

AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO MECÁNICO DE RECICLAJE DE BAJO
COSTO A PARTIR DE BOTELLAS PET

CRISTIAN LEONARDO VARGAS CASTRO
JUNIOR ARLEY CABEZAS GUACANEME

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2019

AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO MECÁNICO DE RECICLAJE DE BAJO
COSTO A PARTIR DE BOTELLAS PET

CRISTIAN LEONARDO VARGAS CASTRO
JUNIOR ARLEY CABEZAS GUACANEME

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico y de
Telecomunicaciones

Director
JOSE ROBERTO CUARAN VALENZUELA
Ingeniero Electrónico, MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, MAYO DE 2019

Dedicatoria.

El presente Proyecto de Grado de grado se lo dedicamos a nuestras familias, ya que cada una nos apoyó incondicionalmente para cumplir nuestros sueños de ser ingenieros electrónicos y de telecomunicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Daniel Ávila por su apoyo y total enseñanza durante el inicio de este proyecto, adicionalmente agradecemos a cada uno de los docentes de ingeniería quienes nos enseñaron muchos de los pilares para que este proyecto fuera posible. También agradecemos al ingeniero. José Cuarán quien este proyecto hasta el final.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACION	17
4. ANTECEDENTES	18
5. MARCO TEÓRICO	24
5.1 Plástico	24
5.1.1 Tipos de plásticos	25
5.1.2 Temperatura ideal para moldear el PET	26
5.2 Sistemas de reciclaje:	27
5.2.1 Reciclaje químico	27
5.2.2 Reciclaje mecánico	28
5.3 Sensores	28
5.3.1 Sensores de presencia	28
5.3.2 Tipos de sensores de presencia	29
5.3.3 Sensores de temperatura	31
5.4 Controladores electrónicos	32
5.4.1 Tipos de controladores	32
6. METODOLOGÍA	36
6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	36
6.2 DISEÑO	37
6.3 IMPLEMENTACIÓN	37
6.4 PRUEBAS	37
7. DISEÑO	38
7.2 EXTRUSORA:	38
7.2.1 Proceso:	39
7.3 DISEÑO ELECTRÓNICO	41
7.4 Elementos del sistema	42
8. IMPLEMENTACIÓN	45
8.1. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA	45
8.2. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA	48
8.2.1. PCB	48
8.2.2. Fase de calibración	48
8.2.3. Fase de control:	50
9.PRUEBAS DEL PROTOTIPO	56
9.1. Pruebas de consumo	56
9.2 Pruebas a componentes	57
9.3. Pruebas de producción	57
9.4. Prueba de cantidad de producción	59

9.5. Pruebas de las cuerdas	59
9.6 Pruebas de etapa de enfriamiento	61
9.7 Comportamiento del sensor de temperatura.....	61
9.8 Sistema de enrollamiento.	62
9.9 Pruebas en zonas rurales.	63
10. CONCLUSIONES	64
11. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	65
12. BIBLIOGRAFÍA.....	66
13. ANEXOS	69

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de plásticos.....	26
Tabla 2 Sensores de presencia.....	30
Tabla 3 Tipos de sensores de temperatura.....	31
Tabla 4 Tipos de controladores.....	33
Tabla 5 Tipos de motores.....	35
Tabla 6. Características técnicas mínimas requeridas de los elementos.....	43
Tabla 7. Análisis de elementos. (Cotización e investigación de materiales).....	44
Tabla 8 Costo proyecto con elementos seleccionados.....	55
Tabla 9 Tabla de consumos.....	57

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Figura decorativa a partir de PET	18
Figura 2 Botellas PET	24
Figura 3 Tipos de plásticos	25
Figura 4 Sensores de presencia.....	29
Figura 5 Flujograma metodología	36
Figura 6 Diseño de la extrusora	38
Figura 7 Partes de la extrusora	39
Figura 8 Diagrama de flujo del proceso a automatizar	40
Figura 9 Diagrama de bloques general del proceso automatizado	42
Figura 10 Broca de madera helicoidal.....	45
Figura 11 Barril o cilindro intercambiador de calor	46
Figura 12 Estructura de la extrusora, vista lateral	47
Figura 13 Estructura de la extrusora, vista frontal	47
Figura 14 Diseño e implementación de la PCB	48
Figura 15 Calibración de los sensores de temperatura	49
Figura 16 Termopar (Sensor de temperatura).....	50
Figura 17 Controlador Arduino	51
Figura 18 Motor de la extrusora	51
Figura 19 Sensores infrarrojos.	52
Figura 20 Termopar con modulo tipo K para Arduino	52
Figura 21 SCR de control de temperatura	53
Figura 22 Etapa de enfriamiento	53
Figura 23 Fuente de alimentación	54
Figura 24 Pruebas de consumo.....	56
Figura 25 Primera prueba de producción	58
Figura 26 Resultados primera producción	58
Figura 27 Segunda prueba de producción de cuerda	59
Figura 28 prueba de amarre a caja	60
Figura 29 Sello metálico para cuerdas	60
Figura 30 Etapa de enfriamiento en funcionamiento.....	61
Figura 31 Comportamiento de la temperatura y el controlador	62
Figura 32 Sistema de enrollamiento.	63
Figura 33 Diagrama electrónico detallado.....	69
Figura 34 Diagrama electrónico de activación de resistencias de calefacción	70
Figura 35 Circuito de potencia de alimentación para motor de extrusora.	70
Figura 36 Diagrama electrónico del sensor de presencia.	71
Figura 37 Diagrama electrónico del sensor de temperatura.....	71
Figura 38 Plano componentes de la PCB	75
Figura 39 Plano de pistas PCB	76
Figura 40 Plano de pistas con marcación de componentes.....	76
Figura 41 Precauciones	77
Figura 42 No insertar los dedos	78
Figura 43 Botón de parado de emergencia	78

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. Diagrama electrónico detallado del sistema.....	69
Anexo B. Diagramas electrónicos de los actuadores del sistema.....	70
Anexo C. Programa del Arduino	72
Anexo D. Planos de la PCB.....	75
Anexo E. Manual De Usuario.....	77

GLOSARIO

AUTOMATIZACION: Es el uso de sistemas o elementos computarizados que sirven para controlar maquinas o procesos industriales

ARDUINO: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

ENERGIA LIMPIA: Excluye cualquier tipo de contaminación resultante de su obtención, desarrollo y uso.

EXTRUSORA: La extrusora es una máquina que lleva a cabo el proceso de extrusión, proceso el cual se basa en empujar material (en este caso, PET), a través de un cilindro con una temperatura ideal para que el material sea maleable y se pueda extraer la forma que deseemos.

PET: (Tereftalato de polietileno) es un tipo de plástico usado generalmente para envases de gaseosas u otros líquidos, el cual genera un gran impacto ambiental si no se le da una disposición final.

RECICLAJE: Es el proceso por el cual algunos materiales ya desechos, vuelven a ser productivos o vuelven a ser materia prima para nuevos productos.

TEMPERATURA: magnitud física que hace referencia al movimiento de las partículas de un cuerpo, las cuales están directamente relacionadas con la sensación de calor y frío.

RESUMEN

Como pilar del presente Proyecto de Grado se pretende dar un uso eficiente y amigable al medio ambiente a todos los desechos plásticos generados por las botellas PET, evitando así que estos desechos lleguen al mar y reutilizando estos desechos en algo que pueda ser usado con mayor frecuencia.

Al evidenciar esta necesidad, se tomó la decisión de diseñar y automatizar un sistema mecánico y electrónico de reciclaje el cual permitirá obtener cuerda plástica obtenida de materiales PET. Se inició con la investigación de antecedentes en donde se encontraron sistemas similares al que se planteó, pero a mayor escala y un costo demasiado elevado, por lo cual, se pensó en un diseño con materiales de bajo costo y que esté al alcance de todas las personas incluyendo los hogares.

Se investigó el proceso que lleva a cabo una extrusora, en donde el material es ingresado a una tolva, es te luego es llevado por un tornillo sin fin a través de un cilindro a alta temperatura, este hace que el material se maleable y de allí pasa a una boquilla con un diámetro específico (diámetro de la cuerda) y luego es enfriado.

Se realizó el diseño y la implementación de una extrusora comprando los materiales mecánicos por aparte, siempre con la asesoría de un ingeniero mecánico, se compró el tornillo para excavación (que es muy similar al tornillo sin fin) quien es el que lleva el material al cilindro y la boquilla y con base a las dimensiones de dicho tornillo, se realizó el corte y la elaboración del cilindro de la extrusora, luego la boquilla y por último se realizó el proceso de automatización del proceso.

Se realizó una investigación sobre los materiales ideales para realizar la automatización del proceso que sean de bajo costo y que cumplan con las especificaciones técnicas que se requieren para llevar a cabo el proceso con calidad, dichos materiales fueron, resistencias térmicas, motores de corriente directa, sensores, entre otros.

Se realiza un ensamble y calibración de los elementos que afectan el funcionamiento de manera directa al proyecto, esta calibración se lleva a cabo con junto con elementos patrón para la calibración de sensores y de allí la calibración de los actuadores.

Se realizan pruebas finales realizando ajustes en el control de la temperatura y en los tiempos de funcionamiento del tornillo, estas correcciones luego de ser hechas, la extrusión funciona a satisfacción.

PALABRAS CLAVES: Reciclaje, reutilización, extrusión, calibración y sincronización, futuro sostenible y automatización.

INTRODUCCIÓN

La automatización de un proceso mecánico de reciclaje de bajo costo a partir de botellas PET. Es un nuevo sistema de reciclaje para botellas PET de manera inmediata. En la actualidad existen diversas tecnologías para el proceso de reciclado de plástico. Para envases PET hay tres maneras diferentes de aprovechar una vez termina su vida útil: someterlos a un reciclado mecánico, a un reciclado químico, o a un reciclado energético empleándolos como fuente de energía.

El reciclado mecánico es el más utilizado. Consiste en pasar el material tipo PET en varias etapas, separación, limpieza, trituración y un método de compactación. Las botellas son limpiadas de etiquetas, papel u otros residuos, para luego pasar por un molino y obtener pequeños trozos de material PET que alimentan una extrusora, la cual genera un material nuevo y compactado.

En este Proyecto de Grado se lleva a cabo la automatización de una máquina de reciclaje que a partir de envases PET permite obtener cuerdas plásticas, cabuya, o suncho. Este material puede ser usado en fincas cuya actividad económica es la agricultura, o por transportadoras como Servientrega, para embalaje o aseguramiento de cajas o mercancía general.

El diseño mecánico se adaptó de un proyecto llamado "Precious Plastic" en donde todo el proceso es llevado a cabo de manera manual. El sistema electrónico consistió en realizar la automatización del proceso, controlando: la velocidad de la extrusora, el control de encendido o apagado del tornillo de la extrusora, la temperatura de los elementos generadores de calor en el cilindro de la extrusora para hacer que el material sea maleable, la velocidad de enrollamiento o de recolección del material final y la visualización de los parámetros descritos anteriormente

En este Proyecto de Grado se describe el problema, los antecedentes y los marcos teóricos y conceptuales relacionados. Se describe además la solución propuesta, desde el diseño hasta la fase de pruebas.

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El reciclaje y el cuidado del medio ambiente es un factor vital para el ser humano y por ende casi todos los países promueven campañas para generar conciencia de la importancia de este.

“En Colombia se consumen aproximadamente 24 kilos de plástico por persona al año, lo cual puede conllevar a un tsunami ambiental por cuenta de la contaminación generada en ríos y mares” ¹

En Colombia se llevan a cabo proyectos de reciclaje en los que realizan un proceso corto de recolección y separación de materiales, pero no lo procesan a tiempo. En algunas ocasiones este material se pierde y en otros casos, cuando se realiza el proceso de reciclaje y aprovechamiento PET, se hace a través de equipos muy costosos que son fabricados en otros países y traídos a Colombia, por lo tanto, tiene costos arancelarios, lo cual, encarece el equipo y causa que no todas las empresas lo adquieran.

Por otra parte, en compañías cuya actividad económica está basada en el transporte de mercancías o agricultura que comercializa nacional e internacionalmente, que requieren usar algún tipo de cuerda para embalaje o aseguramiento de cajas, es idóneo diseñar una máquina automatizada que aproveche los desechos plásticos, como insumo para utilizarlos en empaque de productos.

En este orden de ideas, en este Proyecto de Grado se buscó dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Cómo desarrollar un sistema de reciclaje automático que genere amarres o cuerdas plásticas a partir de la resina obtenida de botellas PET?

¹ El Espectador, Actualidad, 11 noviembre del 2018, ¿Cuántos kilos de plástico se consumen en Colombia?, <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/cuantos-kilos-de-plastico-se-consumen-en-colombia-articulo-823132>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de reciclaje automático que genere amarres o cuerdas plásticas a partir de la resina obtenida de botellas PET.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información sobre los procesos de reciclaje para identificar la instrumentación requerida.
- Diseñar un sistema mecánico y electrónico para reciclar envases de material PET.
- Realizar la estructura de programación para procesos de automatización y control.
- Validar funcionamiento y aplicación del sistema con material reciclable en zonas rurales.

3. JUSTIFICACION

El reciclaje es una de las herramientas más importantes para el ser humano en la actualidad, es aquella una de las causas por el cual se desarrolla el presente proyecto, en dónde se busca hacer un uso eficiente de los materiales como lo son los polímeros o las botellas PET, permitiendo reutilizar estos materiales los cuales generalmente no tienen un fin adecuado.

La automatización, es parte esencial para el desarrollo de este Proyecto de Grado, en donde se pretende desde la programación de un microcontrolador, manejar y ejecutar el proceso de reciclado a partir de la resina. Esto permite la aplicación de diferentes conceptos vistos durante el programa de Ingeniería Electrónica y de telecomunicaciones, conceptos como instrumentación en el manejo de sensores, actuadores y control de las resistencias para calentar la boquilla de la extrusora, electrónica industrial para el control de los motores, y electrónica digital para la programación del controlador.

4. ANTECEDENTES

Cortés et al. describen en su artículo: “el reciclaje del material polímero”, describe la obtención de placas decorativas a partir de ese material, puntualmente lo que se describe es el proceso donde a partir de PET reciclado se hace la obtención de placas decorativas para el hogar. Para esto del material PET es reciclado, lavado y cortado en cuadros de aproximadamente 1 cm y otro de 2 cm posteriormente, es llevada una máquina que realiza el proceso de inducción hacia el molde que al final se entrega una placa decorativa para los hogares (ver figura 1).²

Figura 1 Figura decorativa a partir de PET



fuelle: video. youtube: “obras artísticas con material reciclado llenan casa de ecologista [consultado el 7 de mayo de 2019, 3:08pm]. disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=17BFwCbU514>³

En correlación a lo anterior, José Manuel et al. proponen en su artículo soluciones prácticas como que los empresarios del PET asignen dinero al reciclaje, o el involucramiento de los servicios municipales de limpieza, fueron algunas de las sugerencias de los empresarios entrevistados.

² Cortés, M.Clara Ortiz, & Rosero, J. E. D. (2018). Evaluación de un proceso no convencional de reciclaje de PET ámbar para la obtención de placas decorativas. *Informador Técnico*, 82(1), 41-49. <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/central/docview/2099347788/BFE783665AF34BA7PQ/1?accountid=45660>

³ video. youtube: “Obras artísticas con material reciclado llenan casa de ecologista [consultado el 7 de mayo de 2019, 3:08pm]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=17BFwCbU514>

El reciclaje se convierte esta vez en una mejor opción de negocio, pero independiente a la obtención de dinero a través de este reciclaje, se tiene que observar primero como una responsabilidad social. La responsabilidad social debe ser adquirida por toda la ciudadanía y por todo el mundo.⁴

Además, un grupo de estudiantes de energía de sanación de innovación tecnología con el PET, se dieron cuenta que el material de construcción del PET actualmente tiene opciones de reciclaje, pero no en gran diversidad, y la idea es modificar esa construcción del material para darle una mayor diversidad y que su reciclaje puede hacerse óptimo, para posibilitar la elaboración de utensilios para el hogar como escoba u otros dispositivos de este material a partir del reciclaje y que estos dispositivos puedan ser comercializados.⁵

Por otra parte, un artículo titulado “Reciclaje Sostenible de Botellas de PET en Rio de Janeiro” habla acerca del sostenimiento a partir del reciclaje de botellas PET. Se enfoca en que, si se hace un buen reciclaje de estas botellas, se puede generar una sostenibilidad económica para el país y para la ciudad.

