Significancia		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000

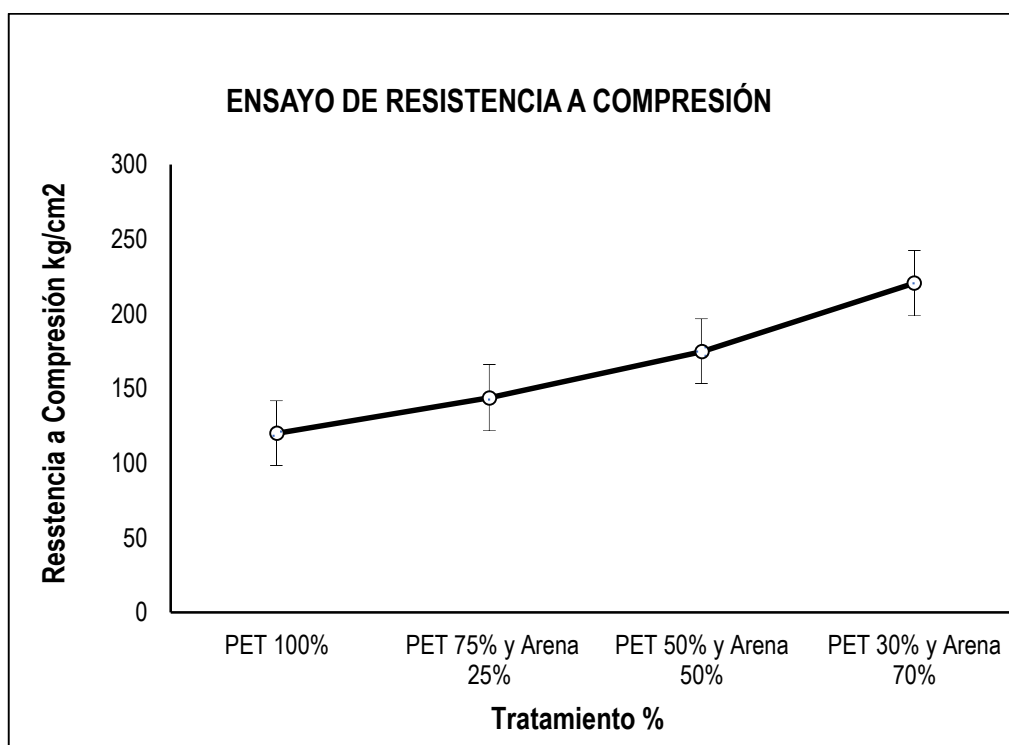


Figura 12. Media de los resultados de resistencia a compresión

El primer tratamiento de **PET 100% puro**; se obtuvo 120 kg/cm² mostrado en la tabla 19, este resultado es similar a lo obtenido por Rodríguez & Chavez (2016), quienes obtuvieron una resistencia media de 121kg/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 & Lokensgard, (2000) tiene 457 kg/cm^2 en su investigación comportamiento mecánico del PET y sus aplicaciones geotecnicas, 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 realizar la parte del moldeado. lo que se deduce es que necesita un enfriamiento de inmediato del adoquín, de lo contrario algunos hasta presentaron rajaduras o grietas pequeñas.

Sin embargo, es imprescindible que el material fundido que emerge de la extrusora debe ser enfriado lo más uniforme posible en toda la pieza de modo que no existan gradientes de temperatura para adquirir la rigidez necesaria alude Davehakkens, (2017) de la ONG “*Precious Plastic*”.

El segundo tratamiento en mayor porcentaje es plástico PET 75% y 25% arena fina, tuvo 143.8 kg/cm^2 como se muestra en la tabla 19, este resultado es mayor a lo que obtuvieron Maure, et al., (2018), una resistencia de 40.4KN, del diseño 90% PET y 10% virutas metálicas, quienes desarrollaron la investigación, con el fin de “Fabricar ladrillos de plástico PET fundido y virutas metálicas mediante el proceso de extrusión. Aquí se comprende que añadir arena fina tiene la capacidad de mejorar la resistencia, reforzando así que el producto mencionado por Flores, Rojas, Torres, & Vallejos, (2014).

Y según García, et al., (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** tuvo una resistencia de 174.7kg/cm², al realizar está prueba observamos aún más características de trabajo como:

La resistencia a la compresión sigue aumentando en comparación a los tratamientos anteriores, este aumento también 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 Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM-136), por lo que al momento de procesar este tratamiento se tuvo buena fluidez y aglutinación.

