

# Diseño de un prototipo a escala que contabilice y recicle botellas usadas en el municipio de Tumaco

Cristian A. Vente G., Dailyn S. Martínez B.

Resumen—Uno de los principales problemas en el mundo actual, es que se ha venido haciendo uso en demasía de los productos hechos a partir de los polímeros. Esto ha causado un excesivo aumento de los residuos de este tipo, que finalmente terminan en el mar, que por un lado provoca la muerte de muchas especies de animales marinos y por otro, este material puede ocasionar a largo plazo problemas en el sistema respiratorio y problemas en la piel por acción de los ftalatos. Como una de las soluciones se encuentra el reciclaje, el cual permite disminuir la contaminación, este proyecto cuyo principal objetivo es promover el reúso de las botellas fabricadas a partir del PET (Tereftalato de Polietileno) en el municipio de Tumaco, busca concientizar a sus habitantes en el buen manejo de este tipo de residuos. Este tipo de dispositivos ya existen, pero en el presente trabajo se busca diseñar un prototipo de bajo costo y que así se puede hacer uso de ellos en diferentes lugares de la ciudad, logrando un mayor alcance y con ello disminuir la contaminación producida.

Palabras clave—Reciclaje, PET, Contaminación, Medio ambiente.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la fabricación masiva de polímeros ha llevado a todos los países a un gran desafío ecológico debido a la dificultad en la degradación de este material, por lo tanto se busca disminuir y reciclar los residuos de este tipo, sin embargo, dado la naturaleza de este material resulta extenso y tedioso eliminarlo completamente. En contexto, tengamos en cuenta los siguientes datos: cada minuto se venden alrededor de un millón de botellas tipo PET, cada una de estas se puede demorar más de 400 años en descomponerse y si no se encuentra a la intemperie este tiempo puede aumentar hasta 1000 años [1]. Más del 90% de este tipo de envases son fabricadas de derivados extraídos del petróleo, y lamentablemente muchos de los recipientes de polímeros que se producen en el mundo tienen un solo uso. Estos son algunos datos que muchas personas desconocen y que muestran una pequeña

parte del daño ecológico que generan [2]. En base a lo anterior según la ONU 8 millones de toneladas de polímeros llegan al mar cada año, si este proceso continua en el año 2050 aproximadamente habrá más residuos polímeros que peces en el mar, son cifras que según la política de cada país han venido disminuyendo especialmente en la Unión Europea [3], aunque en nuestro país estos procesos no tienen tanta relevancia, hace que este proyecto busque generar conciencia a la gente del municipio de Tumaco, con el diseño de un prototipo para la recolección de las botellas fabricadas con PET, con el fin de disminuir la contaminación ambiental de esta región, así como minimizar los riesgos producidos por los ftalatos como las enfermedades respiratorias y problemas en la piel.

Otro factor a tener en cuenta es que las botellas son acarreadas por las corrientes de las lluvias y también terminan en el mar, en donde inician su proceso de descomposición y liberarán componentes como dioxinas y ftalatos, afectando la salud y estabilidad de especies más vulnerables [4]. El dispositivo que se presenta en este trabajo como entrega final del curso de investigación pregradual CIP en automatización industrial, busca motivar al usuario al reciclaje, ganando puntos por las botellas que entregue, para luego recibir como premio, descuentos en algunos almacenes con los que se buscara convenios. El dispositivo entrega un mensaje en el recibo, que también pretende que el usuario se entere del beneficio que se obtiene con el reúso de las botellas. Finalmente, se espera que este sea el inicio de varios proyectos a futuro que tengan como objetivo concientizar a los habitantes de la región en el tema del reciclaje, para que se logre reducir la contaminación del mar y que se disminuya los problemas de salud provocados por estos.

## II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se muestran algunos de los trabajos encontrados, que están muy relacionados con el presente prototipo.

A. Diseño y construcción de un prototipo de máquina expendedora inversa de botellas plásticas PET con sistema de control automatizado

Debido a una alta demanda de envases desechables de características poliméricas en el Ecuador se presentó consecuencias graves en el medio ambiente debido a la contaminación que genera este tipo de envases. También debido a la falta de programas de reciclaje en este país para el tratamiento de estos residuos Morillo Rosero y Quespaz Padilla, desarrollaron un prototipo para tratar los residuos de botellas plásticas PET con el fin de hacer un aporte al cuidado y respeto al medio ambiente y concientizar a la población acerca del uso adecuado del consumo de plástico. Este proyecto cumple su objetivo demostrando la viabilidad de una maquinaria dedicada a la recolección de botellas como medio para hacer mejor uso de los plásticos el pro de una menor contaminación de residuos. [5]

B. Diseño de un modelo a escala para una máquina interactiva de reciclaje de botellas plásticas en una comunidad indígena de caloto (cauca)

El presente artículo propone un modelo a escala de una máquina interactiva para el reciclaje de botellas plásticas en la Institución Educativa Etno educativo Tóez en Caloto (Cauca), cuya idea se basa en la interacción entre los miembros de la comunidad y una máquina automática a través una pantalla táctil. La máquina tiene un sistema de reconocimiento de botellas plásticas y un sensor de nivel que alerte cuando el contenedor necesite ser vaciado. En cuanto al funcionamiento general de la máquina interactiva cumplen con los requerimientos exigidos por la investigación, gracias a que las pruebas realizadas en la apertura y cierre de compuertas se llevaron a cabo satisfactoriamente en un 85%, siendo un prototipo útil. [6]

C. Rediseño e implementación de la máquina expendedora inversa (rvm) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de mecánica

El presente trabajo tiene como principal función el “Rediseño, Cálculo, Construcción e Implementación de la Máquina Expendidora Inversa (RVM) Automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas (PET) para la Facultad de Mecánica - ESPOCH”, el objetivo es reciclar en la máquina las botellas plásticas (PET) de hasta 500 ml que son consumidas por los estudiantes. Las botellas plásticas compactadas al máximo, serán la base principal para la elaboración de otros tipos de productos por medio

de los diferentes procesos de manufactura para cada aplicación, siendo un aporte fundamental al cambio de la matriz productiva en el sector medio-ambiental con en este tipo de máquinas. [7] Dada la naturaleza de este proyecto es posible apreciar que la recolección y compactación son procesos bastante relevantes y que se articulan entre sí para conseguir el objetivo principal de un mejor manejo de los residuos plásticos en pro de una menor contaminación ambiental y una sociedad mas limpia.