Como ya se ha mencionado en artículos anteriores, el reciclaje botellas PET es uno de los negocios más viables en la actualidad, haciendo así una un aporte a la economía y un aporte al medio ambiente ya que es necesario para el planeta⁶

Es de anotar que el reciclaje no va solamente para los hogares como ya se había evidenciado. En México, desde 2014 se han abierto varias plantas de reciclaje PET y desde ese año se procesaron 65000 toneladas de botellas en Toluca. Para la época se busca ampliar complejo para establecer socios refresqueros que invierten \$100000 para tal fin. Su misión es establecer un reciclado con todos los socios de refrescos, liderados por el 49% de las acciones de Arca Continental, ya el resto correspondía Corporación Coca-Cola México Costa Rica y embotelladora de Colima.⁷

Y un problema del 2010 fue la Insuficiente recolección de envases PET que afectó negocio de reciclaje. Ramírez presenta en su artículo que en el 2010 en México se consumieron 770,000 toneladas de resina PET, pero la resina PET fue derivada del petróleo, más no fue reciclada, lo que indica claramente un mal manejo por parte

⁴ José Manuel López Y Jonathan Ruiz. (2003, Apr 08). Demandan reciclar el PET. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/307158405?accountid=45660>

⁵ Ramos, A. (2007, Jan 21). Declaran guerra al PET: Promueven la campaña 'crash-pum'. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/307817232?accountid=45660>

⁶ Luis Edmundo, C. L., & José Henrique, P. M. (2003). *Sustainable recycling of PET bottles in rio de janeiro title: Reciclaje sostenible de botellas de PET en rio de janeiro*. St. Louis: Federal Reserve Bank of St Louis. Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1698543083?accountid=45660>

⁷ Olvera, S. (2014, Jul 17). Abren mega planta de reciclaje de PET. *Mural* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1545536404?accountid=45660>

del reciclaje y de las personas que desechan estos envases. De las 7 70,000 toneladas que se usaron para fabricar materiales plásticos, solo el 0,2 % era material reciclado.⁸

ECOCE (Asociación Ambiental Sin Fines de Lucro) campaña de comunicación 2012 da inicio la campaña de comunicación. En el 2012 se pretendió culturizar a los mexicanos en el reciclaje y en el manejo de la separación de residuos de envases. Lo anterior forma parte también de la inducción nacional de reciclaje, que corresponde al valor agregado de las materias primas, generando empleo y beneficio social para México, llegando a unas capacidades de 151000 toneladas por año. Las empresas involucradas en estas son introducción mexicana de reciclaje, entre otras empresas que generan desde reciclados en el sector alimenticio hasta fibra para cortar poliéster.⁹

Actualmente México supera en capacidad de reciclaje a la Unión Europea, Estados Unidos y a Japón, y en los últimos cinco años esta industria mexicana ha hecho inversiones de 165 millones de dólares para hacer ampliaciones y alcanzar la capacidad actual que tiene el país.

El concepto alimenticio es bastante delicado, ya que cuando un envase de PET es recuperado de la basura, atraviesa por varios procesos de higiene y se convierten en resina de hojuelas que se transforma en envases para el sector alimenticio. Esto demuestra como desde el 2013 México ha hecho grandes avances en cuanto el reciclaje del material PET.¹⁰

FEMSA COCA-COLA de Panamá instalo en el 2017 una planta de reciclaje para botellas PET, en lo que se invirtió de forma inicial alrededor de 150 mil a 200 mil dólares para los estudios de factibilidad. La etapa de análisis para la construcción de la planta recicladora de PET en Panamá finalizo en el mes de diciembre del 2006 y la viabilidad de la planta permitió su instalación den el año 2007 para procesa los envases provenientes de cualquier compañía con el requisito de que sea PET para el sector alimenticio.¹¹

Para septiembre 2017 en Guatemala México, concluyo que clasificar los desechos era impensable, incluso se creía innecesario, hasta hace unos años, pero en

⁸ Ramírez, Z. (2011, Nov 29). Insuficiente recolección de envases PET afecta negocio de reciclaje. *Noticias Financieras* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/906349725?accountid=45660>

⁹ Inicia ECOCE campaña de comunicación 2012. (2012, Jun 06). *Reformat* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1018656430?accountid=45660>

¹⁰ Olvera, S. (2013, Oct 10). Lidera Mexico reciclaje de PET. *Mural* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1440871131?accountid=4566>

¹¹ Ramos, A. (2011, Jun 11). Promueven módulos para reciclaje de PET. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/873733406?accountid=45660>

realidad, la necesidad económica y a la vez la convicción de contribución con el medio ambiente ha cambiado muchas familias a implementar esta práctica. Planes de ordenamiento territorial plantean la solución para que no solamente las personas que encuentran un estilo de vida en el reciclaje obtengan dinero de aquí, sino que también las familias se unan para generar un cambio a mayor escala.¹²

Adicionalmente, el 17 de mayo del 2018 se promueve la cultura de reciclaje para reducir impacto ambiental en Guatemala. La ONU para la Educación, a Ciencia y la Cultura (UNESCO) designo el 17 de mayo como Día de Reciclaje, con el fin de sensibilizar a todos los ciudadanos sobre la importancia de proteger el medio ambiente. Campaña muy significativa ya que con esto pueden lograr beneficios ambientales de gran impacto.¹³

Es indudable que México es el líder a nivel mundial en el manejo del reciclaje, siendo un aspecto muy positivo para el país, al reciclar más de 3´188.000 toneladas PET, así lo subrayó el presidente de ECOCE. Es de anotar que en tan solo 1 año se concientizo a gran parte de la población mexicana en la importancia del reciclaje, lográndose entonces un gran impacto sobre la ciudadanía y repercutiendo a su vez a nivel mundial con gran aporte en reciclaje, metas a las que todos los países les están apuntando.¹⁴ Sin embargo, la producción de plásticos PET crece un 6% en el mundo, lo cual claramente hace un llamado al reciclaje. El material PET es uno de los factores más contaminantes a nivel mundial y el hecho de que este crezca, claramente obliga a que se inicie un plan de contingencia de todos los países del mundo, en donde se alineen a favor de la preservación del medio ambiente, creando entonces propuestas de valor y de cambio de mentalidad a los habitantes de cada país.¹⁵

Por otra parte, la tercera conferencia de mercados de tecnologías para envases celebrado en Sao Pablo el 13 y 14 de junio de 2012 estudia acerca del uso responsable de los polímeros y los envases que son generados a partir de derivados del petróleo. Plantea la forma de estudiar actualizaciones en la industria mediante los sistemas de reciclaje más eficientes y menos costosos.¹⁶

¹² Cesar Perez Marroquín. (2017) ¿Sabía que reciclar sus desechos le trae cuenta? De <https://www.prensalibre.com/ciudades/sabia-que-reciclar-sus-desechos-le-trae-cuenta-porque-se-gana-dinero/>

¹³ Promueven cultura de reciclaje para reducir impacto ambiental. (2018, May 17). *Notimex* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/2039823030?accountid=45660>

¹⁴ México, líder en manejo y reciclaje de PET a nivel mundial. (2017, Oct 19). *Notimex* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1952699403?accountid=45660>

¹⁵ Morales, R. (2006, Nov 10). Producción de plástico PET crece 6% en 2006; source: El economista]. *Noticias Financieras* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/467438627?accountid=45660>

¹⁶ La tercera conferencia SAPET (mercados y tecnologías de envases PET de Sudamérica - south américa PET packaging markets & technologies) en sao paulo se enfoca en el crecimiento y expansión de la

Ahora bien, grandes compañías han hecho un aporte significativo al reciclaje continuando con las actualizaciones en las industrias, por ejemplo:

FEMSA COCA-COLA de Panamá planea instalar el 2007 una planta de reciclaje para botellas PET, en la que invertiría de forma inicial alrededor de 150 mil a 200 mil dólares para los estudios de factibilidad. La etapa de análisis para la construcción de la planta recicladora de PET en Panamá finalizaría en diciembre próximo y de ser viable, la planta se instalaría en el 2007 para procesar los envases provenientes de cualquier compañía, solo con el requisito de que sea PET para el sector alimenticio.¹⁷

Países como Los Estados Unidos les apuestan a nuevas tecnologías, en el 2012 compraron una planta de reciclaje con capacidad de 2000 toneladas de reciclaje diario, una planta inglesa que promete gran contribución al país y al medio ambiente. La planta cuenta con tecnología que permite el reconocimiento electrónico del poliéster que luego será usado en la fabricación de nuevas botellas y empaques de alta calidad para alimentos, tapetes y ropa.¹⁸

Y continuando con el tema de negocios, “Unilever busca desplazar a Nestlé”. En el 2005 FEMSA Coca cola dio arranque oficial a su planta de reciclaje de 25,000 toneladas para material PET. Esto indica claramente que el mundo y las grandes compañías están haciendo avances enfocados hacia el reciclaje y el cuidado del medio ambiente ya que es una necesidad mundial. Unilever otra de las más grandes compañías del mundo se unió a esta campaña con una máquina que recicla 15,000 toneladas de material para un gran número de sus productos que utilizan botellas plásticas, y que corresponde a un compromiso social y conciencia de lo que está sufriendo el mundo.¹⁹

Pero, es preferible entonces que los proveedores de resina puedan cobrar una cuota los usuarios de este material y se aplique específicamente en la recolección y reciclaje el mismo y no en un impuesto, opino Francisco Garza director general de la embotelladora. El reciclaje del PET es más conveniente para los empresarios así mismo como para el medio ambiente. Es más conveniente para los empresarios porque es más económico la materia prima para la fabricación de los productos y

cadena de suministro de PET. (2012, Apr 25). *Business Wire En Español* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1009138897?accountid=45660>

¹⁷ David, A. J. (2006, Oct 10). FEMSA reciclara en panamá. *El Universal* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/380552732?accountid=45660>

¹⁸ Nuevas tecnologías crean mercado para la industria del reciclaje. (2012, Jun 13). *EFE News Service* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1020093921?accountid=45660>

¹⁹ Vega, M. (2005, Jul 12). Unilever busca desplazar a nestlé. *Economista* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/336439229?accountid=45660>

es más amigable para el medio ambiente porque se genera un reúso de un material que había sido desechado y que puede tardar mucho tiempo en degradarse haciendo un gran daño al medio ambiente.²⁰

En un artículo, que está basado en un reportaje titulado “a dónde va la basura que reciclamos”, se evidencia que: son importantes algunos de los datos que fueron entregados a este diario, El Mercurio, los cuales fueron incluidos en esta nota ya que son fundamentales para comprender como funciona el sistema reciclaje de la comuna de Santiago de Chile.

Respecto el reportaje habla acerca del destino que se les da a las basuras que no se reciclan, como el destino que se le da a algunos residuos que no sean tratados y que simplemente van a parar a lugares en donde su daño es incalculable, llegando así a afectar especies en vía de extinción.

El reportaje hace un llamado a la conciencia ciudadana en donde todos deben estar enfocados en el cuidado del medio ambiente, dándole prioridad al uso y a la separación de residuos de botellas PET.²¹

En el documento “Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas” (“Mechanical behavior of polyethylene terephthalate (PET) and geotechnical applications”), el material puede ser procesado por diferentes equipos que lo limpian y lo calientan, liberando bacterias que tenga el material, que corresponde básicamente un proceso general. Adicionalmente se explica el comportamiento que tiene este material al ser pasado por todos sus procesos de reciclaje. Se detalla también habla acerca de las aplicaciones geométricas como envases y elementos artísticos o decorativos que generalmente se tienen en los hogares.²²

²⁰ López, J. M., & Ruiz, J. (2003, Apr 10). Piden empresarios reciclar el PET. *Palabra* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/377500134?accountid=45660>

²¹ Mercurio, E. (2014, Sep 14). Replica. *El Mercurio* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1562458500?accountid=45660>

²² Jaramillo, E. B., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. P. (2014). Comportamiento mecánico del polietileno teresflato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas/Mechanical behavior of polyethylene terephthalate (PET) and geotechnical applications. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (70), 207-219. Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1612545704?accountid=45660>

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Plástico

Es un material cuya composición química permite ser comprimido, moldeado, extruido entre otras en una gran variedad de formas como fibras, tubos, botellas etc.

Los plásticos son químicos sintéticos extraídos del petróleo, es decir, polímeros. La mayoría de los plásticos son una larga composición de átomos de hidrógeno y carbono, lo que hace que sean muy duraderos.

Gracias a su bajo costo, versatilidad y fácil fabricación, este es usado para empaquetar toda clase de productos líquidos, sólidos y gaseosos comercializados a través del mundo. Esto es el causante del grave problema ambiental, ya que, su descomposición es de aproximadamente 500 años, es decir que, una botella que es arrojada hoy tardaría 500 años en desaparecer, lo que causaría contaminación y daño al planeta. (Ver figura 2).²³

Figura 2 Botellas PET



Fuente: Espacio sustentable: Artículo [en línea]. En ¿Qué es el pet y como se recicla? Recuperado de: <https://espaciosustentable.com/que-es-el-pet-y-como-se-recicla/> el 7 de mayo del 2019

²³ Precious Plastic, Manual Version 1.0, 2017.

5.1.1 Tipos de plásticos.

El plástico se clasifica en 7 diferentes tipos los cuales están compuestos de manera diferente. En la figura 3 se puede apreciar en pequeñas imágenes las diferencias entre los residuos plásticos, ya que son muy usados y conocidos.

Figura 3 Tipos de plásticos



Fuente: Expertos en reciclaje [En línea]. Como identificar los plásticos. Recuperado de <https://cruplas.cl/como-identificar-los-plasticos/> el 7 de mayo de 2019.

A continuación, en la tabla 1, encontrará una tabla en donde se describen los diferentes tipos de plásticos y sus características generales.

Tabla 1 Tipos de plásticos.

TIPOS DE PLASTICOS	DESCRIPCIÓN
PET (Polietileno de tereftalo)	Es no de los plásticos con mayor transparencia. Es muy usado para envasar una gran cantidad de bebidas como las gaseosas, también es usado en jarrones, peines, o cuerdas. Su reciclaje es fácil
HDPE (Polietileno de alta densidad)	Este plástico es usado generalmente para empacar comidas o bebidas, también se empaca allí aceite, shampoo, detergente. Aunque también existen muchos juguetes.
PVC (Cloruro de polivinilo)	Es uno de los plásticos más tóxicos para el ser humano y generalmente es usado para hacer tuberías.
LDPE (Polietileno de baja densidad)	Este plástico es usado para envolver objetos o también lo encontramos en bolsas delgadas y transparentes, este tipo de plástico generalmente no es reciclado.
PP (Polipropileno)	Este tipo de plástico es capaz de soportar altas temperaturas y es usado para empacar bebidas y comida.
PS (Poliestireno)	Es conocida como la espuma y su reciclaje no es muy eficiente, se encuentra en cajas para llevar, cubiertos o vasos.

Fuente: Expertos en reciclaje [En línea]. Como identificar los plásticos. Recuperado de <https://cruplas.cl/como-identificar-los-plasticos/> el 7 de mayo de 2019.

5.1.2 Temperatura ideal para moldear el PET.

En el presente proyecto, se debe tener en cuenta la temperatura ideal en la que el material PET permite ser moldeado, sin que este llegue a quemarse, ya que, si llega a una temperatura muy elevada, el producto final se puede ver afectado en su calidad y composición, y probablemente no sea lo suficientemente resistente para la utilidad que se pretende dar a este. Por ello, en la investigación se encontró que:

- Temperatura de moldeo: 87.70 ° C
- Punto de fusión: 260°C. ²⁴

²⁴ Crawford, Russell; Webb, Hayden, K.; Arnott, Jaimys; Ivanova, Elena P. (Marzo de 2013). «Plastic degradation and its environmental implications with special reference». *Polymers* 5 (1). ISSN 2073-4360.

5.2 Sistemas de reciclaje:

Un sistema reciclaje es un proceso por el cual una amplia gama de residuos y es transformada en materia prima reutilizable o en otros bienes tangibles.²⁵

Depende del fin que va a tener el material reciclado, este es pasado por un proceso en donde se puede transformar simplemente, sin necesidad de que este sea limpiado o por el contrario primero pasa por un proceso de limpieza en donde se eliminan todas las bacterias y factores que no sean propios del material para luego ser transformados en la materia prima que se desee, definido en reciclaje químico o reciclaje mecánico.

5.2.1 Reciclaje químico

El reciclaje químico es un proceso por el cual el plástico es sometido a una descomposición del material hasta que llegue a sus partículas base llamadas monómeros, luego, estos monómeros pueden ser transformados en nuevos polímeros que son reutilizados en la industria.²⁶

Para que el producto final sea de buena calidad, es necesario que, al momento de someter el plástico al proceso químico, este sea todo homogéneo, esto para no tener mezcla de polímeros lo que hará que varíe la calidad del producto final.

- Pirólisis.

Este proceso se ejecuta a altas temperaturas, alrededor de los 450° C en donde se rompen los enlaces hechos por las partículas, de esta manera se obtienen los monómeros.

- Hidrogenación o Hidrocraqueo.

Este proceso se lleva a cabo junto con partículas de hidrogeno a temperaturas entre los 400° C y los 500° C en donde se da reacción a la separación de partículas, sin que estos generen reacciones secundarias, es decir que resulta más efectivo que la pirolisis, pero este proceso es más costos por el uso del hidrogeno.

- Otros tipos de reciclaje químico.

²⁵ Conama, Metropolitana de Santiago, Sistemas de reciclaje [7 de mayo del 2019]. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/2364579/Sistema-de-Reciclaje-Completo>

²⁶ CEDEX. Residuos Plásticos. Reciclaje químico [en línea]. Recuperado de: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html> el 18 de enero del 2019

La gran mayoría de los reciclajes químicos tienen como proceso principal elevar la temperatura del polímero hasta que este llegue a un estado de separación de partículas. Por otro lado, el polímero es mezclado con químicos que reaccionan al contacto con el plástico, de igual manera en donde se genera la separación de partículas.