El cuarto tratamiento diseñado con **30% PET y 70% arena fina** se observó lo siguiente:

La tabla 19 también muestra que el cuarto tratamiento posee la resistencia más alta con 220.6 kg/cm² y de acuerdo a los resultados de Martínez, et al., (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 285.5Kg/cm² de resistencia dando a conocer que el resultado fue favorecido por el aserrín, ocurriendo una buena interacción entre las partículas del polímero y el aserrín, también añade que es debido a las altas temperaturas que requiere el proceso al cual fueron sometidos.

Por otro lado, se obtuvo este valor porque se consideró materiales secos con una humedad menor a 0.05%; 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.

La capacidad de aglutinación del plástico PET es de 0.75 dL/g tuvo lugar hasta un 30% de PET en relación a un 70% de arena fina; esto fue influenciado por la viscosidad del PET que es de 0.75dl/g considerado como viscosidad baja, en consecuencia, hizo disminuir la fluidez en la mezcla mencionado por Martínez, (2007). Además. la densidad de la arena

una 1500kg/m^3 es mayor al PET 1400kg/m^3 esta propiedad que es la relación de peso y volumen, obligó a la saturación del polímero según Poblete (2001) citado por Martínez, et al., 2014).

Este tratamiento obtuvo la mejor resistencia en cuanto a los otros diseños realizados, posteriormente este resultado puede ser mejorado con aditivos y llegar al valor deseado que tiene un adoquín, según la NTP. 399.611.2017, por unidad debe tener 285.5 kg/cm^2 y el promedio de 3 unidades 316.112 kg/cm^2 .

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base al experimento y análisis realizado se establecen las siguientes conclusiones:

Se diseñó una máquina extrusora con los componentes fundamentales que requiere el método extrusión como son: Un monohusillo de 1.10m de longitud con un diámetro de 30mm, un motor de 1.5HP acoplado a un motorreductor de 40 *rpm* y una tolva de alimentación, la extrusora ensamblada controló automáticamente la temperatura de fusión del plástico, este control se dio por la incorporación de un microcontrolador Arduino Mega 2560 que nos permitió realizar todo el proceso de extrusión apropiadamente.

El tereftalato de Polietileno (PET) es un polímero que se puede reciclar en combinación con la arena fina para obtener adoquín aplicado en pavimentos peatonales como: parques, plazas, villas, travesías, boulevard y en comunidades pequeñas.

Del primer tratamiento se concluye que a una mayor concentración de PET es menor la resistencia, el enfriamiento es acelerado y requiere una refrigeración inmediata; del segundo tratamiento se concluye que la incorporación de un 25% de arena fina aumentó la resistencia del adoquín de esto se infiere que la arena fina es un material que brinda refuerzo, cohesión y rigidez; en el tercer tratamiento ambos materiales se prepararon a porcentajes iguales donde la arena sigue aumentando la resistencia y el cuarto tratamiento posee la resistencia más alta con 220.6 kg/cm² por que tuvo buena interacción del polímero y la arena.

El proceso de extrusión permite que este tipo de residuos cumplan con las condiciones de salida, y puedan dejar de considerarse como basura y sean productos agregados al mercado con plena garantía para la protección del medio ambiente y la salud humana.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda para las futuras investigaciones realizar las pruebas de flexotracción y absorción de agua.

Se recomienda para las posteriores investigaciones considerar la humedad menor a 0.05% en los materiales para la extrusión.

Se recomienda a posteriores investigaciones tomar en cuenta los aditivos para mejorar la resistencia a compresión.