D. Energía Solar

Se le conoce como energía solar a la recepción de luz y calor emitida por el sol, este proceso ocurre cuando en su interior se presentan reacciones nucleares, su transmisión es de forma de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio. [8]

Esta energía se obtiene de manera gratuita e ilimitada y hace parte del grupo selecto de energías renovables, la recepción de esta energía es muy facial de obtener, debido a que esta irradia de manera directa. [8]

1) Energía Solar en el mundo : la energía solar con sistemas fotovoltaicos ha tenido un aumento notorio en los últimos años, motivada por asumir los retos de suministrar la demanda de generación energética (Referencia solar 1). Este crecimiento se ha dado gracias al aporte de algunos países, tales como, España que han realizado un gran aporte al aumento de la capacidad mundial de fabricación, distribución e implementación del uso de estas tecnologías. [8]

2) Energía Solar en Colombia : la ubicación geográfica de Colombia es muy favorable en cuestiones de recursos renovables, gracias a su diversidad climática se puede hacer el uso de fuentes generadoras de energía limpia, como lo es el sol, el mar, los ríos, el vientos, entre otros, una de las zonas con mayor beneficio solar es la región caribe; debido a su eficiente radiación solar (Referencia solar 4). Según los con la información del Instituto de “Hidrología, Meteorológico y estudios ambientales” dicen que la región caribe tiene un mayor promedio anual de radiación solar en el país, que es entre alrededor de 7 a 9 horas diarias. [9]

### III. JUSTIFICACIÓN

La protección del medio ambiente está en nuestras manos y es un hábito que debemos desarrollar para la protección a nuestro planeta. Recolectar botellas PET hace una contribución significativa a la protección del medio ambiente y reciclar plástico es la mejor manera ya que este material se utiliza

en la mayoría de las actividades humanas y en la producción de diversos utensilios utilizados en diferentes industrias. Sin embargo, el tiempo de uso es corto, razón por la cual cada día en el mundo se genera una gran cantidad de residuos plásticos a nivel mundial. Además, para algunos materiales, el proceso de recolección del plástico es muy costoso debido a su aleación, por lo que si no se recicla termina en vertederos, aumentando los niveles de contaminación. En Colombia, particularmente en la ciudad de Bogotá, entidades como el DANE y la UAESP han realizado estimaciones y proyecciones de la producción y caracterización de los residuos sólidos en función del crecimiento de la población de la ciudad, de acuerdo a la caracterización de los residuos domiciliarios el porcentaje de plástico según la UAESP es del 10,45% y dentro de los plásticos el 14,26% corresponde a residuos tipo PET cifra que es mayor a la referenciada a nivel mundial, de acuerdo a estos parámetros se puede observar que aproximadamente para el año 2012 se obtuvieron 33.990 toneladas anuales de residuos PET, adicional a ello se estima la cantidad de botellas por día tomando como referencia que 10 una botella de plástico PET de 1,5 litros puede pesar entre 37 y 39 gramos [10] con este estimado se calcula que se desechan 2.387.758 botellas PET para el año 2012 y al realizar la estimación de cuantas botellas PET se desearían en un día por el número de habitantes en la ciudad, se encuentra que en todos los años expuestos aproximadamente por cada 3 personas en la ciudad se arrojarían como desechos 1 botella PET de 1,5 litros al día, es por estas cifras tan grandes que el hábito de recolectar las botellas y crear conciencia en la gente debe ser una de las principales labores humanas para seguir conservando el medio ambiente de una manera más sana. [11] Actualmente, como se sabe la recolección de materiales contaminantes como las botellas PET juega un papel importante en la protección del medio ambiente, por lo que es muy importante implementar programas de reciclaje e implementar acciones específicas en el proceso de los mismos. La población de Tumaco genera aproximadamente 68 toneladas de residuos sólidos por día, de los cuales el 52.6% son depositados directamente al mar, contribuyendo en una gran proporción a la contaminación de la ensenada de Tumaco. Únicamente el 42% de las basuras son recogidas por los vehículos recolectores y depositadas en una planta de tratamiento que no ofrece una disposición ni manejo adecuado a los desechos, el 2.3% son depositados en botaderos a cielo abierto, generando problemas de malos olores y estética visual, el 3.1% son depositados en las vías urbanas de la ciudad [12], esto conlleva

a pensar que la mejor forma de concientizar a la gente de Tumaco sobre el reciclaje y sus diversas aplicaciones es enfocándonos en la utilización de productos sostenibles y ecológicos y una conciencia de reciclaje y recolección de botellas usadas como respuesta consciente a uno de los mayores problemas del uso excesivo de estos materiales por parte de la sociedad de consumo. El aporte de este trabajo en la creación de un prototipo a escala en la recolección de botellas plásticas en el municipio de Tumaco Nariño se realiza con el fin de reducir la contaminación del agua y de las calles y promover hábitos de consumo más sostenibles y responsabilizarse de sus residuos y dar los primeros pasos hacia una vida más respetuosa con el planeta desarrollando hábitos de recolección de botellas y concientizar el cuidado del medio ambiente a través de incentivos con descuentos en almacenes con los que se pueda tener un convenio, esto también ayuda a motivar a los habitantes sobre la importancia de la recolección de botellas y los beneficios que esto trae a la misma comunidad.

#### IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

La problemática generada en el departamento de Nariño por el inadecuado manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos constituye en un factor determinante en la contaminación de aguas, suelos, aire y paisaje, lo que ha llevado a acentuar el problema de deterioro ambiental y salud pública. Dicha situación se ha visto fortalecida por la vertiginosa explosión demográfica acompañada de la creciente actividad comercial en los sectores urbanos, suburbanos y centros poblados de importancia, para los cuales no se ha planificado adecuadamente la prestación eficiente del servicio de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. En la actualidad por lo general toda la comida se vende en envases de plástico, así como los productos de higiene, y todo lo que te rodea este hecho o contiene plástico, por lo tanto, es muy difícil evitar el plástico en la cotidianidad, pero se puede reducir. La mala conciencia y el uso excesivo de botellas de PET han provocado un problema de residuos, y por ende un problema ambiental tan grande que pone en riesgo la capacidad de almacenamiento de los vertederos. Las botellas PET tienen una vida muy corta pero un periodo de descomposición muy largo y estos productos tardan una media de 180 años en degradarse, aunque este periodo varía en función del tipo de polímero. Reducir el uso de plástico hoy en día parece una tarea imposible, ya que lo vemos prácticamente en todas partes.