5.2.2 Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico consiste en triturar o destruir físicamente el plástico hasta que este quede en pequeños trozos, los cuales luego se insertan en una extrusora que transforma dicho material en el producto que se desee. Este reciclaje aplica para polímeros en los que se envasan productos de consumo que son comercializados normalmente.²⁷

Las condiciones el reciclaje mecánico.

- El plástico debe ser triturado previamente.
- Los plásticos deben ser homogéneos.
- Ausencia de partículas metálicas u otras partículas que puedan dañar la extrusora.

Etapas para el reciclaje mecánico.

1. Clasificación de polímero.
2. Trituración.
3. Extrusión.

5.3 Sensores

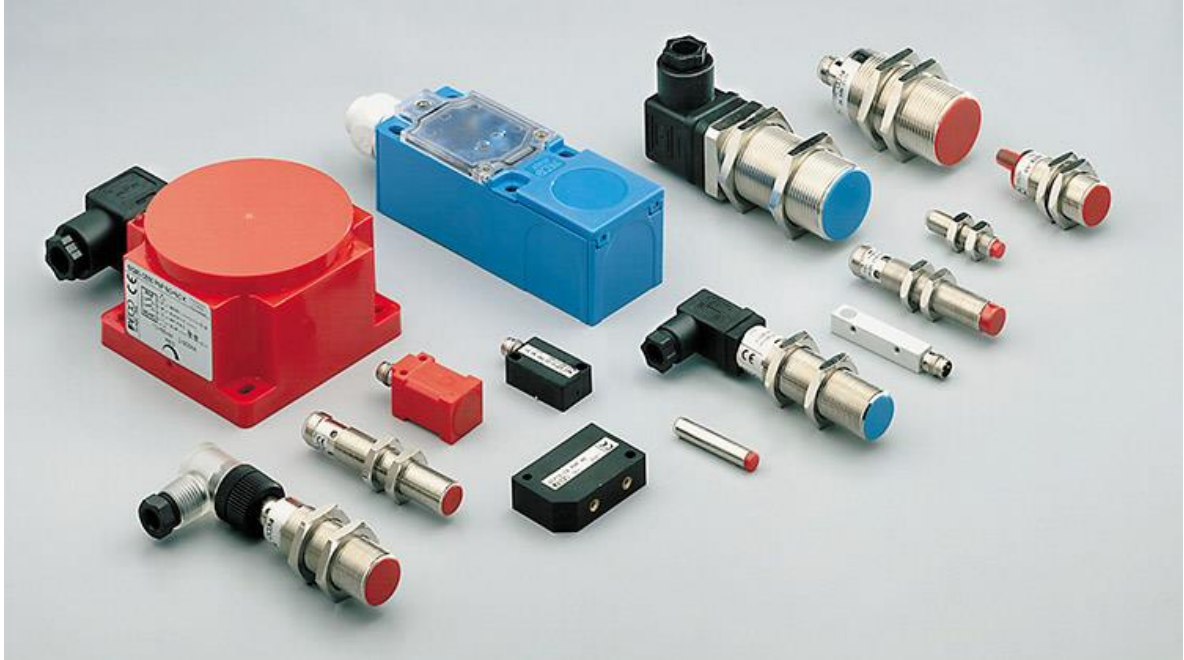
5.3.1 Sensores de presencia.

Los sensores de presencia detectan la presencia o el movimiento de un objeto en un determinado lugar o región del espacio, estos están equipados por diferentes materiales o sensores que reaccionan ante la presencia de materia, de acuerdo a la composición del sensor, así mismo reacciona a diferentes tipos de materiales por

²⁷ CEDEX. Residuos Plásticos. Reciclaje mecánico [en línea]. Recuperado de: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html> el 18 de enero del 2019

ejemplo, existen sensores resistivos que modifican su resistencia de acuerdo a la cantidad de luz recibida o sensores capacitivos que reaccionan ante la presencia únicamente de metales, entre otros, los cuales serán explicados a continuación. (Ver figura 4).

Figura 4 Sensores de presencia

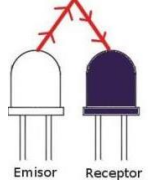

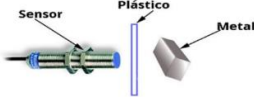



Fuente: Curso Online de Aplicación de los Sensores en los Circuitos Eléctricos de la Industria [en línea]. Recuperado de: <https://bonus cursos.com/producto/curso-online-de-aplicacion-de-los-sensores-en-los-circuitos-electricos-de-la-industria/> el 7 de mayo del 2019.

5.3.2 Tipos de sensores de presencia

A continuación en la tabla 2, encontrará una tabla con los diferentes tipos de sensores de presencia y una breve descripción del mismo junto con una imagen.



Tabla 2 Sensores de presencia

TIPOS	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Infrarrojos	Un sensor infrarrojo utiliza luces infrarrojas para detectar el cambio de frecuencia en su rayo infrarrojo, es decir, el cambio de color en un área determinada. Otro tipo de sensor infrarrojo es aquel en donde un emisor envía un Rayo infrarrojo a un receptor y en el momento en el que éste es interrumpido, se entiende que hay una presencia de algún objeto entre ambos elementos.	 <p>Fuente: Sensor Infrarrojo. Ecured. [En línea]. Recuperado de: https://www.carrod.mx/products/led-infrarrojo-emisor-ir383-para-largas-distancias el 7 de mayo del 2019</p>
Capacitivo	Un sensor capacitivo está formado por en un electrodo interno que genera una frecuencia. El electrodo externo es el material a sensar, por lo cual este debe estar conectado a alguna masa, al momento de variar la distancia de la masa, varia la capacitancia de este y de esta manera se sensan los materiales. Generalmente es usado para censar metales u otras masas de la composición densa	 <p>Fuente: Sensor Capacitivo NPN (NO), [En línea]. Recuperado de: https://www.gams3d.com/producto/sensor-capacitivo-1/ el 7 de mayo del 2019</p>
Inductivo	Un sensor inductivo es aquel que está formado por una bobina o un devanado, la cual induce una corriente que genera un campo magnético. Cuando este campo magnético es alterado es el momento en el que el sensor detecta la presencia de algún material metálico.	 <p>Fuente: Ingeniería Mecafenix. Sensor de proximidad inductivo. [En línea]. Recuperado de: https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-inductivo/ El 7 de mayo del 2019</p>
Ultrasonido	Sensor de ultrasonido es aquel que tiene un emisor y un receptor. El emisor envía una señal de ultrasonido y de acuerdo con el tiempo en el que esta señal tarda en recorrer el espacio detecta la presencia de un material o la distancia de este.	 <p>Fuente: Modulo de sensor ultrasonónico HC- SR04-P 3.3V – 5V[En línea]. HC-SR04. Recuperado de: https://www.vs-elec.fr/es/audio/552-modulo-de-sensor-ultrasonico-hc-sr04-p-33v-5v-3665662004796.html el 7 de mayo del 2019</p>

5.3.3 Sensores de temperatura.

A continuación en la tabla 3, encontrara una tabla con los diferentes tipos de sensores de temperatura y una breve descripción del mismo junto con la imagen alusiva al tipo de sensor.

Tabla 3 Tipos de sensores de temperatura.

TIPOS	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	FUENTE
Termopar	son los dispositivos más usados ya que están conectados por pares son simples y eficientes, su salida es un voltaje es muy pequeño que proporcionan diferencia de temperaturas.		Fuente: Modulo max6675 + termopar tipo k. [En línea]. Recuperado de https://www.taloselectronics.com/products/modulo-max6675-termopar-tipo-k el 7 de mayo del 2019
RTD	La RTD mide esta variable en correlación de temperaturas mediante un elemento resistivo, el cual varia la resistencia de acuerdo la temperatura, consiste en un pedazo de alambre enrollado en un núcleo cerámico o de vidrio, son inmunes al ruido eléctrico y son ideales para medir la temperatura en ambientes industriales.		Fuente: RTD (Resistance Temperature Detectors) Analog to Digital. [En línea]. Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/RTD-Resistance-Temperature-Detectors-43-ANALOG-TO-DIGITAL-CONVERTER-The-8-bit_fig2_311712698 el 7 de mayo del 2019
Termistor	Usan electrodos internos que detectan el calor YY enviar pequeños impulsos eléctricos.		Fuente: Termistor PTC (Que es y cómo funciona). [En Línea]. Recuperado de: http://comofunciona.co.com/un-termistor/ El 7 de mayo del 2019
Sensor Infrarrojo	Los sensores infrarrojos detectan los cambios de temperatura por medio de la emisión de una frecuencia infrarroja, a medida que dicha frecuencia cambia se detectarán las diferentes temperaturas. ²⁸		Fuente: Sensor de temperatura, termómetro infrarrojo MLX90614 [En Línea]. Recuperado de: https://www.webelectro.com.mx/articulo/sensor-de-temperatura-termometro-infrarrojo-mlx90614 el 7 de mayo del 2019

²⁸ LOGIBUS. Sensores de temperatura, [en línea]. Recuperado de <https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php> el 7 de mayo del 2019

5.4 Controladores electrónicos.



Un controlador es un dispositivo inteligente que se compone de entradas análogas o digitales para sensores, al igual que de salidas digitales o análogas para diferentes tipos de actuadores dependiendo del sistema que se desee controlar. Los controladores se configuran a través de teclas que tiene el mismo dispositivo, o en otros casos, se configura por medio de algún lenguaje de software como lenguaje C, Assembler. Los lenguajes de programación son una serie de instrucciones generalmente escritas en códigos o en algoritmos por los cuales, el programador le da órdenes de acción o procesamiento a un controlador.

Los controladores ofrecen flexibilidad y robustez en cuanto a configuración se refiere, es importante conocer las características de los diferentes controladores para escoger el ideal, ya que varían bastante en cuanto al precio de acuerdo con las características que nos ofrecen.

5.4.1 Tipos de controladores.

A continuación, encontrará la tabla 4, que contiene los diferentes tipos de controladores y una breve descripción del mismo junto con una imagen.

Tabla 4 Tipos de controladores.

CONTROLADOR	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
PLC	<p>Un PLC es un controlador lógico programable muy utilizado en la industria para controlar procesos electromecánicos, en donde se tienen variables de temperatura, presión, voltaje, entre otros, ya que ofrecen una gran robustez en cuanto a que es inmune al ruido eléctrico, es resistente a golpes y vibración en el sistema, algunos PLC ofrecen certificaciones IP6XX en donde son resistentes a salpicaduras y polvo, o son sumergibles, entre otros.</p> <p>Un PLC ofrece una gran flexibilidad ya que es compatible con la gran mayoría de los sistemas en computadores, este puede estar conectado en tiempo real a un servidor que le esté asignando ordenes o recibiendo información de variables controladas directamente por el PLC. Su programación generalmente es sencilla y confiable, es decir, no es volátil.</p> <p>Se compone de un microprocesador central o una CPU, que recibe y envía señales análogas o digitales desde sensores o para actuadores respectivamente.</p>	 <p>Fuente: M. A. Laughton, D. J. Warne (ed), <i>Electrical Engineer's Reference book, 16th edition</i>, Newnes, 2003 Chapter 16 Programmable Controller, el 7 de mayo del 2019</p>
Microcontrolador	<p>Es un controlador programable de creación de electrónica de código abierto, la cual está formada por software y hardware libre, flexible y de uso poco complejo para desarrolladores y estudiantes.</p> <p>Está compuesto por un controlador ATMEL (microprocesador capaz de almacenar instrucciones), tiene una interfaz de entrada para sensores digitales o análogos y actuadores igualmente digitales y análogos, los cuales ofrecen una gran flexibilidad a la hora de programar, ya que, debido a que es un controlador pensado para desarrolladores y estudiantes, poseen módulos que agilizan la implementación de un sistema controlador a través de estos.²⁹</p>	 <p>Ejemplo de microcontrolador. Fuente ARDUINO. PLACA ARDUINO UNO. [En línea]. Recuperado de http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/ el 6 de junio del 2019</p>

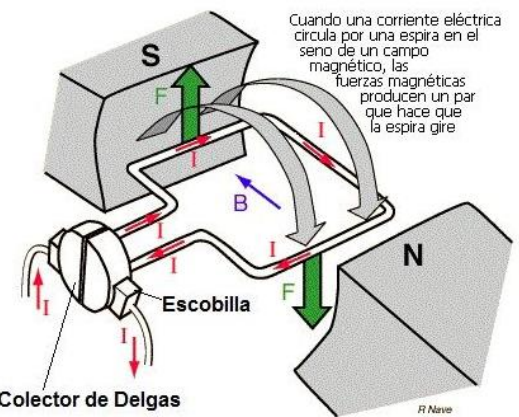
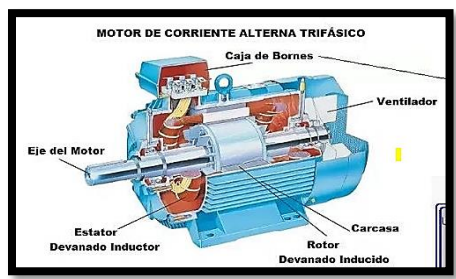
²⁹ Que es Arduino, como funciona y qué puedes hacer con cada uno. - <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>

5.5 Motores.

Un motor es un dispositivo rotatorio que realiza la transformación de energía eléctrica en energía mecánica. Este tiene múltiples usos, tanto para la generación de energía, como para el movimiento de vehículos o maquinas industriales. Su funcionamiento está basado en el fenómeno de campos electromagnéticos provenientes de una corriente eléctrica que viajan a través de una bobina, la corriente es inyectada a través de una bobina construida en cobre o en aluminio o cualquier otro material metálico que genera una atracción y una repulsión entre las paredes de un rotor metálico también, dependiendo al sentido en el que viaja dicha corriente eléctrica, esta definirá el sentido de giro del rotor.

Cabe aclarar que un campo electromagnético es una región del espacio en donde existen fuerzas de atracción y de repulsión de metales (propiedad de los metales). Existen en el mercado varios tipos de motores, pero para la ejecución del proyecto, los motores influyentes son: motores a corriente eléctrica continua y de corriente eléctrica alterna. (Ver tabla 5)

Tabla 5 Tipos de motores

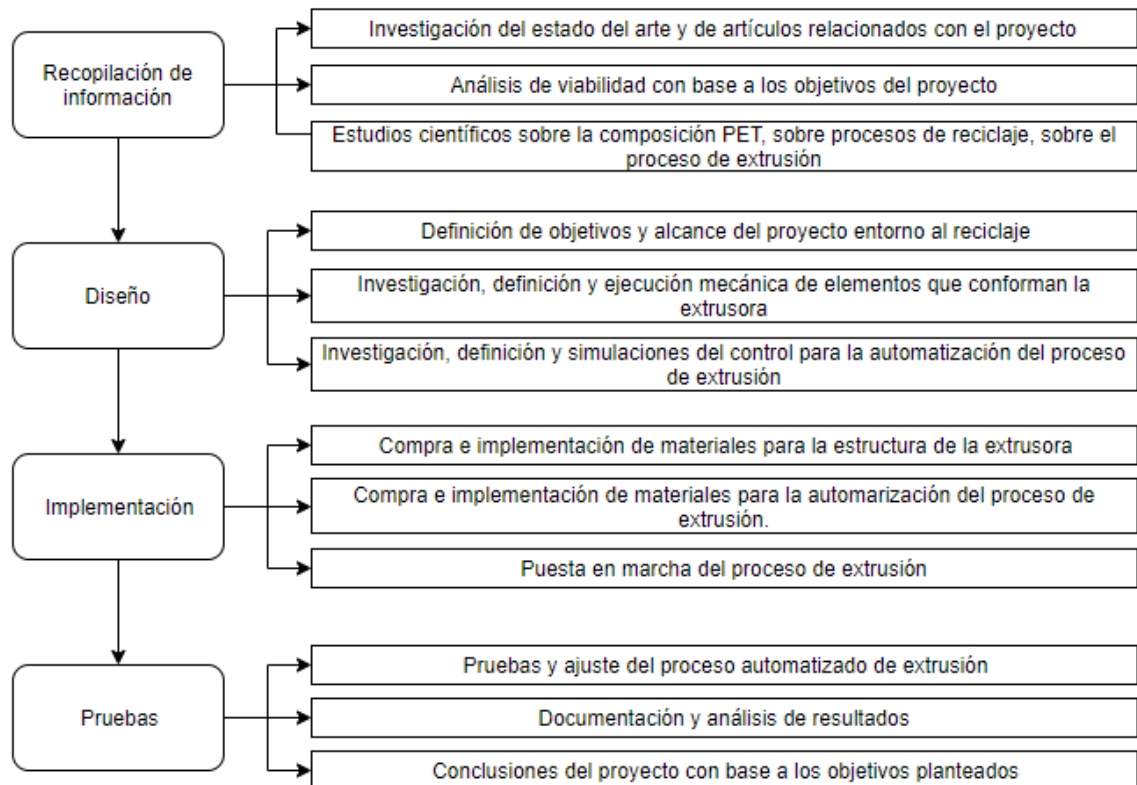
Tipo	Descripción	Imagen
<p>Motor de corriente continua</p>	<p>Un motor de corriente continua internamente está formado por 2 conductores enfrentados, uno es una espira quien es la portadora de la corriente eléctrica entrante y el otro conductor es la salida de dicha corriente.</p> <p>Al inyectar una corriente eléctrica a través de las espiras del motor, dentro de este se generan unas fuerzas electromagnéticas en el sentido contrario, como se muestra en la imagen.</p> <p>Este tipo de motores siempre tiene el mismo sentido de giro, es por eso por lo que se debe configurar y conectar de tal manera que la corriente entre y salga siempre por el mismo sitio.</p> <p>La parte fija se llama estator y es un electroimán que induce un campo electromagnético sobre la parte móvil.</p> <p>La parte móvil se llama rotor y está hecho de espiras enrolladas hechas de cobre o algún material conductor.³⁰</p>	 <p>Cuando una corriente eléctrica circula por una espira en el seno de un campo magnético, las fuerzas magnéticas producen un par que hace que la espira gire.</p> <p>Fuente: TECNOLOGÍA. Motor eléctrico [En línea]. Recuperado de: https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm el 7 de febrero del 2019</p>
<p>Motor de corriente alterna AC</p>	<p>Está basado en el principio de Faraday, el cual está fundamentado en que el movimiento de un conductor dentro de un campo magnético genera un diferencial de potencia entre sus extremos.</p> <p>Pero Nikola Tesla descubrió que la corriente trifásica alterna al pasar por una bobina genera un campo electromagnético giratorio. Estos campos, al estar enfrentados se repelen por eso genera que se mueva y a, dar el giro, la corriente alterna también cambiara de sentido y hará que nuevamente este gire.</p>	 <p>Fuente: TECNOLOGÍA. Motor eléctrico [En línea]. Recuperado de: https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm el 7 de febrero del 2019</p>

³⁰ TECNOLOGÍA. Motor eléctrico [En línea]. Recuperado de: <https://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm> el 7 de febrero del 2019

6. METODOLOGÍA

En la Figura 5 se presenta la metodología para la implementación de la automatización del proceso.