Referencias

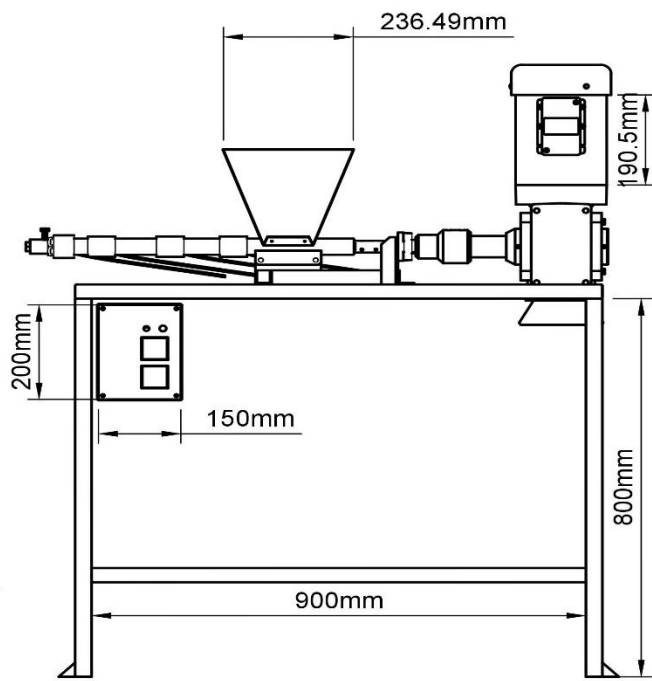
- ASTM. (2001). *Sociedad Americana para Pruebas y Materiales*. Obtenido de Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregado fino y grueso: <https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA10/index.html>
- Anda, P. (2005). *Química 2*. Jalisco : Umbral.
- Biswas, A., & Davenport, W. (1994). *El cobre metalúrgica extractiva*. España: Limusa.
- Cardona, G. (2006). Minimización de residuos una política de gestión ambiental empresarial. *Revista limpia*, 2, 48-57. Obtenido de http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/revistalimpia/vol1n2/pl_v1n2_46-57_minimizaci3n.pdf
- Cecar, I. (2012). *Materiales de ingeniería*. Obtenido de <http://ingenieroscecar.blogspot.com/2012/03/recicleje-del-pet.html>
- Conza, D., & Ballesteros, K. (2012). *diseño de mezcla de concretos por cuatro métodos de las canteras de Cabanillas y Unocolla de la provincia de San Román*. Puno.
- CETAL. (2000). *CRN TECNOPART*. Obtenido de Resistencias eléctricas y equipo calefactores Barcelona: http://www.crntecnopart.com/images/pdf/ESP/catalog/cetal_es.pdf
- Davehakkens. (2017). *Precious Plastic*. Obtenido de <https://preciousplastic.com/>
- Downey, R. (2016). *El tamaño del envase esta determinando el crecimiento de la industria mundial*. Obtenido de Euromonitor Internacional: <http://www.elempaque.com/blogs/El-tamano-del-envase-esta-determinando-el-crecimiento-de-la-industria-mundial-de-empaques+115237>
- EIPeruario. (2017). *Ley N° 27314 Ley general de residuos sólidos modificado por el Decreto legislativo N° 1278*. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>
- Eden. (2000). *Fuentes de agua fría, la temperatura si importa*. Obtenido de The water company: <https://www.aguaeden.es/blog/fuentes-de-agua-fria-la-temperatura-siimporta#targetText=Las%20fuentes%20de%20agua%20fr%C3%ADa%20suelen%20tener%20unas%20temperaturas%20m%C3%ADnimasprogramadas,%2DSin%20hielo.>
- Flores, V., Rojas, J., Torres, R., & Vallejos, R. (2014). Mezcla de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas. 8-10.
- Gaggino, R., Arguello, R., & Berretta, H. (2009). Aplicación de material plástico reciclado en elementos constructivos a base de cemento. *Red de revistas científicas de América Latina el Caribe, España y Portugal*, 907-915.

- García, A. (2005). *El control automático en la industria*. España: Universidad de Castilla.
- García, A. A. (2013). Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo. *Ciencia y tecnología*, 37-40.
- García, C. (2015). *Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D*. Santiago, Chile.
- Gneuss, M. (23 de setiembre de 2015). *ENGEL ROEGELE*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/141553-Extrusion-de-PET-libre-de-secado-con-control-de-viscosidad.html>
- Groover, M. (2002). *Fundamentos de la manufactura moderna* (Tercera ed.). México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de la Manufactura moderna*. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Gutiérrez, C., & Vargas, L. (2017). *Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico*. Riobamba, Ecuador.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta Edició). México: Mc Graw Hill. <https://doi.org/-> ISBN 978-92-75-32913-9
- JICA, A. d. (2014). *Proyecto de formación de recursos humanos en tecnología de transformación de plástico en México*.
- LLorca, F., Gutiérrez, E., Cañas, I., Castro, L., & Lara, S. (2016). *Estrategia nacional de separación, recuperación y vaorización de residuos (ENSRVR) 2016-2021*. San José Costa Rica.
- Loizaga, A., & Suarez, R. (18 de junio de 2008). Defectos metalurgicos generados por la presencia de gases en la pieza fundida. *Investigación química*, págs. 111-119.
- López, C. (2016). Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil. *edUTecNe*, 6-123.
- Maloney, T. (2006). *Electrónica industrial moderna*. México: Pearson Educación.
- Mansilla, L., & Ruiz, M. (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.
- Mariano. (2011). *Materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado*. Obtenido de Textos científicos: <https://www.textoscientificos.com/>
- Martínez, A., & Cote, M. (2014). *Diseño y fabricación del ladrillo reutilizando materiales a base de PET*, 2(10), 2-5.