## V. OBJETIVOS

### A. Objetivo General

Diseñar un prototipo a escala que contabilice y recolecte botellas PET usadas en el municipio de Tumaco del departamento de Nariño.

### B. Objetivo Especifico

- Programar la interfaz de interacción entre usuario y máquina.
- Construir las estructuras principales y secundarias de prototipo en conjunto al desarrollo de la programación y calibración de cada componente.
- 

## VI. METODOLOGÍA

### A. Línea de investigación

Diseño y modelado de sistemas y equipos electrónicos – prototipos de Sistemas y equipos para control y automatización de procesos industriales y de potencia. Se escogió esta línea de investigación ya que el presente trabajo, pretende construir una maquina electrónica para resolver el problema que se planteó.

### B. Enfoque

Este estudio utilizó un método mixto. Este enfoque representa un conjunto de procesos de investigación sistemáticos, empíricos y críticos que implican tanto la recopilación como el análisis de datos cuantitativos y cualitativos para comprender mejor la investigación. En resumen, se puede decir que este método es más eficiente en el proceso de investigación, logra combinar los dos métodos, porque se adapta con flexibilidad a las necesidades del investigador, es más proactivo y transparente en el proceso de investigación.

### C. Tipo de investigación

El tipo de investigación en este proyecto se realizó de manera cuasiexperimental, y las características metodológicas de este tipo de investigación son descriptivas, incluyendo componentes observacionales experimentales y observacionales. Sin embargo, no puede controlar por variables o factores de un tema de estudio de intervención. Se enfoca en determinar las formas en que la variable independiente se relaciona con la variable dependiente y los resultados obtenidos. Dicha investigación semionírica se lleva a cabo en el área de desarrollo de sujetos, lo que reduce el control por variables.

### D. Método

La metodología de investigación indica cómo el investigador estructura la investigación para demostrar la veracidad de los resultados de la investigación y para demostrar que es totalmente consistente con los objetivos del estudio o proyecto. Para desarrollar este diseño, se utilizó material utilizando una máquina de reciclaje. Ya existen dispositivos electrónicos que premian a los usuarios por su contribución a la protección y preservación del medio ambiente. Junto con la profundización del servicio de la máquina de reciclaje, se realiza un prototipo, se recopila información mediante sensores y se almacena un identificador de usuario como resultado de la interacción humano-computadora. El proyecto tiene 3 fases de desarrollo, incluyendo:

Fase 1. Reestructuración del procedimiento de interacción hombre máquina.

Para llevar a cabo esta fase se planea realizar una actividad que consiste en diseñar la lógica del procedimiento para la interacción con el usuario mediante el programa de Arduino IDE el cual estará encargado de hacer la interfaz que se presenta al usuario, donde como indicador tenemos que definir la cantidad de botellas por paquete.

Fase 2. Identificar los elementos que permiten el funcionamiento del prototipo.

Para esta fase como actividad se escoge los elementos electrónicos para las conexiones de la creación de un prototipo a escala que funcione adecuadamente con lo propuesto y en su indicador se plantea definir las variables de estudio.

Fase 3. Implementación y obtención de resultados.

Como ultima fase se tiene como actividad realizar conexiones y obtener resultados para mostrar el funcionamiento del prototipo con todas sus funciones y se indicador es para obtener muestras y observar el comportamiento del prototipo.

### E. Variables

1) Conceptual: Voltaje. Es la magnitud encargada de establecer la diferenciación de potencial eléctrico que existe entre dos puntos. Es por esto que también se le conoce como tensión eléctrica, o diferencia de potencial eléctrica. [13]

Porcentaje de error. Esta medida te permite ver qué tan lejos está un valor aproximado de uno exacto a través de un porcentaje del valor exacto. [14]

2) Operacional: Voltaje. Esta variable medirá las variaciones de voltaje que arrojará el sensor de barrera y detectar así el material que está ingresando al prototipo.

Porcentaje de error. Esta variable se medirá de manera porcentual donde se conocerá el margen

de error del prototipo al ingresar un determinado tipo de material (botellas PET). Poner formula de porcentaje de error hacer diagrama de errores.

## VII. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA DE GRADO

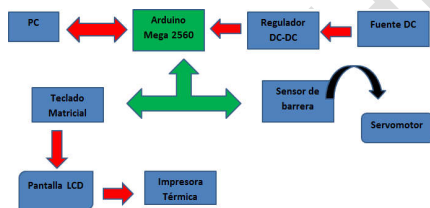
El presente trabajo busca generar conciencia en las habitantes del municipio del Tumaco, en los beneficios que trae el reciclaje, principalmente en las botellas fabricas con PET. Esto como resultado luego de cursar el curso de investigación pregradual CIP en automatización industrial, donde se expusieron diferentes temas de actualidad referentes al control y principalmente en los procesos industriales.

Como resultado final se entrega un prototipo de máquina, que cuando el usuario se acerque a ella, inicialmente le pida el número de cedula, esto con el fin de lleva las estadísticas de cuantas botellas a entregado, luego de la autenticación, se procede a realizar el conteo del número de botellas que el usuario entrega, para finalmente entregar un tickete donde se muestra el número de botellas entregadas y el número de puntos que lleva acumulados.

## VIII. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE GRADO.

A continuación, se muestra en la figura 1 los resultados del diseño para la propuesta de prototipo a escala que cuenta las botellas entregadas por el usuario, en un diagrama de bloques que muestra el funcionamiento general de la máquina.