Figura 5 Flujograma metodología



Fuente: Autor

6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se llevó a cabo la búsqueda en bases de datos sobre sistemas de reciclaje, la tecnología existente en cuanto a sensores, actuadores y demás elementos necesarios para llevar a cabo la automatización de un proceso de reciclaje.

6.2 DISEÑO

En esta fase se realizó la definición de los objetivos y el alcance del Proyecto de Grado, junto con la definición y estructuración del proceso de reciclaje que se llevara a cabo (extrusión), elementos de la estructura y los elementos para automatizar este proceso. Se realizan también las simulaciones de la automatización, verificando el funcionamiento de este.

6.3 IMPLEMENTACIÓN.

En esta fase se realizó la compra de los materiales para la estructura de la extrusora y el acople de estos, al igual que la compra de los materiales y la programación de estos para automatización del proceso.

6.4 PRUEBAS

En esta fase se realizó la puesta en marcha Proyecto de Grado y la verificación de la efectividad del proceso en base a los objetivos planteados inicialmente, se realizan ajustes en la parte de control del proceso y se pone en marcha nuevamente hasta lograr que el proceso se ejecute satisfactoriamente, para así cumplir con los objetivos, al igual se realiza la documentación del Proyecto de Grado que llevo a cabo y se realizan las conclusiones.

Esta fase incluye:

1. Pruebas de componentes en el sistema, se realizan pruebas con los sensores y actuadores, verificando el buen estado de los mismo, y la correcta entrega de información comparada con un sensor patrón de acuerdo con la variable que cada sensor este midiendo.
2. Pruebas de rutina, el sistema es encendido y probado junto con material reciclado varias veces, verificando el buen estado y comportamiento del sistema en general.
3. Prueba de eficacia, en este punto se evalúa el porcentaje de efectividad que tiene el Proyecto de Grado con relación al proceso de reciclaje, y en cuanto a la extracción de la cuerda.

7. DISEÑO

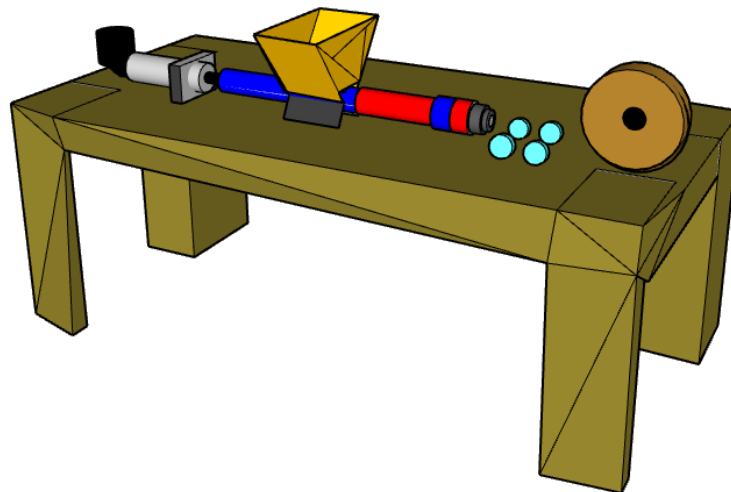
En esta fase se realizó el diseño de la parte mecánica del proyecto tomando como guía el diseño de "Precious Plastic".³¹

7.2 EXTRUSORA:

Es una maquina la cual es capaz de realizar la transformación de la forma física de un material, en este caso, la estructura será usada para obtener cuerda partir de residuos plásticos (PET).

Este equipo hace pasar el material PET a través de un cilindro con una temperatura ideal para que sea maleable y al final obtener una cuerda o suncho obtenido a partir de reciclaje PET. Ese equipo no solamente permite obtener cuerda, sino que también, es capaz de producir el elemento que se desee a partir del uso de diferentes boquillas. (Ver figura 6)

Figura 6 Diseño de la extrusora

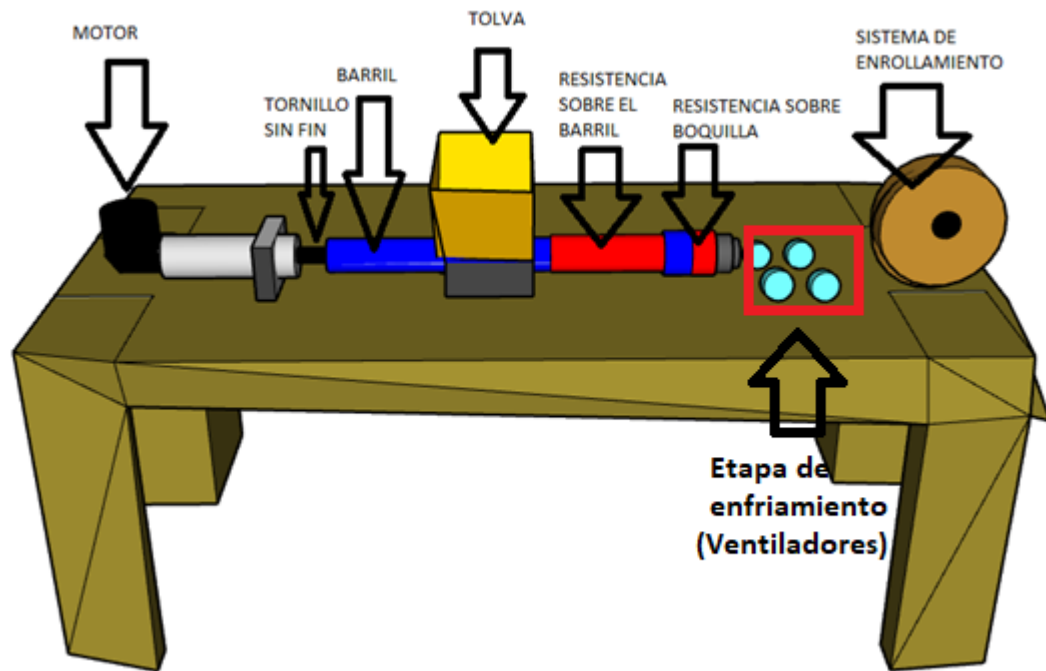


Fuente: Autor.

En la figura 7 se muestran las diferentes partes de la extrusora, las cuales serán nombradas y automatizadas en posteriores procesos del proyecto.

³¹ PRECIOUS PLASTIC. Chapter 3, Build [en línea]. Recuperado de: <https://preciousplastic.com/en/videos/build/shredder.html> 29 de noviembre del 2018

Figura 7 Partes de la extrusora



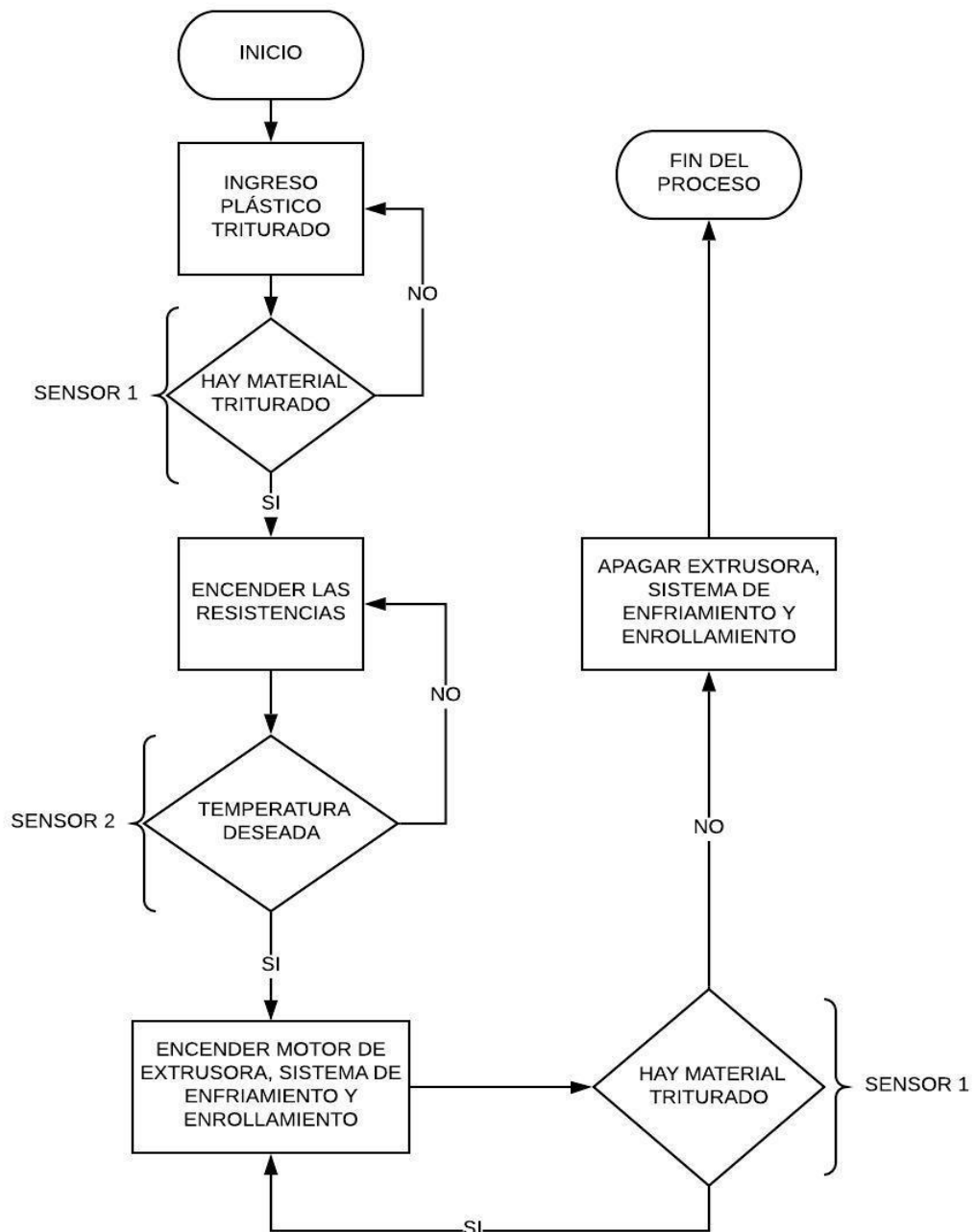
Fuente: Autor.

7.2.1Proceso:

El material PET es insertado en una tolva la cual hace que caiga sobre un tornillo sin fin que llevará el dicho material a través de un cilindro con una temperatura ideal que hace que el material PET se compacte y sea maleable. Una vez ya esté suficientemente derretido el plástico sale otra vez de una boquilla formando una cuerda constante.

En la Figura 8 se encuentra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del proceso automatizado.

Figura 8 Diagrama de flujo del proceso a automatizar



Fuente: Autor

En el flujograma de la figura 8 se evidencian las diferentes etapas que tiene la automatización en el siguiente orden:

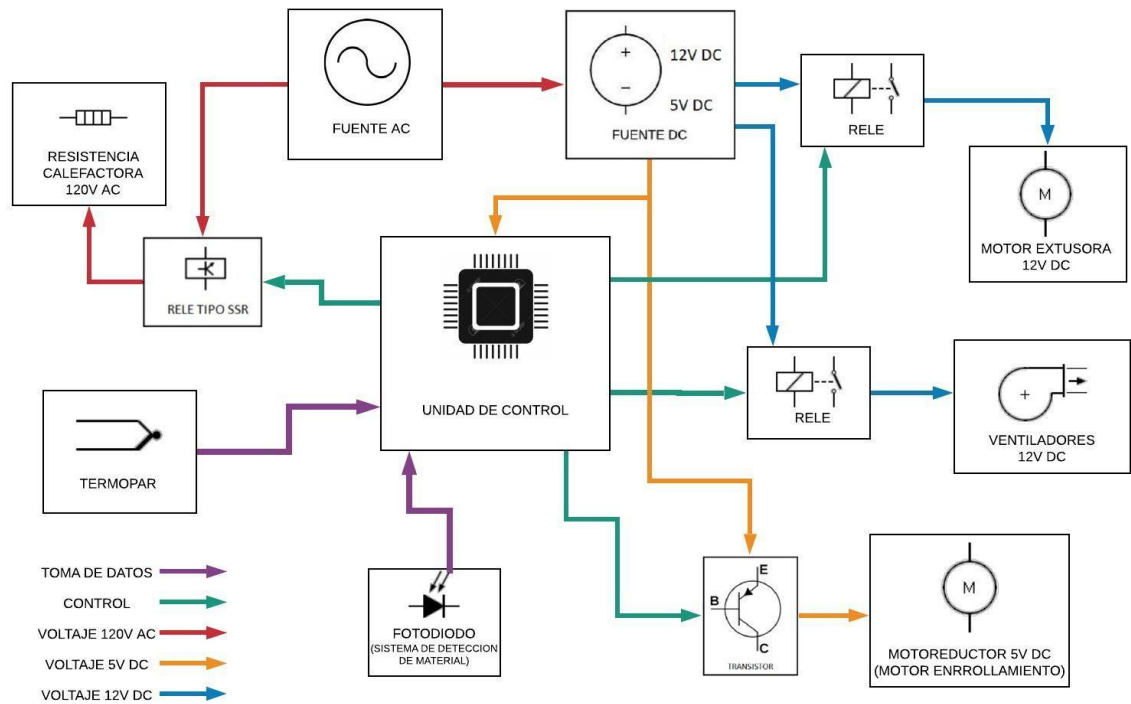
- El material triturado es ingresado en la tolva, este material es detectado por sensor 1, el cual envía esta señal al controlador.
- El controlador enciende las resistencias que calentarán y elevarán la temperatura en el barril de la extrusora. Dicha temperatura será sensada, hasta que alcance una temperatura ideal medida por el sensor 2.
- Si la temperatura es la ideal, enciende el motor de la extrusora y es sistema de enfriamiento y enrollamiento al final del proceso.
- Luego se regresa al sensor 1 en donde se vuelve a evaluar la presencia de material en la tolva.

7.2.1.1 Temperatura: La temperatura será sensada y controlada a través de un controlador en la parte electrónica del proyecto. Esa temperatura es importante controlarla debido a que debe ser ideal para que el material PET no se queme y que también este sea maleable para extraer la cuerda final.

7.3 DISEÑO ELECTRÓNICO

Partiendo del objetivo inicial, se realiza el diseño de un sistema electrónico el cual busca satisfacer con la necesidad de automatizar el proceso de reciclaje en donde las acciones que se realicen en este sistema estén controladas por el controlador electrónico. Todas las diferentes etapas de control van a estar integradas y funcionando en sincronía en un solo sistema. A continuación, en la figura 8 se presenta el diagrama de bloques general del proceso automatizado, mostrando los diferentes sensores, actuadores, unidad de control y sistema de alimentación que lo integran. (Ver figura 9).