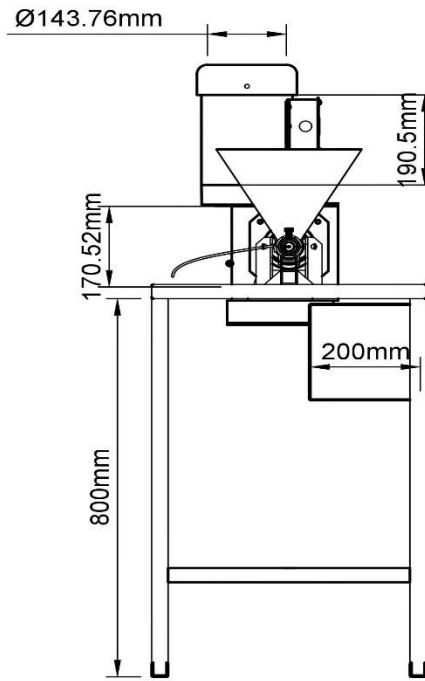
- Martínez, Y., Fernández, R., Álvarez, M., García, N., & Martínez, G. (2007). evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales. *Scielo*, 8-10.
- Maure, L., Candanedo, M., Madrid, J., Bolobosky, M., & Marín, N. (Mayo de 2018). RIC. *Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas*. Panamá.
- MINAM. (2018). *Estamos en contra del uso superfluo del plástico y regularemos su uso en el Perú*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-estamos-en-contra-del-uso-superfluo-del-plastico-y-regularemos-su-uso-en-el-peru/>
- NTP. (2017). Requisitos de adoquines de concreto según la NTP 399.611.
- Nueva Reina Valera. (2000). *Santa Biblia*. Buenos Aires: Sociedad Bíblica Emanuel.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Parthasarathy, P., & Sbarki, I. S. (2007). *Tecnología del plástico*. Obtenido de Propiedades térmicas y mecánicas del PET reciclado y sus mezclas: <http://www.plastico.com/temas/Propiedades-termicas-y-mecanicas-del-PET-reciclado-y-sus-mezclas+3056093?pagina=2>
- Química, & Ilustrada. (1999). *Ciencia a través de las fotos*. Suken.
- 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:technology, performance, markets, economics: the complete blow molding operation*. Hanser Gardner publications.
- Santiago, A., Santamaria, M., Contreras, G., Guerrero, V., & Hernández, A. (2016). Diseño y elaboración de adoquines de PETreciclado. *Ideas en Ciencia*, 16-18.
- Savgorodny, V. (1973). *Transformación de plásticos*. Barcelona: GUSTAVO PILI S.A.
- Schwarz, F., Ebeling, W., & Furth, B. (2003). *Procesamiento de los plásticos*. Uruguay: Costa Nogal S.A.
- SIGERSOL. (09 de setiembre de 2019). *Sistema de información para la gestión de residuos sólidos*. Obtenido de Informe anual 2019: sigersol.minam.gob.pe/2014/verInforme.php?id=1682
- Steinhart, S., & Hart, R. (1968). *Calibration curves for thermistors* (Vol. 15). Wisconsin: Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts.
- SPI, & ASTM. (1980). Codificación de los plásticos.
- Sutlz, R. (2004). *Appropriate building materials*. Suiza: SKAT Publications.
- UPV. (21 de septiembre de 2011). *Interpretación de Curvas Calorimétricas*. Obtenido de Univeridad Politécnica de Valencia: <https://www.youtube.com/valenciaupv>