Figura 1: Diagrama de bloques del sistema



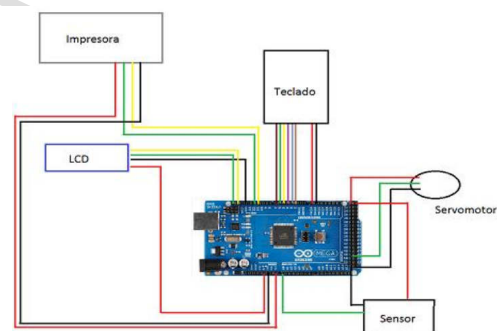
La comunicación entre PC – Arduino se realiza mediante el puerto serial USB. En caso de realizar alguna modificación al código este tipo de conexión facilita el acceso a la tarjeta de desarrollo Arduino y además se puede observar los valores arrojados por el sistema en tiempo real. La fuente DC que suministra la energía al sistema es una fuente de energía fotovoltaica, además esta fuente se encargara de cargar una batería para almacenarla y ser usada cuando no se disponga de luz solar. En dado caso de que no haya luz solar y la batería se encuentre descargada el sistema cuenta con la posibilidad de funcionar con energía convencional, para así cumplir

con la demanda energética del prototipo y garantizar en lo posible su continuo funcionamiento. También se cuenta con un regulador de carga el cual recibe el voltaje generado por la fuente DC y lo adecua para el correcto funcionamiento del sistema y que no sobrepase el límite de voltaje del Arduino. Así mismo se tiene en cuenta el voltaje que necesita la impresora térmica para su correcto funcionamiento, el cual son 9v según sus características. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se elige 9v como voltaje de operación para todo el sistema dado que es posible alimentar todos los componentes principales del prototipo con esta fuente. El Arduino tiene diferentes medios de comunicación, unas de las más relevantes de forma digital y analógica. Los elementos que están conectados, funcionan como entrada y salida de información, que se encuentran clasificados como se observa en la Tabla I.

Tabla I: Elementos de entrada y de Salida.

Elementos de Entrada	Elementos de Salida
Sensor de Barrera	Pantalla LCD
Servomotor	Impresora Térmica
Teclado Matricial	

Figura 2: Diagrama de Conexiones.



En la Figura 2 se muestran las conexiones de los elementos electrónicos que se utilizaron y también se indican los pines asignados para dichos componentes.

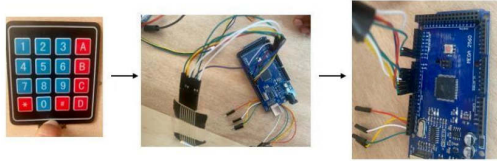
Obtención de datos.

El teclado matricial juega un papel muy importante en la interacción hombre máquina, donde este le facilita al usuario ingresar información al sistema. También permite brindar una serie de instrucciones al prototipo como: “Detener”, “dar continuación”, “imprimir” y “reiniciar el proceso”.

Para poder reconocer el teclado matricial en el software, se utilizó una librería llamada “Keypad.h”, para que no sea posible usar el teclado matricial y no presentara inconvenientes al compilar el código, para ello los pines asignados en el Arduino fueron los siguientes: para las filas 4,5,6,7 y para las columnas

2,3,14,15. En la Figura 3 se muestra la conexión entre el teclado matricial y el Arduino.

Figura 3: Conexión de Teclado Matricial-Arduino.

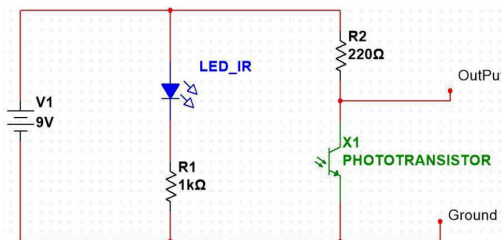


En la Tabla II se pueden observar los elementos que se utilizaron para la implementación del sensor, cuyo objetivo es detectar la presencia de un objeto en la entrada del prototipo y contabilizar su ingreso en dado caso que sea una botella PET, de lo contrario no realiza el conteo.

Tabla II: Elementos del Sensor

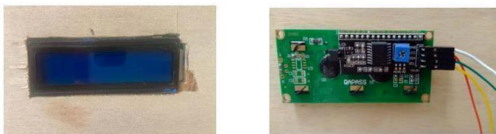
Item	Cantidad	Elementos
1	1	Resistencia de $1k\Omega$
2	1	Resistencia de $220\Omega$
3	1	Led receptor
4	1	Led infrarrojo o transmisor
5	1	Placa perforada

Figura 4: Diseño del circuito del Sensor.



Se instaló la pantalla LCD mediante los puertos de comunicación SDA, SCL, VCC y GND para que el usuario pueda visualizar las diferentes opciones que presenta el menú del sistema en paralelo al desarrollo del proceso de recolección y conteo de botellas PET. En la Figura 5 se muestra las conexiones e instalación de la pantalla LCD.

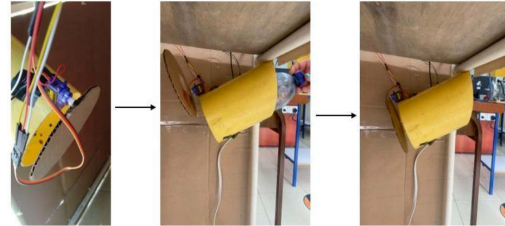
Figura 5: Instalación de pantalla LCD.



Los actuadores. Una vez activada la etapa de conteo de botellas, el servo, cumple con la función de abrir o cerrar en ángulos de  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , una compuerta

que permite el ingreso de las botellas, así como se mira en la Figura 6

Figura 6: Activación del Servomotor.



En la Figura 7 se muestra el regulador de carga, encargado de controlar el voltaje generado por la fuente DC, adecuando los niveles de voltaje para alimentar el sistema con la energía recolectada por los paneles fotovoltaicos o batería. En dado caso de estar ausente las fuentes anteriores este regula y convierte la energía convencional de 110v AC a lo requerido por el prototipo de 9v DC.

Figura 7: Regulador de carga solar.



Impresión de Datos. El funcionamiento de esta impresora, requiere de una cierta cantidad de voltaje que mediante el calor podrá imprimir el recibo que indicará al usuario el número de puntos acumulados y el total de botellas ingresadas.

Para el caso del menú: En la Figura 8, se visualiza el diagrama de flujo creado para el menú con el fin de representar la secuencia lógica para realizar de manera sencilla el proceso de secuencia del ingreso y conteo de botellas y así poder hacer más simple este proceso.