Figura 9 Diagrama de bloques general del proceso automatizado



7.4 Elementos del sistema

En la tabla 6 se describen las características mínimas de los elementos requeridos en el sistema para poder ejecutar la automatización del proceso y algunas opciones en el mercado para cada uno. (Ver tabla 6)

Tabla 6. Características técnicas mínimas requeridas de los elementos

Descripción	Función en el sistema	Requisitos Mínimos	Opciones
Sensor de presencia	Binario, 0V o 5V (0 o 1) Detectará el estado (vacío) de la tolva	De 0 a 5 voltios DC 0.01mA Alcance: 10cm Material: Plástico	Ultrasonido Infrarrojo
Sensor de temperatura	Sensar la temperatura a la que se encuentra el cilindro para derretir el material PET sin quemarlo	Operación análoga. sensar entre 50° y 150° de manera precisa.	Termopar LM35 Termistor Termocupla tipo K Sensor Infrarrojo
Dispositivo para fundición del material	Fundir el material de la extrusora	De 100 W	Resistencia eléctrica. Reverbero a gas
Controlador	Dispositivo programable que permite controlar el sistema	-2 entradas digitales -3 Salidas digitales. -1 salida PWM	PIC Arduino PLC Raspberry
Switch automático	Elemento de encendido o apagado del motor de la extrusora	Potencia: 100W	Relé de 5V: SCR
Ventilador	Encargado de enfriar el material de la salida de la extrusora	0-12 VDC 0,48 W	Ventilador referencia N/A
Motor 1	Encargado del accionamiento de la extrusora	~1/2 HP (estimado empíricamente) Velocidad máxima: 40 rpm	Motor AC Motor DC
Motor 2	Motor para enrollamiento	Vel. Máx= Empíricamente Potencia estimada: 5W	Motor DC

Fuente: Autor.

En la tabla 7 encontrará la comparación y el análisis de los diferentes elementos que pueden ser útiles para el desarrollo de la automatización, se evalúan ventajas, desventajas de manera individual por componente. Se han subrayado aquellos que se han seleccionado para el proyecto.

Tabla 7. Análisis de elementos. (Cotización e investigación de materiales)

Componente	Costo Unitario (COP)	Ventajas	Desventajas
Sensor Ultrasonido	\$ 16.000	Alta precisión	Costoso
Sensor Infrarrojo	\$ 1.200	Económico	
Sensor infrarrojo	\$ 256.000	Alta precisión	Costoso
Termocupla tipo K	\$ 14.000	Alta precisión	
Termopar LM35	\$ 4.000	Económico	Susceptible a ruido
Termistor	\$ 5.000	Económico	Falta de precisión
Resistencia eléctrica	\$ 40.000	Fácil de controlar	Costoso
Reverbero a gas	\$ 32.000	Económico	Falta de experiencia con su fuente de energía y se requiere de instalación adicional
Arduino UNO	\$ 12.000	Fácil programación	
Raspberry PI 3 Model B+	\$ 24.000	Fácil y confiable programación	
PLC Automata Fx1n-20mr Mitsubishi	\$ 179.000	Robusto en ambientes industriales	Costoso
PIC 18f4550	\$ 25.000	Fácil programación	Volátil
Relevo	\$ 3.000	Económico y confiable	
SCR	\$ 58.000	Confiable y disparo rápido	Costoso
Motor AC convencional 1hp 120 VAC 700 W	\$ 500.000	Fuerza, velocidad, confiabilidad	Costoso
Motor DC parabrisas auto 12VDC 72W	\$ 50.000	Fuerza, confiabilidad, económico.	
Controlador de potencia dimmer	\$ 14.000	Confiable, económico, fácil de implementar	

Fuente: Autor.

Nota: Los elementos seleccionados están señalizados en color azul resaltante.

En el Anexo A se presenta el diagrama electrónico con los diferentes sensores, actuadores, etapas de acondicionamiento, etapas de potencia, entre otros.

8. IMPLEMENTACIÓN

La implementación tuvo varias etapas durante el desarrollo, inicialmente se tiene la implementación física, estructural y mecánica.

8.1. IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA

Para la implementación mecánica se basó primordialmente en encontrar una broca de madera tipo gusano (Ver figura 10), para reemplazar el tornillo helicoidal que normalmente tienen las extrusoras. Su función es llevar el material desde la tolva a través del barril que está a una elevada temperatura, hasta el cabezal o boquilla de donde se extrae el producto final.

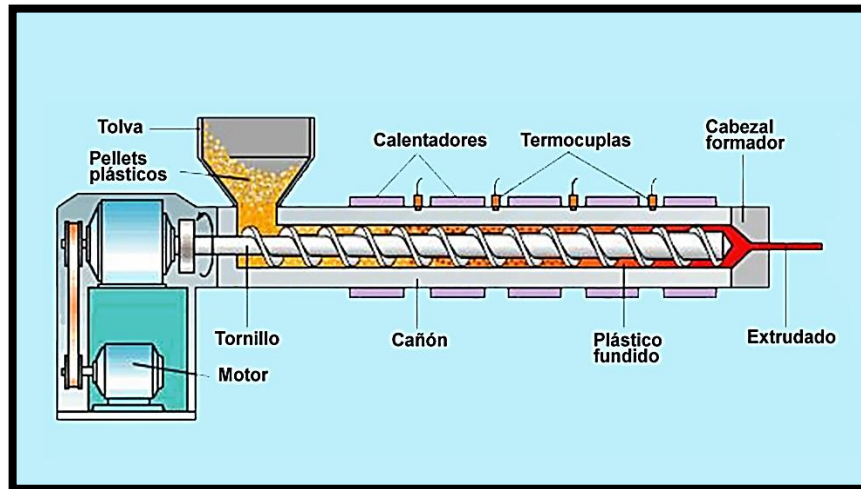
Figura 10 Broca de madera helicoidal



Fuente: Brocas de centro sólido. [En línea]. Recuperado de <https://www.irwin.com.co/tools/brocas-para-madera/brocas-de-centro-s%C3%B3lido> el 14 de mayo del 2019

Dependiendo del diámetro de esta broca, se busca un tubo hueco, cuyo diámetro interno sea el mismo que el de la broca, este tubo para formar el cilindro o barril de la extrusora, la parte más esencial de esta máquina, este tubo va a ser el intercambiador de temperatura, es decir, las resistencias calefactoras estarán rodeando dicho cilindro para calentarlo y que por medio de este cilindro el material sea moldeado. (Ver figura 11).

Figura 11 Barril o cilindro intercambiador de calor



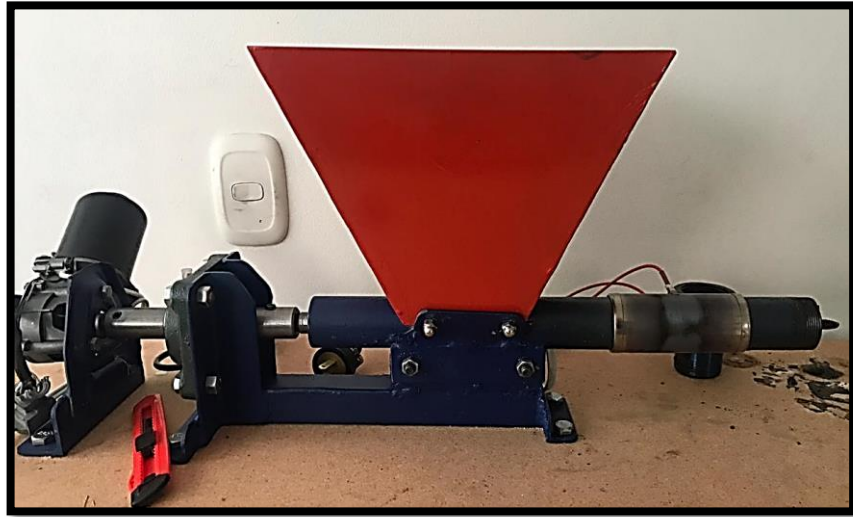
Fuente. EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLASTICOS. Esquema extrusor. [En línea]. Recuperado de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html> el 10 de junio del 2019

Ya teniendo el barril o cilindro, se procede a hacer el cabezal y la boquilla. Esta parte está situada al final del cilindro y por lo general siempre va atornillada al cilindro, el cabezal en su interior va a tener una forma cónica para facilitar el flujo del material hacia el extremo final en la boquilla. La boquilla es atornillada en el extremo final del cabezal, su función es moldear el plástico, dando la forma al producto que queremos al final. Adicionalmente, este cabezal tendrá un tornillo en la parte de salida, que va a funcionar como una llave de paso, para controlar la velocidad del flujo del material en la salida.

La tolva es la forma de introducir el material dentro del cilindro, en una parte superior del cilindro se encuentra un orificio el cual va a estar soldada a la tolva que alimenta de material a la extrusora. El tipo de tolva que se construyó es de tipo rectangular. Las dimensiones de la estructura son: alto (0.29 m), largo (0.7 m) y ancho (0.4 m).

En el montaje de la estructura, se usó marco de aluminio para realizar la mesa que soporte la máquina y tabla para la parte superior de la mesa en la que descansa la extrusora como se muestra en la figura 12 en vista lateral y Figura 13 en vista frontal.

Figura 12 Estructura de la extrusora, vista lateral



Fuente: Autor.

Figura 13 Estructura de la extrusora, vista frontal



Fuente: Autor.

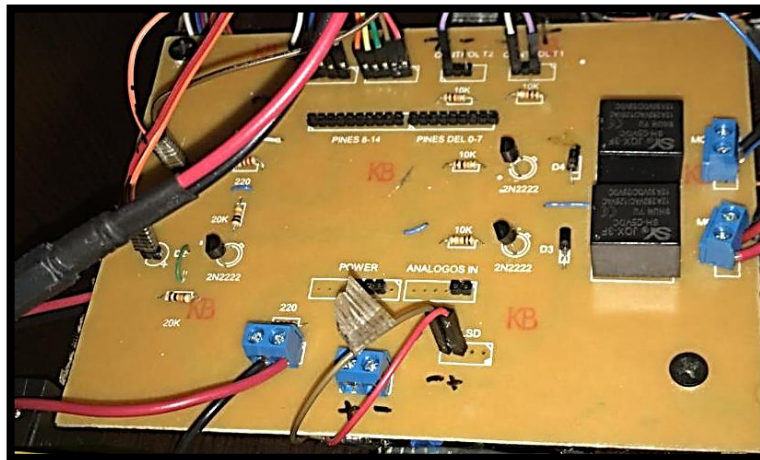
Luego de haber hecho el montaje completo de la extrusora, se procede a realizar la calibración de los sensores con el control y de igual manera con los actuadores.

8.2. IMPLEMENTACIÓN ELECTRÓNICA

8.2.1. PCB

En la figura 14 se muestra el diseño final de la placa principal de la PCB hecha en PCB Wizard³², en la donde se soldarán los elementos de control y actuadores del sistema automatizado de reciclaje. Para la elaboración del PCB se tuvieron en cuenta las entradas y salidas del controlador ARDUINO UNO ya definidas en la etapa de diseño electrónico del presente Proyecto de Grado, la fuente de alimentación y los componentes necesarios para el control también fueron tomados en cuenta junto con sus tamaños y conexiones adecuadas. Para estas conexiones se usaron borneras de tornillo para asegurar los conductores de los sensores que estarán instalados en la estructura de la extrusora.

Figura 14 Diseño e implementación de la PCB



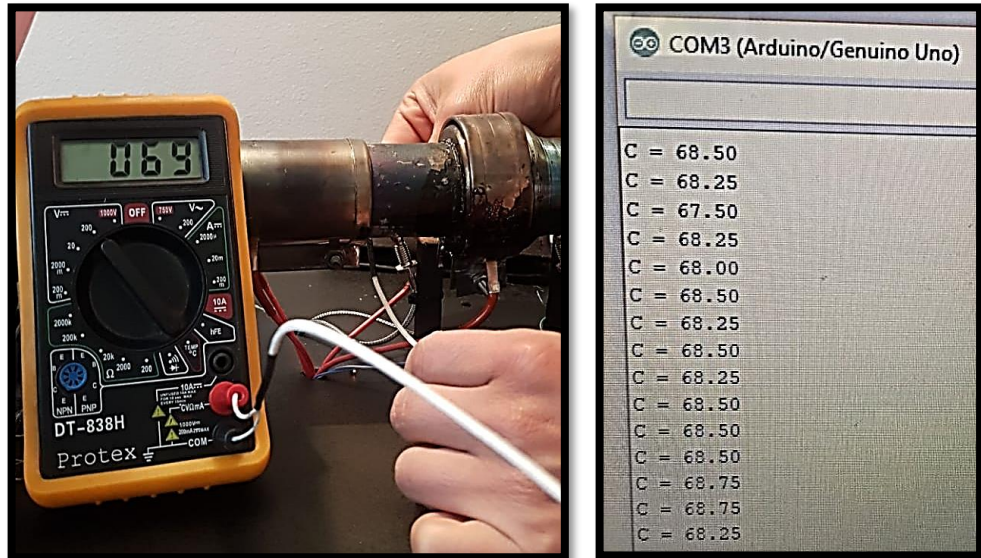
Fuente: Autor.

8.2.2. Fase de calibración:

En la fase de calibración, se realizó la calibración de los sensores de temperatura, usando como sensor patrón el sensor de temperatura del multímetro y al mismo tiempo se compara esta medida con la medida del ARDUINO UNO como se muestra en la figura 15.

³² NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [En línea]. Recuperado de https://www.new-wave-concepts.com/ed/pw_tutor.html. el 14 de mayo del 2019

Figura 15 Calibración de los sensores de temperatura



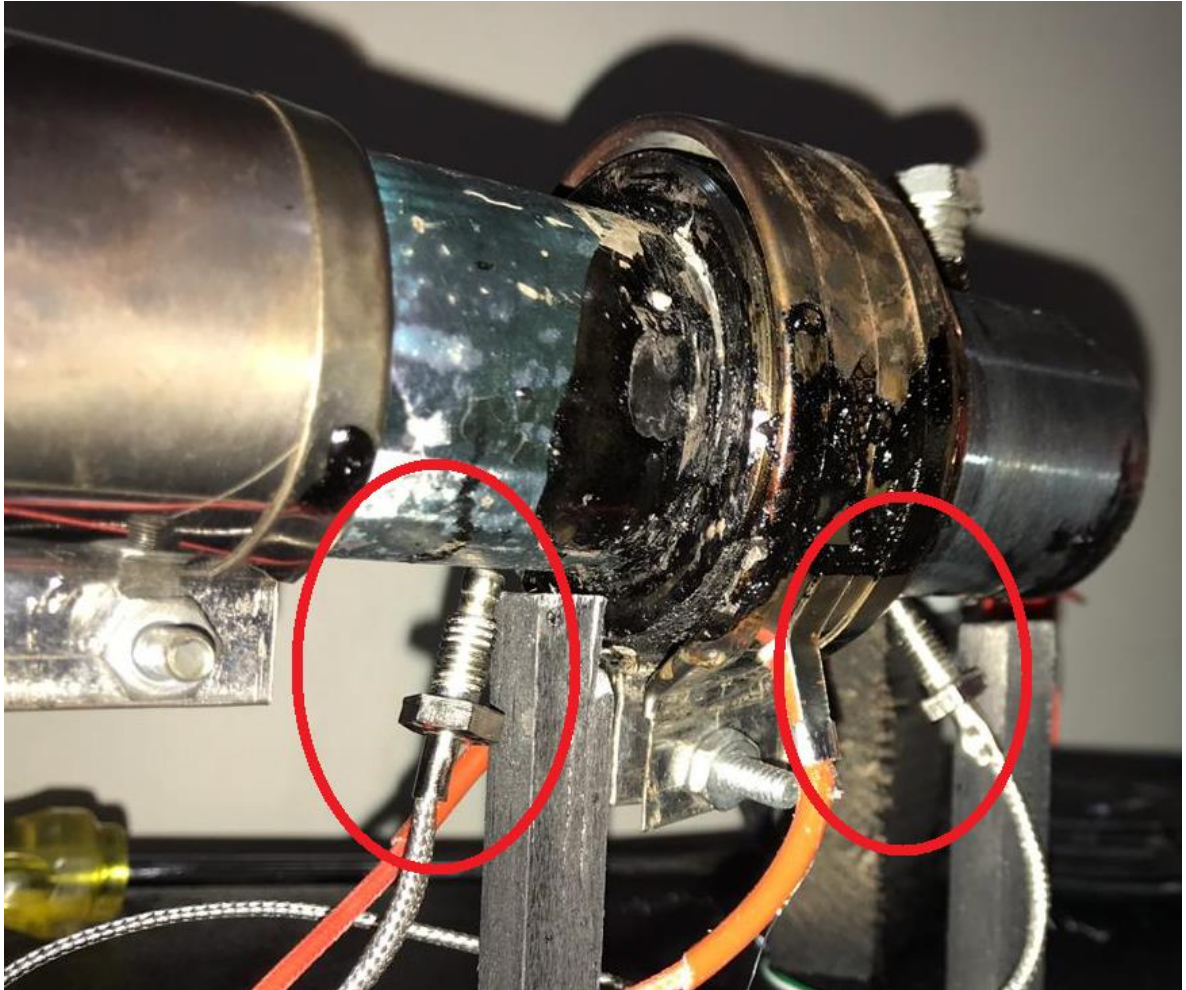
Fuente: Autor

Fue necesario determinar mediante pruebas la temperatura ideal del barril a fin de que el material salga en óptimas condiciones. Para esto se realiza el acondicionamiento para el sensor de temperatura, que para este caso es un termopar con un módulo de Arduino tipo k, esto para que la conversión de análogo a digital sea precisa, este es ubicado en la boquilla de la extrusora.