Anexos

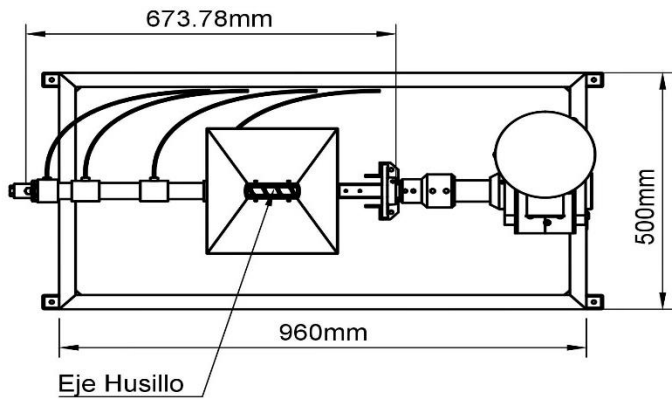
Anexo 1. Diseño de la extrusora



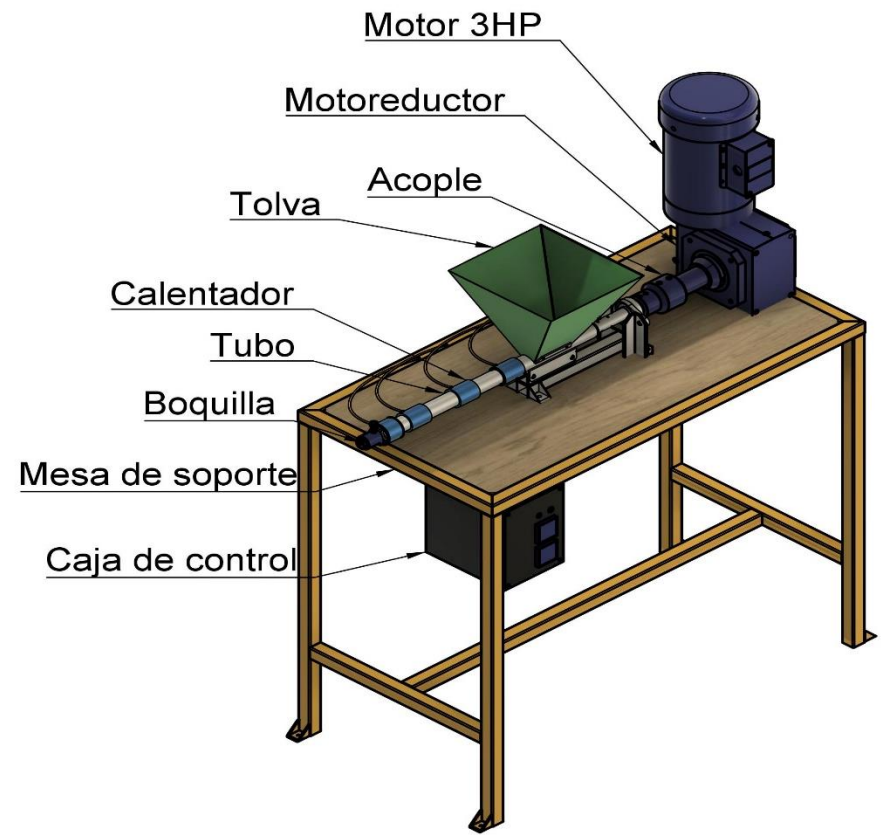
Vista Lateral



Vista Frontal



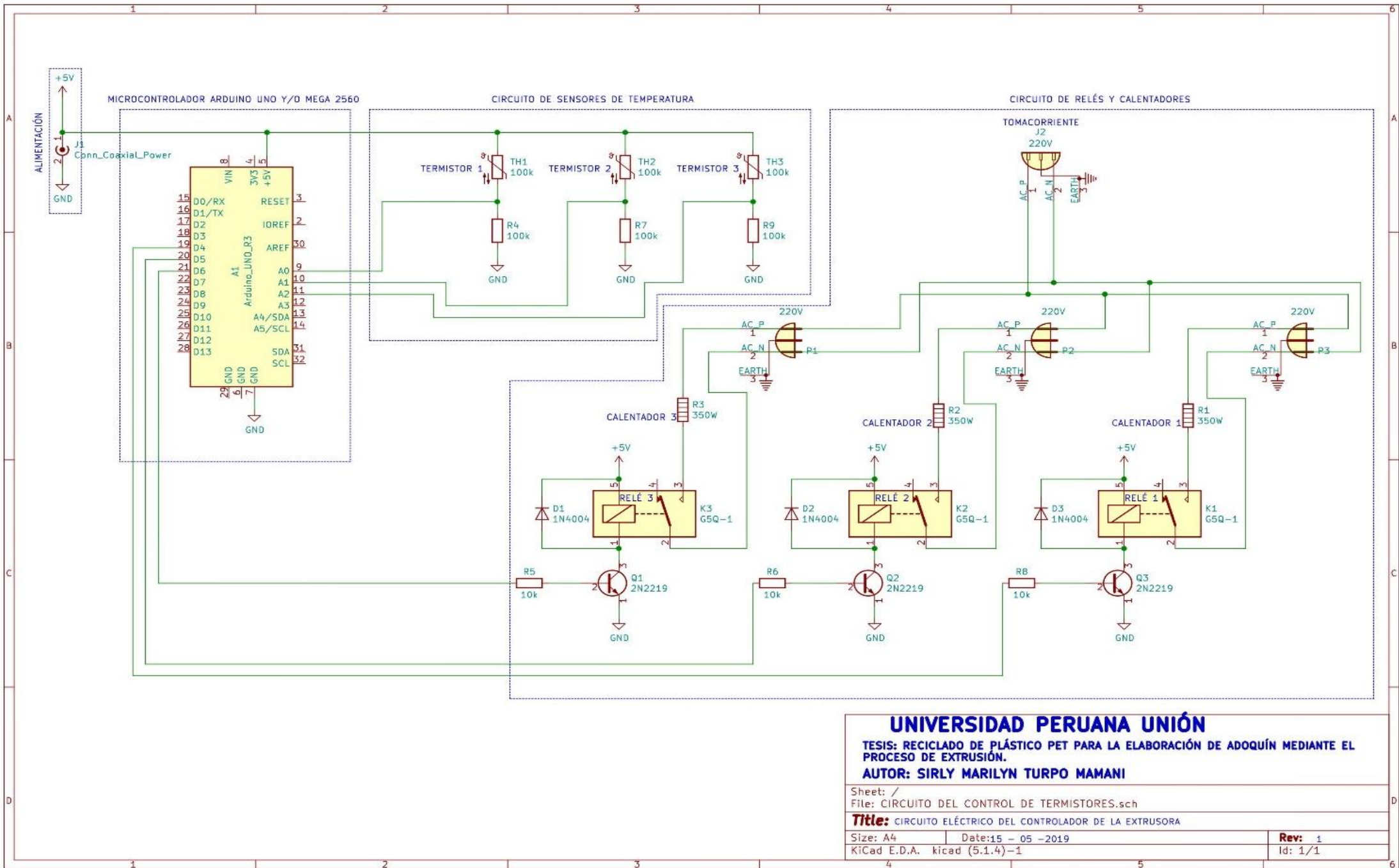
Vista en Planta



Vista Isométrica

Proyecto de investigación: Reciclado de plástico PET para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión		
Dibujado por: Sirly M. Turpo Mamani	Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental	
Plano de: Extrusora	Plano N°: 01	
Rev. 02	Fecha: 10/10/2018	Escala: 1/10

Anexo 2. Circuito eléctrico del controlador de temperatura



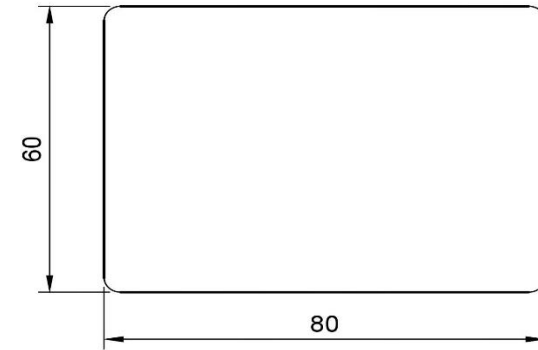
Anexo 3. Dimensiones del adoquín

VISTA LATERAL



ESCALA: 1/1

VISTA FRONTAL



ESCALA: 1/1

VISTA EN PLANTA



ESCALA: 1/1

VISTA ISOMÉTRICA



ESCALA: 1/2

Proyecto de investigación: Reciclado de plástico PET para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión		
Dibujado por: Sirly M. Turpo Mamani		Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental
Plano de: Adoquín		Plano N°: 02
Rev. 02	Fecha: 10/10/2018	Escala: 1/1

Anexo 4. Constancia de ensayo de laboratorio



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

HACE CONSTAR

Que la Bachiller en Ingeniería Ambiental:

SIRLY MARILYN TURPO MAMANI

Código universitario N° 201322664

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Reciclado de plástico PET para la elaboración de adoquín mediante procesos de extrusión”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Los ensayos efectuados por la tesista fueron los siguientes:

- ✓ 23 Ensayos de Resistencia a la Compresión en Adoquines

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales, llevándose a cabo el 27 de junio del 2019.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiani, 01 de julio del 2019



Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil

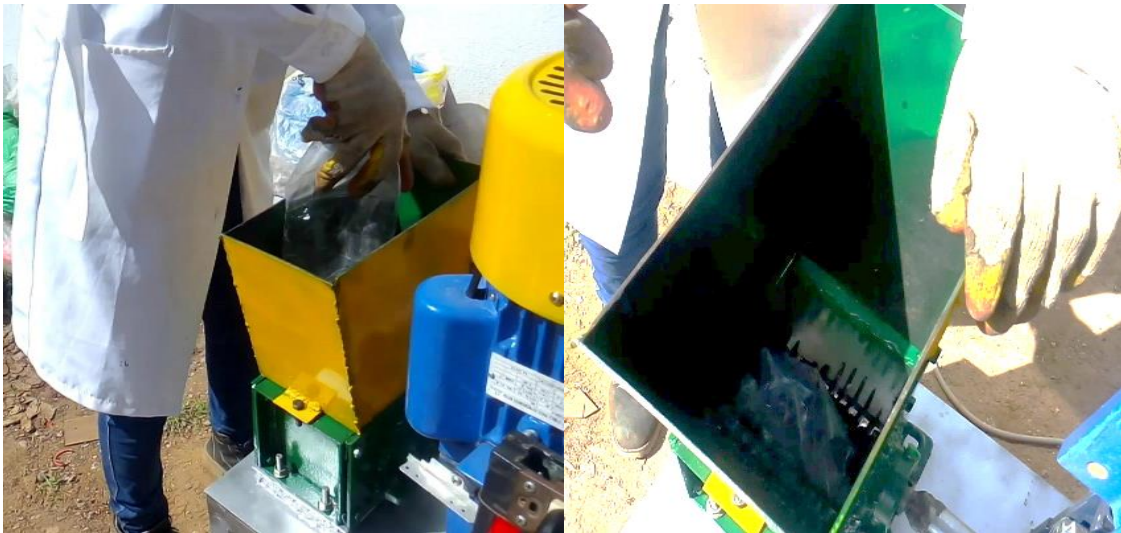


Ing. Yesenia Apaza Pinto
Jefe de Laboratorio

Anexo 5. Panel fotográfico



Fotografía 1. Recolección y selección del plástico botellas PET



Fotografía 2. Trituración de plástico.



Fotografía 3. Lavado del PET triturado y secado



Fotografía 4. Preparado de la arena fina



Fotografía 5. Preparado de la mezcla



Fotografía 6. Alimentación de la extrusora



Fotografía 7. Recepción del material fundido y moldeado del adoquín.



Fotografía 8. Enfriamiento del adoquín en una cubeta de agua.



Fotografía 9. Proceso de desmoldado.



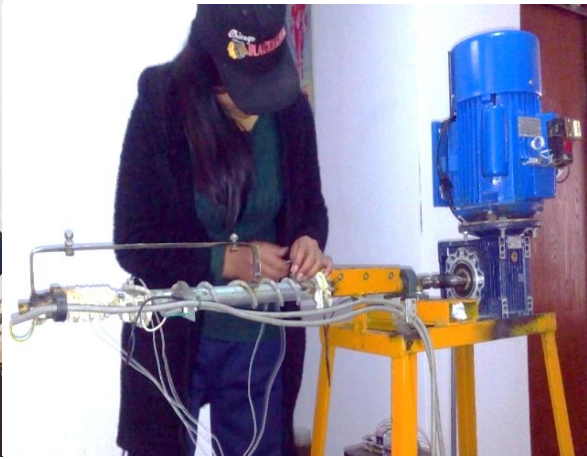
Fotografía 10. Las cuatro pruebas obtenidas



Fotografía 11. Muestras de laboratorio



Fotografía 12. Ensayos en el laboratorio



Fotografía 13. Corte y colocado de calentadores



Fotografía 14. Husillo de la extrusora.



Fotografía 15. Extrusora de plástico PET y arena fina