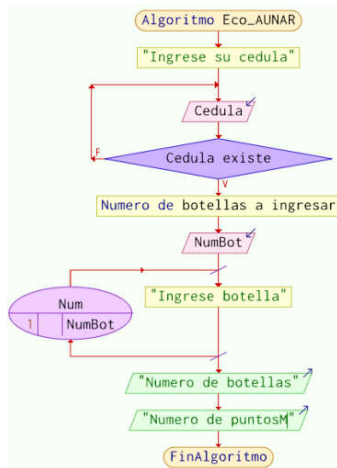
Principalmente el prototipo consta con un mensaje de bienvenida, indicando a su vez el nombre del prototipo, para dar continuación al siguiente paso el usuario debe oprimir la tecla "#". En el segundo paso el usuario debe ingresar su número de identificación, una vez terminado el ingreso del número de documentación se debe oprimir la tecla "#". En el tercer paso el usuario debe verificar si el número ingresado es correcto, si su respuesta

es afirmativa de debe oprimir la tecla “#” en caso contrario se oprime la tecla “\*” para poder corregir el número ingresado.

En el cuarto paso se indica el número de botellas que obtiene un paquete; por defecto se definieron 10 botellas, para continuar con el proceso se presiona la tecla “#”. A continuación, se indicara el inicio del conteo de botellas, para autorizar se oprime la tecla “#”, esta es la quinta etapa, en donde se pide al usuario ingresar las botellas. Una vez introducido el material de botellas PET reciclables inicia el conteo, por cada 10 botellas el usuario acumulara 1 punto y para finalizar el proceso se presiona la tecla “\*” para detener el proceso.

Finalmente, con la tecla “A” se imprime el recibo y por último la tecla “D” para reiniciar el sistema.

Figura 8: Diagrama de flujo MENU.



Pruebas y funcionamiento del prototipo. Para obtener una información más precisa, se tuvo que seleccionar las botellas de mayor consumo de agua por habitantes del municipio de Tumaco, la Figura 9 muestra cómo se clasificaron las botellas; tipo 1, tipo2, tipo3 y tipo 4.

Figura 9: Botellas para prueba 1



Tabla III: Resultados prueba 1 con botellas de la Figura 9

Tipo de botellas	Cantidad ingresadas	Conteo de botellas	Botellas no leídas	No contadas	% de Error
1	50	46	0	4	8
2	50	34	0	16	32
3	50	42	0	8	16
4	50	45	0	5	10
Prueba 1					16.5

Tabla IV: Resultados prueba 2 con botellas de la Figura 9

Tipo de botellas	Cantidad ingresadas	Conteo de botellas	Botellas no leídas	No contadas	% de Error
1	100	91	0	9	9
2	100	72	0	28	28
3	100	75	0	25	25
4	100	89	0	11	11
Prueba 2					18.25

El cálculo del porcentaje de error se encontró con la ecuación VIII.

$$\%Error = \left( \frac{|Conteo\ de\ botellas - Cantidad\ ingresada|}{Cantidad\ ingresada} \right) * 100\%$$

(1)

En la Tabla III y Tabla IV, se evidencia la dificultad que tiene el prototipo para leer botellas que tengan la superficie de una forma no lisa, las de tipo 2 y tipo 3 son las que presentan mayor porcentaje de error debido a el problema ya mencionado anteriormente. Otro inconveniente que se presentó en la obtención de datos es que, si no se retira correctamente la envoltura de las botellas el sensor no hará el conteo de ellas y se tomará como un error o en caso tal como se había estipulado en la programación, no estará en el rango de conteo de botellas PET.

#### Botellas de Jugo tipo PET

En este caso se tuvo en cuenta los productos que se consumen con mayor frecuencia en el municipio de Tumaco, que fueron los siguientes; jugo Hit, energizante gatorade y energizante Power. Para poder ingresar estas botellas es necesario retirar la envoltura del recipiente y de que se encuentre completamente vacío.

Figura 10: Botellas para prueba 2



Tabla V: Resultados prueba 1 con botellas de la Figura 10

Tipo de botellas	Cantidad ingresadas	Conteo de botellas	Botellas no leídas	No contadas	% de Error
1	50	41	0	9	18
2	50	45	0	5	10
3	50	42	0	8	16
Prueba 1					14.666

Tabla VI: Resultados prueba 2 con botellas de la Figura 10

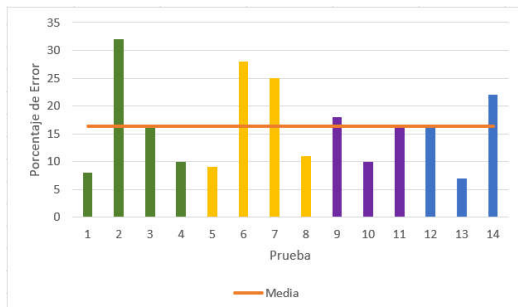
Tipo de botellas	Cantidad ingresadas	Conteo de botellas	Botellas no leídas	No contadas	% de Error
1	100	84	0	16	16
2	100	93	0	7	7
3	100	78	0	22	22
Prueba 2					15

Como se puede observar en la Tabla V y Tabla VI, la botella con menor margen de error fue la de jugo hit, esto es gracias a su superficie lisa a diferencias de las otras dos botellas que tienen un diseño un poco robusto.

Calculo de la media

$$Media = \frac{\sum \text{Datos}}{\text{Cantidad de Datos}} \quad (2)$$

Figura 11: Calculo de la media



En base a las tablas anteriores, donde se realizaron pruebas con diferentes tipos de botellas se generó una gráfica donde se plasmaron los resultados del porcentaje de error de cada conteo y se calculó su media con la ecuación 2 para apreciar el porcentaje de error general del sistema cuando se ingresa una botella de consumo diario o PET, que arroja un valor aproximado del 16% como se puede observar en la Figura 11

Materiales diferentes

En este caso se hicieron pruebas con diferentes materiales, el material que obstaculizara completamente el haz de luz que se forma entre el emisor y receptor, es leído de manera correctamente y su voltaje de salida siempre va ser de 5v, como lo es en el caso de los siguientes materiales; el cartón, la roca y piel humana.