En la figura 16, se evidencia que el termopar (sensor de temperatura), está ubicado en la boquilla de la extrusora y está recibiendo la información de la temperatura en tiempo real.

Se encontró a prueba y error que la temperatura ideal del barril es de 90°C.

Figura 16 Termopar (Sensor de temperatura)



Fuente: Autor.

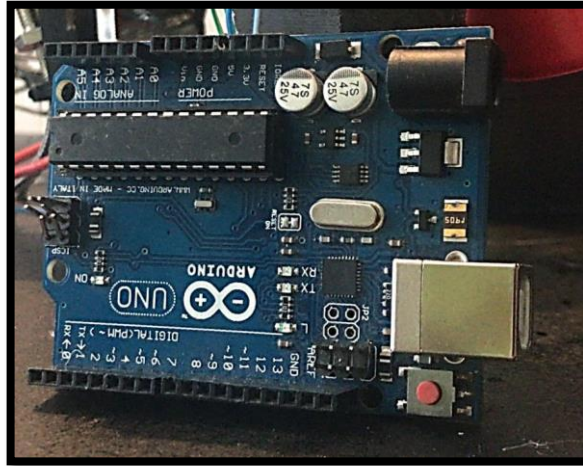
De igual manera, se realizó el ajuste del sensor de presencia en la tolva verificando la información que este envía, es decir, 1 y 0 lógico.

8.2.3. Fase de control:

- El Proyecto De Grado es programado en su parte de control con un ARDUINO UNO, su función principal será el procesamiento de los datos obtenidos de los sensores de presencia y de temperatura y de acuerdo con esta información, la activación de los diferentes actuadores como resistencias y motores.

- Controlador Arduino UNO, encargado de la activación del motor de la extrusora, del sistema de enfriamiento, del sistema de calefacción para el barril y de controlar la temperatura en este barril. (Ver figura 17).

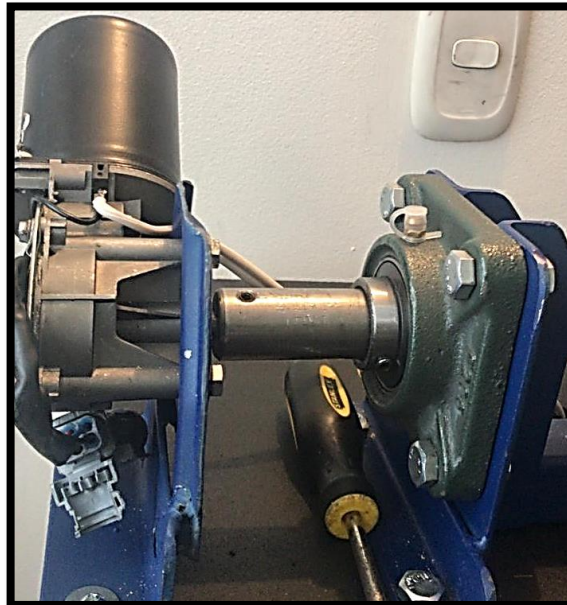
Figura 17 Controlador Arduino



Fuente: Autor.

- El motor de la extrusora, ser aun motor de 12 voltios DC, encargado de hacer girar el tornillo sin fin que lleva el material a través del barril. (Ver figura 18).

Figura 18 Motor de la extrusora



Fuente: Autor.

- El sensor 1, es un sensor infrarrojo, cuya función principal será detectar material dentro de la tolva. (Ver figura 19).

Figura 19 Sensores infrarrojos.



Fuente: Autor.

- El sensor 2, es un sensor termopar, cuya función es identificar la temperatura exacta, de manera precisa y en tiempo real y esta enviara al controlador para que este a su vez realice las acciones programadas según esta variable. (Ver figura 20)

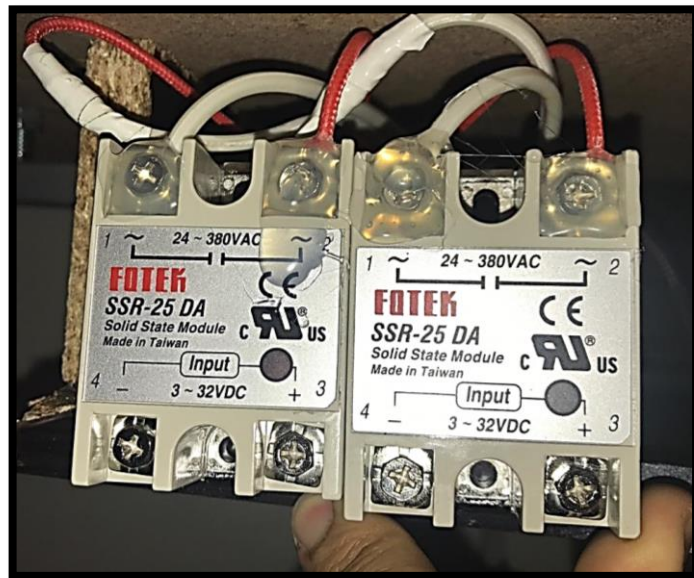
Figura 20 Termopar con modulo tipo K para Arduino



Fuete: Autor.

- SCR, se tienen 2 SCR para apagado y encendido de la alimentación de las resistencias de calefacción, con los cuales se hará un control On Off, para el control de la temperatura, cuando la temperatura alcance 90° C en la boquilla, se apagarán las resistencias, y cuando estas bajen a una temperatura de 80°C o menos, se encenderán las resistencias. (Ver figura 21)

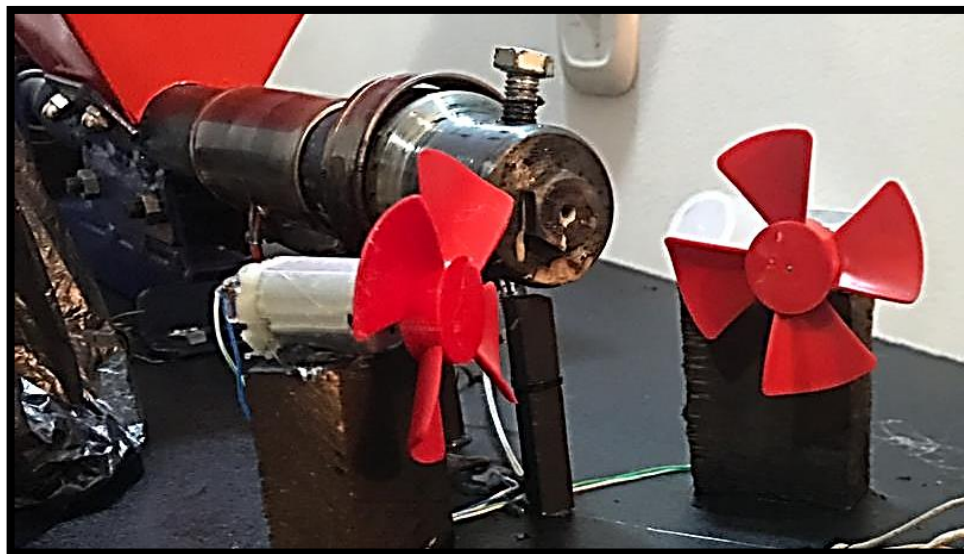
Figura 21 SCR de control de temperatura



Fuente: Autor

- Etapa de enfriamiento, está compuesta por ventiladores de 12 VDC, que enfriaran de manera inmediata la cuerda que estará saliendo por la boquilla de la extrusora. (Ver figura 22).

Figura 22 Etapa de enfriamiento



Fuente: Autor.

- Fuente 750 W, se tiene una fuente DC de 750 W de potencia para la alimentación del sistema, esta fuente tiene salidas en los voltajes de 5VDC y 12VDC para la alimentación de los motores, ventiladores y del controlador. (Ver figura 23).

Figura 23 Fuente de alimentación



Fuente: Autor.

Tabla 8 Costo proyecto con elementos seleccionados

Costo proyecto.				
Ítem	Descripción	Cantidad	Vr. Unitario (COP)	Vr. Total (COP)
1	Estructura metálica de extrusora	1	\$ 1.070.000	\$ 1.070.000
2	Resistencias eléctricas	2	\$ 40.000	\$ 80.000
3	Fuente de alimentación DC 700W	1	\$ 35.000	\$ 35.000
4	Motor de parabrisas carro	1	\$ 50.000	\$ 50.000
5	Relevo	3	\$ 3.000	\$ 9.000
6	Sensor led infrarrojo	2	\$ 1.200	\$ 2.400
7	Sensor termocupla LA MAX6675	1	\$ 14.000	\$ 14.000
8	Variador de potencia dimmer 220V	2	\$ 13.000	\$ 26.000
9	Arduino UNO	1	\$ 15.000	\$ 15.000
10	Ventilador DC 12V 0,43 A	1	\$ 23.000	\$ 23.000
11	Motor DC 12V motorreductor	1	\$ 9.000	\$ 9.000
12	Tarjeta electrónica	1	\$ 8.000	\$ 8.000
13	Display led 16x2	1	\$ 16.000	\$ 16.000
14	Resistencias electrónicas (paquete)	1	\$ 2.000	\$ 2.000
Total				\$ 1.359.400

Fuente: Autor

9.PRUEBAS DEL PROTOTIPO.

En las pruebas de prototipo se llevaron a cabo varios de pruebas, una de ellas es la prueba de consumo.

9.1. Pruebas de consumo

En la figura 24 se aprecia la forma que se tomaron las pruebas de consumo en la máquina.

Figura 24 Pruebas de consumo



Fuente: Autor

En la figura 24, como se evidencia con el instrumento de medición, se tomaron los consumos de corriente por componente, de maneja individual, en donde se registraron los consumos que estos tenían en el momento en que estaban activos, estas medidas se tomaron con una pinza amperimétrica de precisión (Elemento de medición de corriente por campo magnético).

9.2 Pruebas a componentes.

Los componentes fueron probados individualmente, estos componentes tuvieron mediciones de potencia en reposo y en activación.

- Motor de la extrusora: El motor de la extrusora tiene un consumo de 3.5 Amperios a 12 voltios de alimentación, es decir, 48 W aproximadamente. Esto depende de la calidad de triturado del material reciclado que sea ingresado en la tolva.
- El controlador y todo el sistema en reposo (sin material en la tolva) tiene un consumo de 1 W.
- Las resistencias de calefacción tienen una potencia de 120 Watts cada una, para un total de 240 Watts de consumo en total siendo alimentadas por 120 VAC.
- Los ventiladores del sistema de enfriamiento y el motor que mueve los rodillos son alimentados por 12 Voltios y tiene un consumo promedio de 1 Watts a 2 Watts.
- El sistema de enrollamiento tiene un consumo promedio de 50 Watts, dependiendo de la cantidad de material que este saliendo de la extrusora.

Las pruebas fueron realizadas a satisfacción, se evidenció que el comportamiento de los componentes fue el adecuado para el control y la automatización del todo el sistema. (Ver tabla 9)

Tabla 9 Tabla de consumos

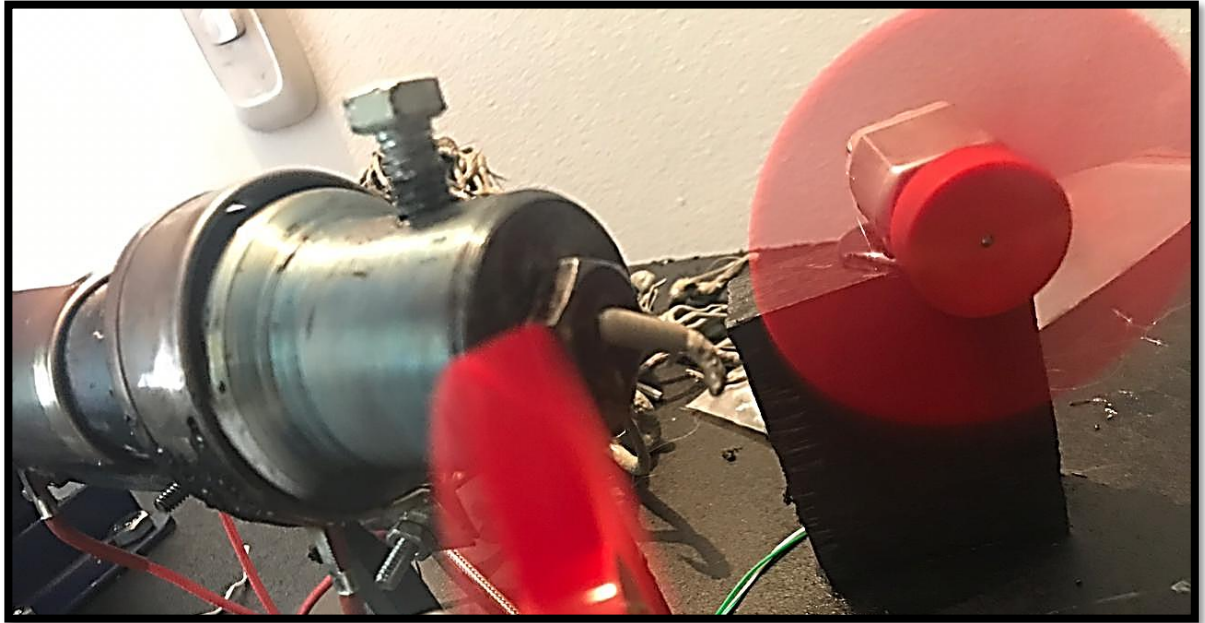
Estado	Potencia
Reposo	1 W
Sistema en extrusión y fundición	400 W

Fuente: Autor.

9.3. Pruebas de producción

Durante la primera prueba de producción se obtuvo un 40% de éxito en cuanto a lo esperado. En la figura 25 se evidencia el primer trozo de cuerda saliendo por la boquilla de la extrusora.

Figura 25 Primera prueba de producción



Fuente: Autor

Los resultados son los mostrados en la figura 26

Figura 26 Resultados primera producción



Fuente: Autor.

Por lo cual se evidencia que se requiere de un sistema de enrollamiento de la cuerda generada ya que la cuerda cae y comienza a enredarse. En la segunda prueba de producción de cuerda, se obtuvo cuerda de mejor calidad, ya que de manera manual se manipulo la cuerda para que no se enredara.

Figura 27 Segunda prueba de producción de cuerda



Fuente: Autor.

9.4. Prueba de cantidad de producción.

Durante la producción de cuerda se observó una velocidad promedio de 1 metro de cuerda cada 30 segundos.

9.5. Pruebas de las cuerdas

Se realizan pruebas de resistencia a las cuerdas, en donde se evidencia que son bastantes resistentes, soportando la presión ejercida para amarrar una caja, es necesario tener un sello metálico para asegurar la caja y para optimizar el uso de la cuerda. Esto se evidencia en la figura 28.

Figura 28 prueba de amarre a caja



Fuente: Autor.

Los sellos necesarios para asegurar el amarre con la cuerda a la caja son los mostrados en la figura 29.

Figura 29 Sello metálico para cuerdas

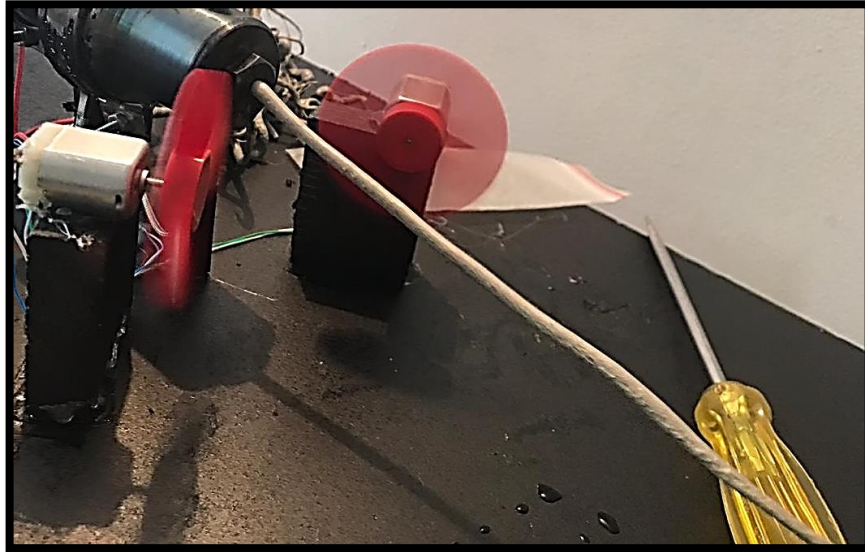


Fuente: MEGALUX. Sellos para zuncho. [En línea]. Recuperado de <https://www.logismarket.cl/sellos-zuncho/1524584074-cp.html>. Consultado el 20 de mayo del 2019

9.6 Pruebas de etapa de enfriamiento

La etapa de enfriamiento tiene un resultado bastante óptimo, ya que baja la temperatura del material de una manera bastante rápida lo cual genera que la cuerda quede fabricada al 100% sin que tenga que pasar por más procesos (Ver figura 30).