Tabla VII: Resultados prueba 1 con diferentes materiales

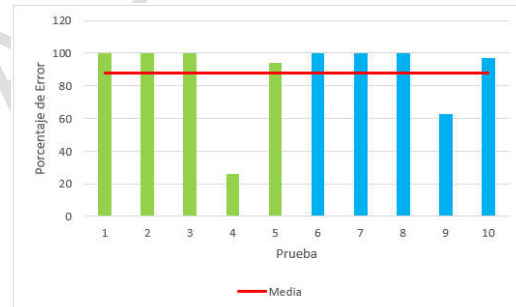
Tipo de material	Cantidad ingresada	Conteo de material	Material no leídas	No contados	% de Error
Roca	50	50	0	50	100
Cartón	50	50	0	50	100
Piel Humana	50	50	0	50	100
Vidrio Transparente	50	50	13	22	26
Vidrio de Color	50	50	3	47	94
Prueba 1					84

Tabla VIII: Resultados prueba 2 con diferentes materiales

Tipo de material	Cantidad ingresada	Conteo de material	Material no leídas	No contados	% de Error
Roca	100	100	0	100	100
Cartón	100	100	0	100	100
Piel Humana	100	100	0	100	100
Vidrio Transparente	100	100	37	30	63
Vidrio de Color	100	100	3	95	97
Prueba 2					92

En la Tabla VII y Tabla VIII, se puede apreciar algunos tipos de materiales que son leídos y en su peor defecto tenido en cuenta por el prototipo en el proceso de conteo de botellas. Esto se da con mayor frecuencia en los materiales de vidrios transparentes, que a diferencia de los vidrios de colores que su porcentaje de error es muy diferente y las probabilidades de que pueda ser tenido en cuenta en el proceso de conteo de botellas es muy bajo.

Figura 12: Calculo de la media



En este caso el cálculo de la media utilizando la ecuación x tiene un valor aproximado de 88% que resulta bastante alto como se puede observar en la Figura 12, sin embargo para este tipo de pruebas dado que se utilizó materiales diferentes a las botellas de consumo diario y PET, dicho porcentaje resulta beneficioso dado que un objetivo de este sistema es no realizar el conteo de dichos materiales cuando se traten de ingresar.

Cálculo y consumo del prototipo

Para calcular el consumo del prototipo, a cada elemento se le midió el voltaje y corriente para poder encontrar su potencia de operación, una vez encontrada la potencia de cada elemento, se sumaron para obtener la potencia total. En el siguiente cálculo se observan los resultados obtenidos.

$$W = V * I \quad (3)$$



Donde:

$W \rightarrow$  Potencia del elemento

$V \rightarrow$  Voltaje del elemento

$I \rightarrow$  Corriente

Tabla IX: Consumo de cada elemento del prototipo

Elementos	Voltaje (v)	Corriente (A)	Potencia (w)
Impresora térmica	8.15	0.111	0.905
Pantalla LCD	4.94	0.056	0.276
Servomotor	4.97	0.056	0.278
Sensor	4.97	0.057	0.283
Arduino MEGA	5	0.3	1.5

A partir de la Tabla IX se saca la potencia total consumida por los elementos del prototipo en la ecuación 5 que da como resultado 3.42W

$$Pt = 0.905W + 0.276W + 0.278W + 0.283W + 1.5W \quad (4)$$

$$Pt = 3.242W$$

Donde:

$Pt \rightarrow$  Potencia total

Teniendo en cuenta que el sistema tiene un uso de 12H por día y sea usado los seis días de la semana, el consumo de energía sería el siguiente:

$$Carga \text{ promedio diaria DC} = \frac{P_{DC} * Horas \text{ dia} * Dias \text{ semana}}{7} \quad (5)$$

$$Carga \text{ promedio diaria DC} = 33.27Wh$$

Teniendo en cuenta la carga promedio diaria y las especificaciones de la batería mostradas en la tabla XI, se procede a realizar el cálculo de las baterías necesarias para medio día de autonomía.

Tabla X: Especificaciones batería.

Eficiencia	0.9%
Límite de Descarga	0.5%
Capacidad	7.5Ah
Voltaje	12v

$$Ah_{prom/da} = \frac{Carga_{promDC}}{Voltaje DC} = 4 \quad (6)$$

$$Baterias_{paralelo} = \frac{Ah_{prom/da} * Dia \text{Autonomia}}{\frac{Limite \text{ de Descarga}}{Capacidad}} = 1 \quad (7)$$

$$Baterias_{serie} = \frac{Voltaje DC}{Voltaje \text{ Batería}} = 1 \quad (8)$$

$$Total \text{ de Baterías} = Baterias_{paralelo} * Baterias_{serie} = 1 \quad (9)$$

Haciendo el uso de las ecuaciones 7 y 8 y sacando el calculo con la ecuación 9 se puede apreciar que el sistema según los parámetros planteados necesita una batería.

Dimensionamiento panel fotovoltaico

Tabla XI: Panel Jarrett.

Horas sol/pico día	3.5
Corriente Pico (Imp)	0.68 A
Corriente en corto circuito (Isc)	0.75 A
Voltaje nominal	12 V

En base a las especificaciones del panel fotovoltaico y dimensionamiento de la batería ya realizadas anteriormente se procesa a realizar el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos:

$$Corriente \text{ pico arreglo} = \frac{Ah_{dia \text{ prom}}}{Eficiencia \text{ batera} / Horas \text{ sol pico}} = 1.1A \quad (10)$$

$$Modulos \text{ en paralelo} = \frac{Corriente \text{ pico arreglo}}{Corriente \text{ pico modulo}} \approx 1 \quad (11)$$

$$Modulos \text{ en serie} = \frac{Voltaje \text{ sistema}}{Voltaje \text{ nominal modulo}} \approx 1 \quad (12)$$

$$Total \text{ modulos} = Modulos \text{ en paralelo} * Modulos \text{ en serie} = 2 \quad (13)$$

Resultado final del prototipo en imágenes

Figura 13: Vista frontal del prototipo final

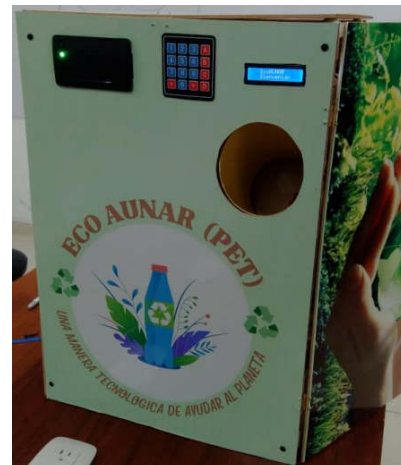


Figura 14: Vista lateral del prototipo final



Figura 16: Vista interior del prototipo final



Figura 17: Vista del sistema de control 1

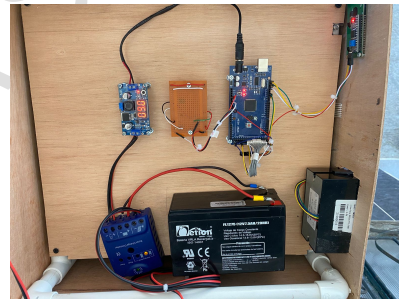


Figura 15: Vista trasera del prototipo final



Figura 18: Vista del sistema





## IX. CONCLUSIONES.

Durante la realización del desarrollo de este prototipo, se ensayaron distintos sensores para poder detectar el ingreso de las botellas, principalmente se utilizó un sensor infrarrojo capaz de detectar cualquier obstáculo u objetos que se le presentase al frente de él, el problema era de que tenía una lectura digital de 0 y 1, esto para la maquina sería un gran inconveniente porque al momento del conteo cualquier objeto que se le introdujera iba a ser contado; por este motivo se decidió ensayar con otros tipos de sensores.

Debido a la imprecisión del primer sensor se optó por ensayar con otros tres sensores, una vez comparada la eficacia de estos elementos se eligió el sensor óptico de barrera. Gracias al haz de luz que se presenta entre el receptor y emisor, se pueden observar la variación de voltaje al atravesar dicho material por esta barrera y arrojando así una señal analógica que sirvió para identificar el material de tipo PET.

Según los cálculos realizados el prototipo requiere de 1 módulo fotovoltaico con mayor potencia, sin embargo fue posible utilizar únicamente este modulo para la fabricación del prototipo, ya que este al encontrarse en funcionamiento únicamente en pro de pruebas, no se utilizó el sistema prolongadamente durante el día. Sin embargo con dicho panel , el regulador y la batería seleccionados, se pudo estimar que el sistema si puede funcionar autónomamente con los componentes que se dimensionó aunque a falta de un panel es posible que en las pruebas su batería dure un poco menos.

Finalmente, y como dato muy importante, es que, si se logra concientizar a la población del municipio de Tumaco, es un inicio y un primer aporte a recuperación en general del medio ambiente. Lograr la disminución de desechos contaminantes y aumentar el reciclaje es, además de ser un negocio muy rentable, un bien que se le hace al plante pues con ello se logrará mejorar los problemas en el mar y la baja de los contaminantes producidos.

## X. ANEXOS

### Anexo A. Código Programa Arduino.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <Keypad.h>
#include "Adafruit_Thermal.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>
```

```
Servo myservo;
```

```
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
```

```
#define TX_PIN 10 // transmite
#define RX_PIN 11 // receive
```

```
SoftwareSerial mySerial(RX_PIN, TX_PIN);
// Declare SoftwareSerial obj first
Adafruit_Thermal printer(&mySerial);
// Pass addr to printer constructor
```

```
char keys[ROWS][COLS]= {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {7,6,5,4};
byte colPins[COLS] = {3,2,14,15};
```

```
const int TM = 7;
int R = 4, G = 3, B = 2, t = 1000, opt = 0,
c = 0, b = 0, p = 0, bp = 10, ST = 5, tb = 0;
String msgs[TM] = {"EcoAUNAR", "Digite cedula",
  "Cedula correcta?",
  "Botellas X pto", "Conteo", "Ingrese botella",
  "Impresión"};
String vlrs[TM] = {"Bienvenido", "", "##:Si
:No", "10",
"##:Inicia", ": Detiene", "A: Imprime"};
String ced, paq;
```

```
Keypad kp = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins
, colPins, ROWS, COLS);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
```

```
double sensorPin = A0;// agregado
double sensorValue; //agregado
double voltaje; //agregado
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  printer.begin(9600);
  myservo.attach(48); //agregado
  pinMode(A7, INPUT); //agregado
  pinMode(R, OUTPUT);
  pinMode(G, OUTPUT);
  pinMode(B, OUTPUT);
```

```
  pinMode(ST, INPUT);
```

```
  ced = "";
  paq = "10";
  vlrs[3] = paq;
```

```
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(msgs[opt]);
  lcd.setCursor(3,1);
```



```

    lcd.print(vlrs[opt]);
    Serial.println(msgs[opt]);
    Serial.println(vlrs[opt]);
}

void loop() {
    char k = kp.getKey();
    if(k != NO_KEY) {
        Serial.print(ced);
        Serial.print(" ");
        Serial.println(paq);
        if(k == '#') {
            digitalWrite(G, HIGH);
            if(opt < (TM-1)) {
                opt++;
                if(opt == 6) {
                    bp = paq.toInt();
                }
            }
            delay(t);
            digitalWrite(G, LOW);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(1,0);
            lcd.print(msgs[opt]);
            c = 0;
            lcd.setCursor(1,1);
            lcd.print(vlrs[opt]);
            Serial.println(msgs[opt]);
            Serial.println(vlrs[opt]);
        } else if(k == '*') {
            digitalWrite(R, HIGH);
            if(opt > 0) {
                opt--;
            }
            delay(t);
            digitalWrite(R, LOW);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(1,0);
            lcd.print(msgs[opt]);
            lcd.setCursor(1,1);
            lcd.print(vlrs[opt]);
            Serial.println(msgs[opt]);
            Serial.println(vlrs[opt]);
        } else if(k == 'A') {
            printer.justify('C');
            printer.println(F("BIENVENIDOS
            A \nEcoAUNAR"));
            printer.println("");
            printer.println(F("Puntos
            acumulados:"));
            printer.println(p);
            printer.println(F("Botellas:"));