Figure 30 Etapa de enfriamiento en funcionamiento

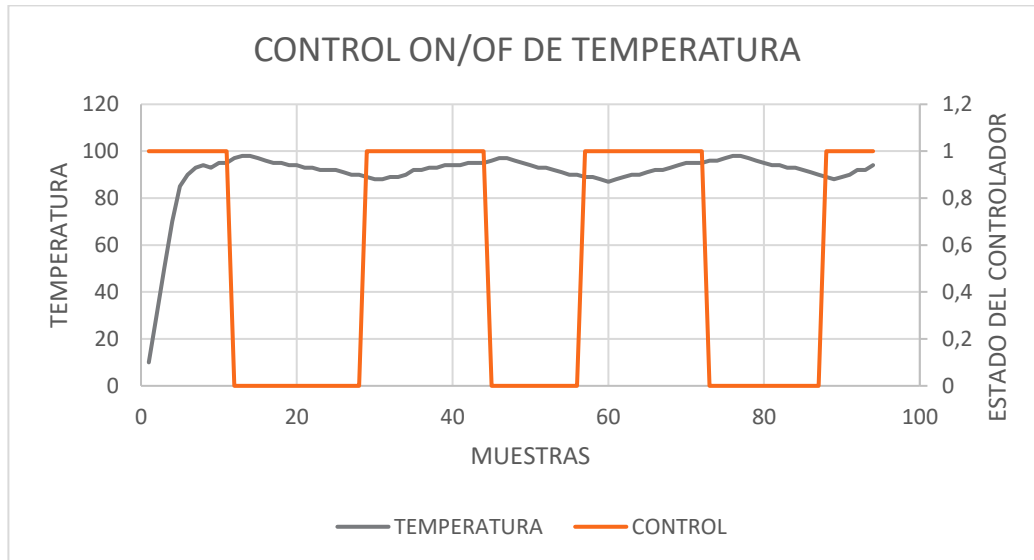


Fuente: Autor.

9.7 Comportamiento del sensor de temperatura.

En la figura 31 se muestra el comportamiento de la temperatura en el cilindro de la extrusora en color gris y la activación de los SCR's para alimentar o no las resistencias de calefacción.

Figura 31 Comportamiento de la temperatura y el controlador



Fuente: Autor.

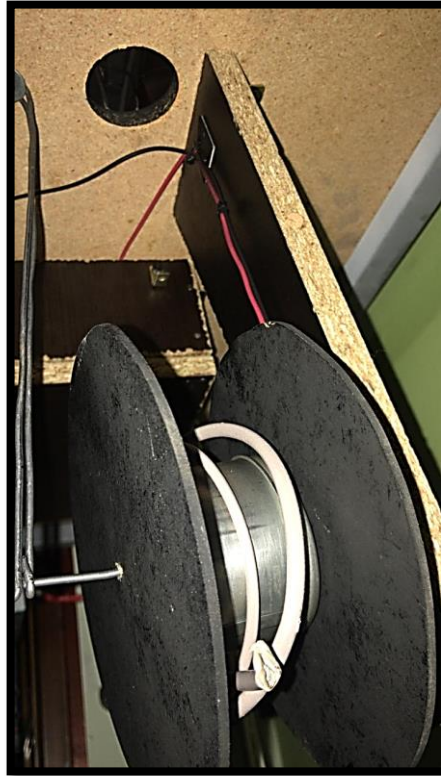
La temperatura se eleva desde 13° C hasta 100° C, al momento en el que la temperatura llega a 100° C se abren los SCR's, es decir que se apagan las resistencias, pero al momento en el que la temperatura llega a 90°C las resistencias vuelven a encenderse (se cierran los SCR's). (Ver figura 31)

9.8 Sistema de enrollamiento.

El sistema de enrollamiento fue diseñado a partir de ver el comportamiento que tiene la cuerda al salir de la extrusora, se evidencia que el material tiende a caer por la fuerza de gravedad, lo cual usamos para que la cuerda se refrigere y llegue al rodillo para que este la enrolle como se evidencia en la figura 32.

La velocidad de producción varía, por lo cual la velocidad de enrollamiento será regulada por un variador de velocidad de igual manera, con eso se controlará la velocidad a la que gira el motor que están anclado al rodillo que enrolla la cuerda.

Figura 32 Sistema de enrollamiento.



Fuente: Autor.

9.9 Pruebas en zonas rurales.

Al realizar pruebas en zonas rurales, se evidencia que es necesario tener el instrumento para asegurar la cuerda, es decir, es necesario el sello para zuncho, ya que con la cuerda fabricada no tiene la facilidad para hacer un nudo ya que esta es más rígida.

10. CONCLUSIONES

- Se recopiló información sobre los procesos de reciclaje para identificar la instrumentación requerida. Esto se evidencia en la parte inicial del Proyecto De Grado, en donde con base a lo encontrado se inició con el diseño de la máquina para realizar la cuerda final.
- Se diseñó un sistema mecánico y electrónico para reciclar envases de material PET fundamentado en lo investigado. Estas piezas metálicas fueron implementadas con ayuda de un ornamentador, el cual, con base a la broca helicoidal, inició con la elaboración del tubo o barril y luego la implementación de las otras piezas para sostener la estructura.
- Se realizó la estructura de programación para procesos de automatización y control. Esto se realizó con base al diagrama de flujo, al cual se le hizo seguimiento e implementación con el controlador, luego de haber encontrado el diseño a implementar, se realizó la investigación de los elementos ideales para desarrollar de manera exitosa la automatización.
- Parcialmente se validó el funcionamiento y aplicación del sistema con material reciclable en fincas floriculturas en las zonas rurales de Bogotá, sin embargo, se concluye que es necesario tener un sello que permita asegurar las cuerdas.

11. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda que, desde la etapa de diseño en los proyectos futuros, se tengan en cuenta factores de almacenamiento o de empaquetamiento, ya que en el presente Proyecto de Grado no se tuvo en cuenta dicho factor, por lo que, al momento de haber generado la cuerda, no se tenía la opción para que esta fuera almacenada por lo que se enredaba al salir de la extrusora.

12. BIBLIOGRAFÍA

CEDEX. Residuos Plásticos. Reciclaje químico [en línea]. Recuperado de: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html> el 18 de enero del 2019

CEDEX. Residuos Plásticos. Reciclaje mecánico [en línea]. Recuperado de: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html> el 18 de enero del 2019

César PÉREZ MARROQUÍN. (2017) ¿Sabía que reciclar sus desechos le trae cuenta?

CORTÉS, M. Clara ORTIZ, & Rosero, J. E. D. (2018). Evaluación de un proceso no convencional de reciclaje de PET ámbar para la obtención de placas decorativas. *Informador Técnico*, 82(1), 41-49. doi:<http://dx.doi.org.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/10.23850122565035.937>

EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLASTICOS. Esquema extrusor. [En línea]. Recuperado de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html> el 10 de junio del 2019

David, A. J. (2006, Oct 10). FEMSA reciclará en panamá. *El Universal* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/380552732?accountid=45660>

Inicia ECOCE campaña de comunicación 2012. (2012, Jun 06). *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1018656430?accountid=45660>

Julio Alberto AGUILAR SCHAFFER, EXTRUSIÓN E INYECCIÓN. EXTRUSIÓN [En línea]. Recuperado de: http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/6.pdf el 14 de mayo del 2019

JARAMILLO, E. B., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. P. (2014). Comportamiento mecánico del polietileno tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas/Mechanical behavior of polyethylene terephthalate (PET) and geotechnical applications. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (70), 207-219. Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1612545704?accountid=45660>

José Manuel LÓPEZ, y Jonathan Ruiz. (2003, Apr 08). Demandan reciclar el PET. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/307158405?accountid=45660>

La tercera conferencia SAPET (mercados y tecnologías de envases PET de Sudamérica - south America PET packaging markets & technologies) en sao paulo se enfoca en el crecimiento y expansión de la cadena de suministro de PET. (2012, Apr 25). *Business Wire En Español* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1009138897?accountid=45660>

LOPEZ, J. M., & RUIZ, J. (2003, Apr 10). Piden empresarios reciclar el PET. *Palabra* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/377500134?accountid=45660>

Luiz Edmundo, C. L., & José Henrique, P. M. (2003). *Sustainable recycling of PET bottles in rio de janeiro title: Reciclaje sostenible de botellas de PET en rio de janeiro*. St. Louis: Federal Reserve Bank of St Louis. Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1698543083?accountid=45660>

MEGALUX. Sellos para zuncho. [En línea]. Recuperado de <https://www.logismarket.cl/sellos-zuncho/1524584074-cp.html>. Consultado el 20 de mayo del 2019

Mercurio, E. (2014, Sep 14). Replica. *El Mercurio* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1562458500?accountid=45660>

México, líder en manejo y reciclaje de PET a nivel mundial. (2017, Oct 19). *Notimex* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1952699403?accountid=45660>

Morales, R. (2006, Nov 10). Producción de plástico PET crece 6% en 2006; source: El economista]. *Noticias Financieras* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/467438627?accountid=45660>

NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [En línea]. Recuperado de https://www.new-wave-concepts.com/ed/pw_tutor.html. el 14 de mayo del 2019

Nuevas tecnologías crean mercado para la industria del reciclaje. (2012, Jun 13). *EFE News Service* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1020093921?accountid=45660>

Ramírez, Z. (2011, Nov 29). Insuficiente recolección de envases PET afecta negocio de reciclaje. *NoticiasFinancieras* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/906349725?accountid=45660>

RAMOS, A. (2007, Jan 21). Declaran guerra al PET: Promueven la campaña 'crash-pum'. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/307817232?accountid=45660>

RAMOS, A. (2011, Jun 11). Promueven módulos para reciclaje de PET. *Reforma* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/873733406?accountid=45660>

OLVERA, S. (2013, Oct 10). Lidera México reciclaje de PET. *Mural* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1440871131?accountid=4566>

OLVERA, S. (2014, Jul 17). Abren mega planta de reciclaje de PET. *Mural* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/1545536404?accountid=45660>

Promueven cultura de reciclaje para reducir impacto ambiental. (2018, May 17). *Notimex* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/2039823030?accountid=45660>

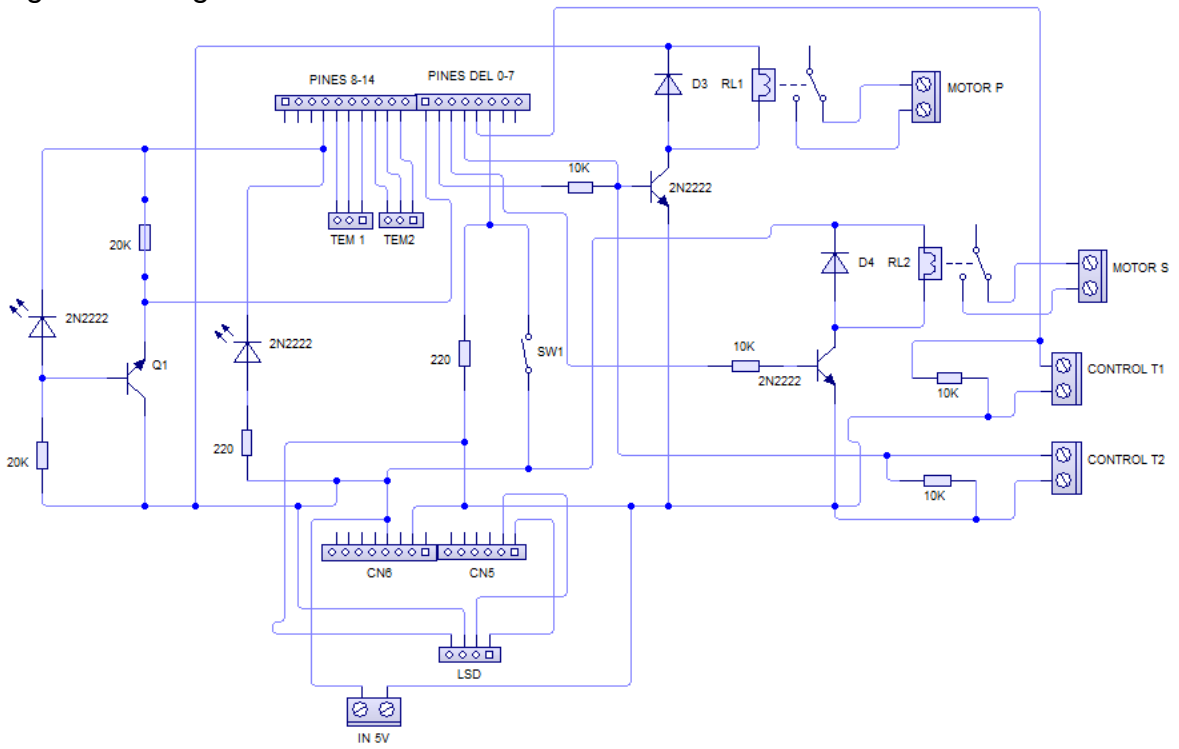
SEMANA. PET un plástico amigable pero no inofensivo. [En línea] recuperado de sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282 el 5 de febrero del 2019.

VEGA, M. (2005, Jul 12). Unilever busca desplazar a nestlé. *Economista* Retrieved from <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/docview/336439229?accountid=45660>

13. ANEXOS

Anexo A. Diagrama electrónico detallado del sistema.

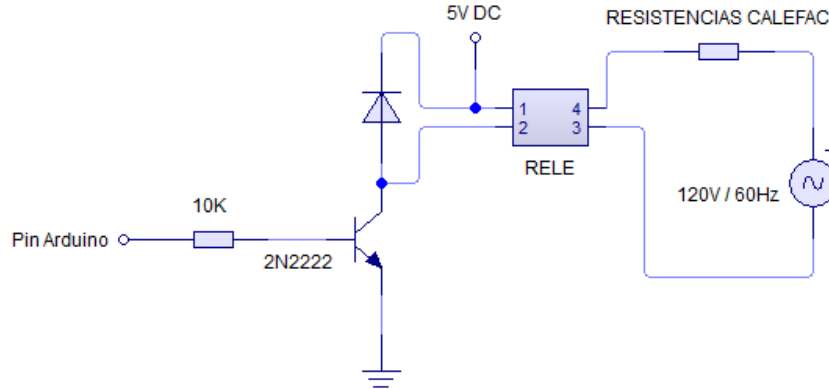
Figura 33 Diagrama electrónico detallado



Fuente: Autor.

Anexo B. Diagramas electrónicos de los actuadores del sistema.

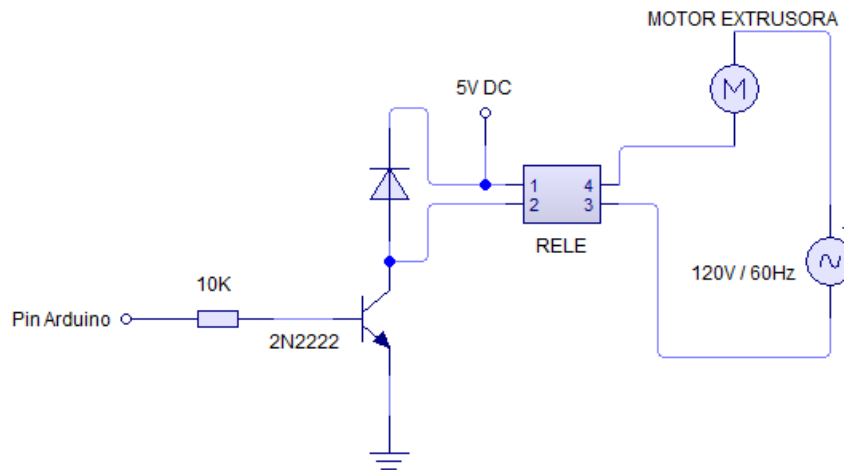
Figura 34 Diagrama electrónico de activación de resistencias de calefacción



Fuente: Autor.

El relevo se activará por medio de la señal de tierra interrumpida por el transistor 2N2222, el cual se activará cuando el controlador le envíe la señal. (Ver figura 34)

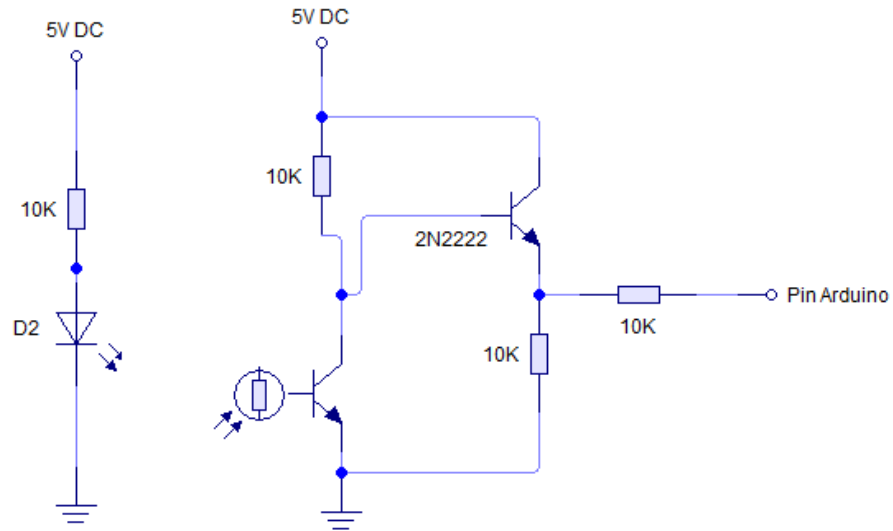
Figura 35 Circuito de potencia de alimentación para motor de extrusora.