            tb = p * 10 ;
            printer.println(tb);
            printer.println(F("Gracias por
            contribuir\n
            con la preservacion\ndel medio
            ambiente "));
        } else if(k == 'D') {
            digitalWrite(B, HIGH);
            opt=0;
            ced = "";
            paq = "10";

            b = 0;
            p = 0;
            bp = 10;
            delay(t);
            digitalWrite(B, LOW);
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(3,0);
            lcd.print(msgs[opt]);
            lcd.setCursor(3,1);
            lcd.print(vlrs[opt]);
            Serial.println(msgs[opt]);
            Serial.println(vlrs[opt]);
            vlrs[0] = "Bienvenido";
            vlrs[1] = "";
            vlrs[2] = "#:Si *:No";
            vlrs[3] = "";
            vlrs[4] = "#:Inicia";
            vlrs[5] = "*: Detiene";
            vlrs[6] = "A: Imprime";
        } else if((k == '0') || (k == '1')
        || (k == '2') ||
        (k == '3') || (k == '4') || (k == '5')
        || (k == '6') ||
        (k == '7') || (k == '8')
        || (k == '9')) {
            if(opt == 1) {
                ced += k;
                lcd.setCursor(c,1); c++;
                lcd.print(k);
            }
        }
    }
    if(opt == 5) {
        sensorValue = analogRead(sensorPin);
        voltaje = map(sensorValue,0,1023,0,5000);
        //cambiar la escala de voltaje
        voltaje = voltaje/1000;
        Serial.println(voltaje,3);

        if(voltaje <= 4.985){
            delay(200);
            myservo.write(0);
        }else{
            if( voltaje<= 4.990){
                b++;
                if(b == bp) { // b=0;, bp=10;
                    , p=0;
                    p++; b = 0;
                }
            }
            myservo.write(90);
            delay(200);
        }

        vlrs[opt] = "Bot: ";
        vlrs[opt] += b;
        vlrs[opt] += ", Pte: ";
        vlrs[opt] += p;
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print(msgs[opt]);
        lcd.setCursor(1,1);
        lcd.print(vlrs[opt]);
    }
}

```

```
}  
    delay(500);  
}
```

### Anexo B. Planos de la maquina modelo 3D

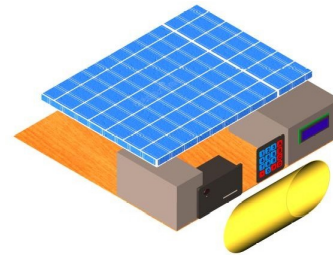
Figura 19: Vista Lateral 3D



Figura 20: Vista Lateral 3D



Figura 21: Vista Interior 3D



### Anexo C. Planos de la maquina 2D

Figura 22: Vista Lateral 2D

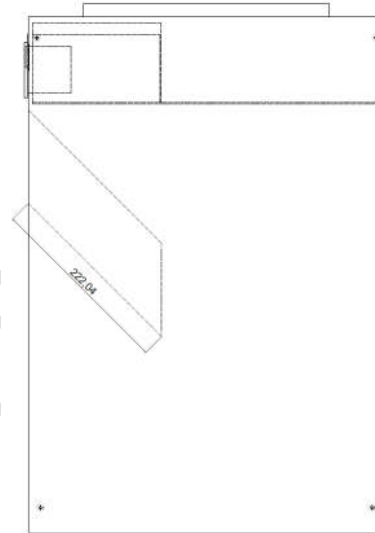
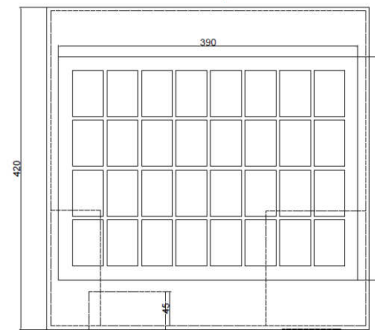


Figura 23: Vista Superior 2D



### Referencias

- [1] K. Campos, F. Gomez, M. Montero, F. Pantoja, and J. Pasco, "Diseño del proceso de producción de ladrillos basados en plástico reciclado," 2019.
- [2] J. Carrillo, "¿qué objetos de nuestra vida diaria son derivados del petróleo?," 2016.
- [3] L. Quiñones, "El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente," 2021.



- [4] L. Katya and Z. Cuevas, “Botellas desechables, problemas permanentes – dirección de comunicación de la ciencia,” 2022.
- [5] A. F. M. Rosero and W. J. Q. Padilla, “DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXPENDEDORA INVERSA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET CON SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO,” p. 143, 2018.
- [6] S. Núñez Chavarro, J. Cortés Carvajal, and C. Polanía Reyes, “Diseño de un modelo a escala para una máquina interactiva de reciclaje de botellas plásticas en una comunidad indígena de caloto (cauca) | revista sapientia,” 2021.
- [7] D. M. Cardoso Totoy and H. M. Vizcaíno Salazar, “Rediseño e implementación de la máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de mecánica.,” 2015. Accepted: 2016-02-16T22:01:54Z Publisher: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [8] I. Balladares Gamonal, “Cálculo y Selección de Sistemas Fotovoltaicos Modulares para Consumo Energético Básico en el Caserío de San Pedro, Distrito de Olmos, Provincia y Región de Lambayeque,” 2018. Publisher: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- [9] J. A. R. GARZÓN, D. J. G. TRISTANCHO, M. F. B. RINCÓN, and D. B. ARIZA, “Implementación del Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,” Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, no. 113, pp. 21–29, 2019.
- [10] R. B. C, “La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en bogotá,” 2012.
- [11] A. Vela, H. Robles, and A. Urrego, “Diseño de maquina multifuncional de reciclaje de botellas PET, para el aprovechamiento de material solido con potencial a ser reciclado en una gestión integral de residuos sólidos.,” 2016.
- [12] D. Tamayo, K. Fragoso, and K. Bastidas, “Diseño de un bono ambiental como estrategia para fomentar el manejo adecuado de los residuos sólidos en el sector viento libre del municipio de tumaco,” 2019.
- [13] J. Elbaz, L. Vargas, and J. Donev, “ley de ohm,” 2021.
- [14] “Calculadora de error porcentual,” 2020.