Fuente: Autor.

El relevo se activará por medio de la señal de tierra interrumpida por el transistor 2N2222, el cual se activará cuando el controlador le envíe la señal. (Ver figura 35)

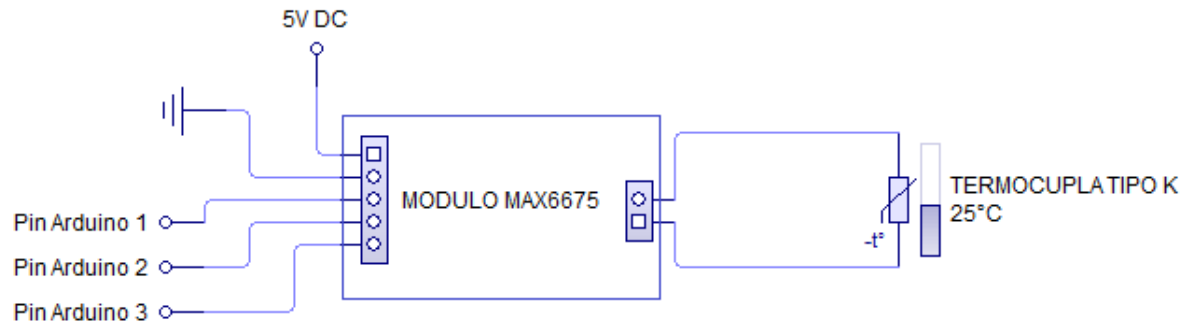
Figura 36 Diagrama electrónico del sensor de presencia.



Fuente: Autor.

El Led receptor estará enviando una señal de 0 lógico durante el tiempo en el que haya recepción, al momento en el que la señal infrarroja es interrumpida, el circuito enviara una señal de 1 lógico al Arduino UNO informando la presencia de material. (Ver figura 36)

Figura 37 Diagrama electrónico del sensor de temperatura.



Fuente: Autor.

El módulo MAX6675 de la imagen es el transductor que acopla la señal de analógica a digital para el Arduino Uno de manera precisa dando información en tiempo real y disminuyendo el ruido en el sistema. (Ver figura 37)

Anexo C. Programa del Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <max6675.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
int valor_on_of = 0;
int valor_in = 0;
int temp;
int temp2;

int CONFIG_TCCK_PIN = 11;
int CONFIG_TCCS_PIN = 12;
int CONFIG_TCDO_PIN = 13;
MAX6675 thermocouple(CONFIG_TCCK_PIN, CONFIG_TCCS_PIN,
CONFIG_TCDO_PIN);

int TCCK_PIN = 8;
int TCCS_PIN = 9;
int TCDO_PIN = 10;
MAX6675 thermocouple2(TCCK_PIN, TCCS_PIN, TCDO_PIN);

int ON_OF = 2;

int IN = 7;

int MP = A0;
int MS = A1;
int T1 = A2;
int T2 = A3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  pinMode(MP,OUTPUT);
  digitalWrite (MP,LOW);
  pinMode(MS,OUTPUT);
  digitalWrite (MS,LOW);
  pinMode(T1,OUTPUT);
  digitalWrite (T1,LOW);
  pinMode(T2,OUTPUT);
```



```

digitalWrite (T2,LOW);

pinMode(IN,INPUT);

pinMode(ON_OF,INPUT);

lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("CONTROL EXTRUSORA");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("SISTEMA PARADO");
delay(3000);

}

void loop() {

valor_on_of = digitalRead(ON_OF);
temp=thermocouple.readCelsius();
temp2=thermocouple2.readCelsius();
valor_in = digitalRead(IN);

if (valor_on_of == HIGH){
digitalWrite (T1,HIGH);
digitalWrite (T2,HIGH);

    if (temp <= 100){
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("PREPARANDO");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(temp);
        lcd.print("C");
    }

    if (temp > 100){
        if (valor_in == 1){
            digitalWrite (MP,HIGH);
            digitalWrite (MS ,HIGH);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print("FUNCIONADO");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print(temp);
            lcd.print("C");
        }
    }
}

```

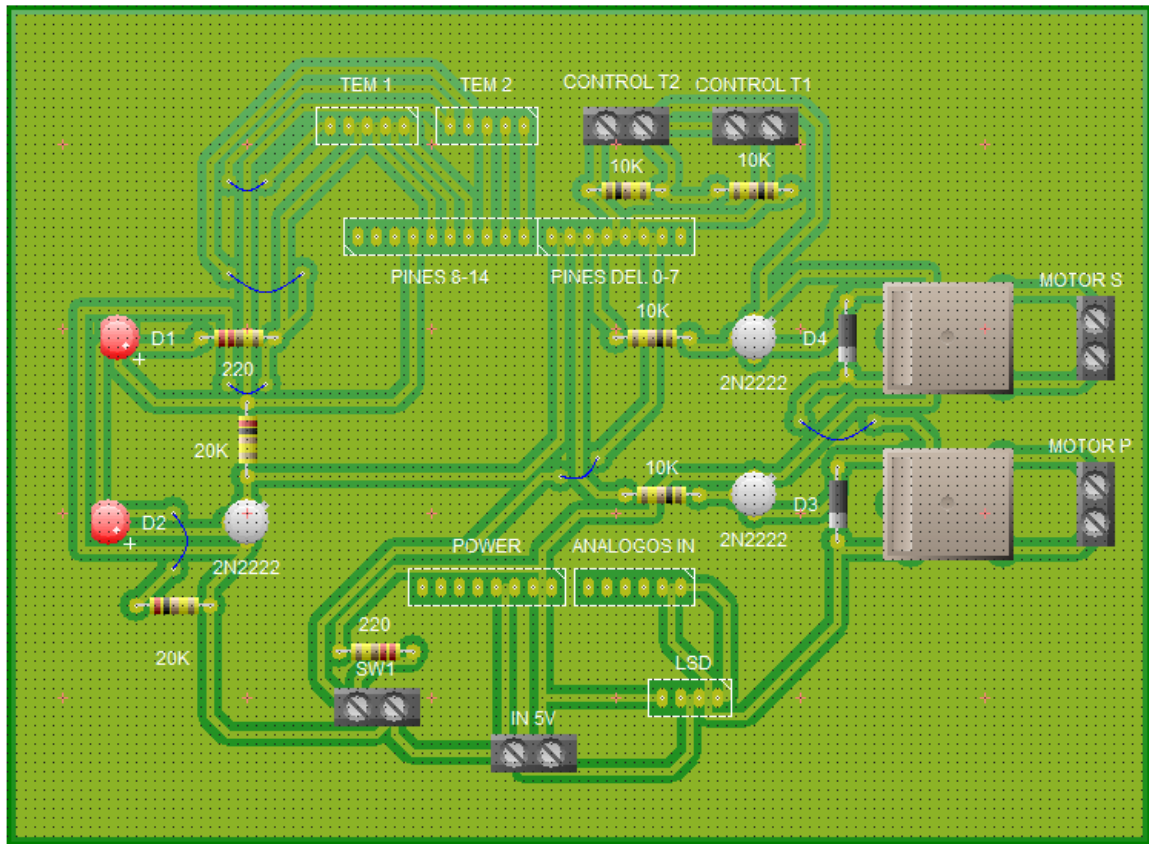
```
    else{
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("FALTA MATERIAL");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print(temp);
      lcd.print("C");
    }
  }

  else{
    digitalWrite (T1,LOW);
    digitalWrite (T2,LOW);
    digitalWrite (MP,LOW);
    digitalWrite (MS ,LOW);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SISTEMA PARADO");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(temp);
    lcd.print("C");
  }

  delay(2000);
}
```

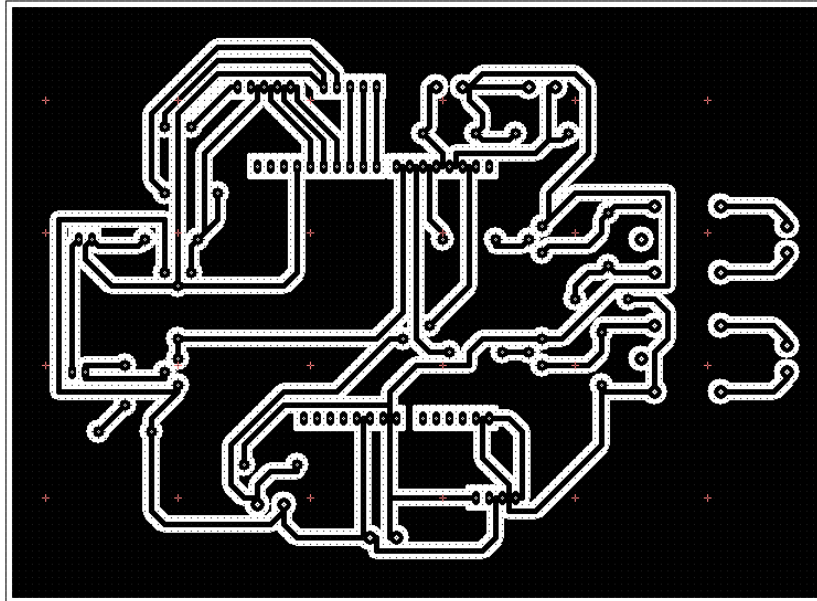
Anexo D. Planos de la PCB.

Figura 38 Plano componentes de la PCB



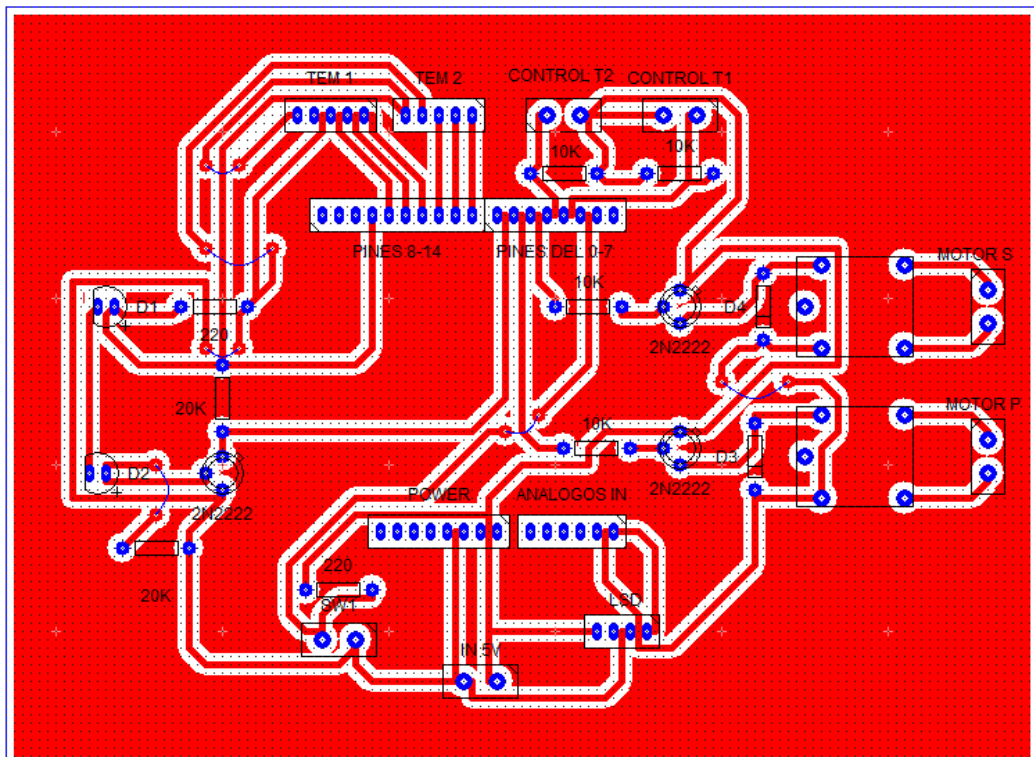
Fuente: Autor, hecho en PCB Wizard

Figura 39 Plano de pistas PCB



Fuente: Autor, hecho en PCB Wizard.

Figura 40 Plano de pistas con marcación de componentes



Fuente: Autor, hecho en PCB Wizard.

Ficha Técnica.

- Nombre del equipo: Extrusora
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Consumo: 400 W
- Descripción general del equipo: Equipo extrusor de plástico generador de cuerda plástica
- Tamaño: alto (0.29 m), largo (0.7 m) y ancho (0.4 m).
- Características fabricación: Equipo metálico con base en madera.
- Función: Extruir material plástico y genera cuerda de manera automática.

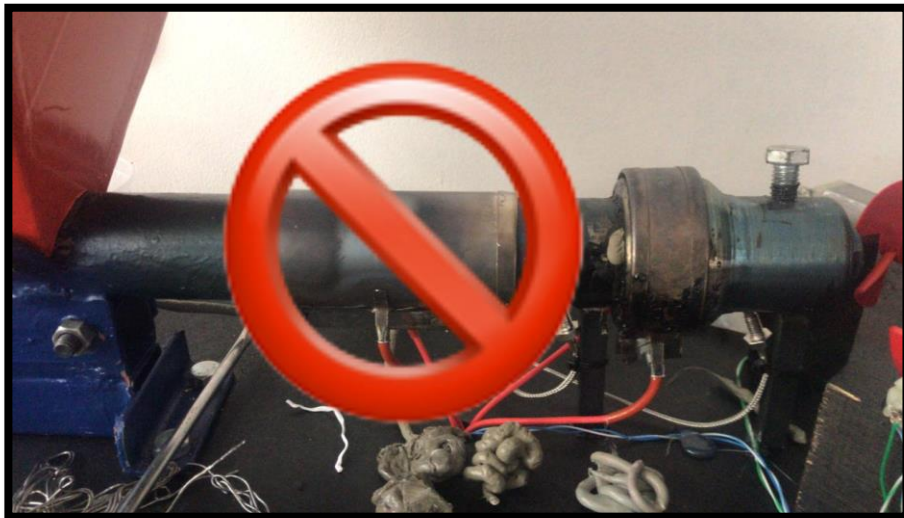
Instrucciones.

1. Conecte el equipo a 120 VAC
2. Ingrese el material triturado en la tolva.
3. Espere a que genere cuerda.
4. Almacene la cuerda

Precauciones.

- No apto para niños.
- No tocar la parte de la imagen mientras la maquina esté en funcionamiento, puede generar quemaduras graves. (Ver figura 41)

Figura 41 Precauciones



Fuente: Autor

- No meter los dedos en la extrusora, puede generar heridas graves. (Ver figura 42)

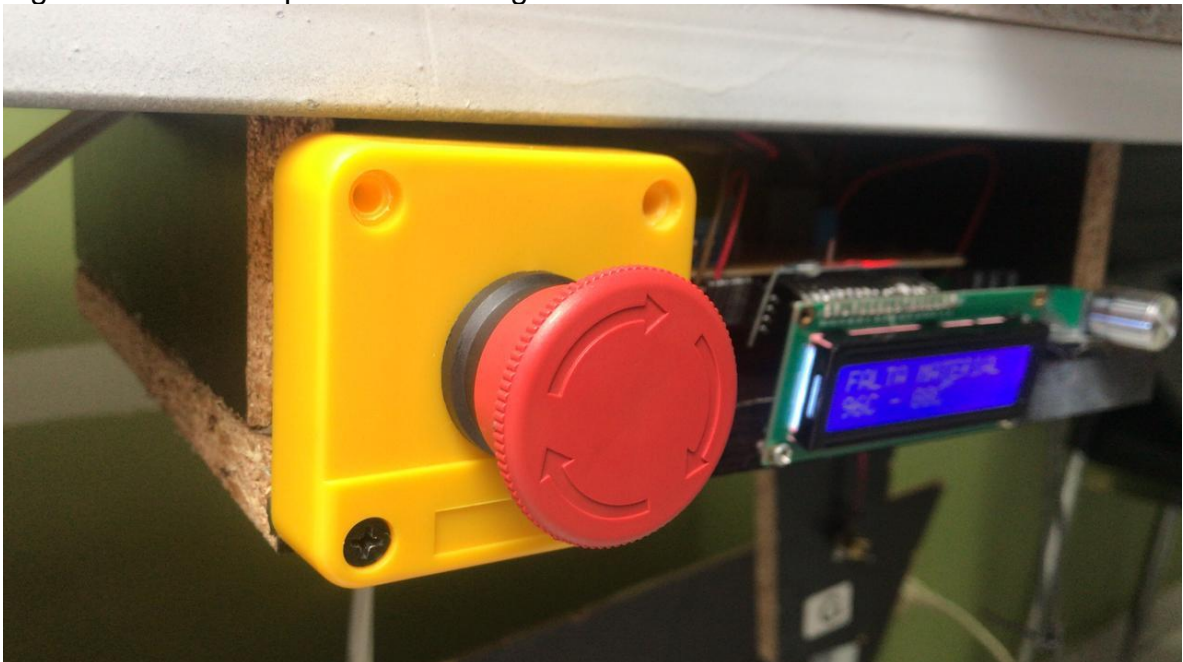
Figura 42 No insertar los dedos



Sistema de parado de emergencia.

Se cuenta con un sistema de parado de emergencia el cual tiene un botón, para que este sea activado en cualquier momento que se desee. (Ver figura 43)

Figura 43 Botón de parado de emergencia



Fuente: Autor.