

Designing Sustainable Solutions: Waste Collection in the Tambo River with Technological Innovation

Diego S. Gonzales¹ , Marco A. Espinoza² , Arturo G. Velasquez, Mg³ , Victor R. Guillen, Dr⁴ 

^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, ¹U21304781@utp.edu.pe, ²U22231178@utp.edu.pe, ³C25661@utp.edu.pe,

⁴C11255@utp.edu.pe

Abstract—The collection of solid waste in bodies of water, such as rivers, represents a key challenge, given the environmental and social impact that this waste generates if not properly managed. The increase in water pollution and the need to protect aquatic ecosystems have motivated the development of various technologies to collect solid waste. Solutions reported in the literature include floating devices, passive barrier systems and automated mechanisms for efficient waste removal. Within this context, the design of a modular semi-automated system for the collection, separation and disposal of solid waste in the Tambo River is presented. This includes the design of floating barriers for the initial waste capture, automatic systems through a conveyor belt, use of solar panels to provide energy and a module for waste collection, which contributes to the preservation of the ecosystem and is functional in a real environment.

Keywords- Collection, disposal, solid waste, refuse, modular design.

Diseño de Soluciones Sostenibles: Recolección de Residuos en el Río Tambo con Innovación Tecnológica

Diego S. Gonzales¹ , Marco A. Espinoza² , Arturo G. Velasquez, Mg³ , Victor R. Guillen, Dr⁴ 

^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú, ¹U21304781@utp.edu.pe, ²U22231178@utp.edu.pe, ³C25661@utp.edu.pe,

⁴C11255@utp.edu.pe

Resumen— La recolección de residuos sólidos plásticos, botellas, bolsas, envases descartables, papeles y cartones en cuerpos de agua, como ríos, representa un desafío clave, dado el impacto ambiental y social que generan estos desechos si no se gestionan adecuadamente. El aumento de la contaminación hídrica y la necesidad de proteger los ecosistemas acuáticos han motivado el desarrollo de diversas tecnologías para recolectar residuos sólidos. Las soluciones reportadas en la literatura incluyen dispositivos flotantes, sistemas de barreras pasivas y mecanismos automatizados para el retiro eficiente de desechos. Dentro de este contexto, se presenta el diseño de un sistema semiautomatizado modular para la recolección, separación y disposición de residuos sólidos en el río Tambo. Esto incluye la instalación de barreras flotantes para la captura inicial de residuos, sistemas automáticos a través de una faja, uso de paneles solares para dar energía y un módulo para la recolección de los residuos, que contribuya a la preservación del ecosistema y sea funcional en un entorno real.

Palabras clave— Recolección, disposición, residuos sólidos, desechos, diseño modular.

I. INTRODUCCIÓN

En el dinámico entorno de la sostenibilidad ambiental, la constante búsqueda de soluciones innovadoras y eficientes es esencial para combatir la contaminación y preservar los recursos naturales [1]. En este contexto, la recolección de residuos sólidos de cuerpos de agua, como ríos, representa un desafío clave, dado el impacto ambiental y social que generan estos desechos si no se gestionan adecuadamente [2],[3]. El aumento de la contaminación hídrica y la necesidad de proteger los ecosistemas acuáticos han motivado el desarrollo de diversas tecnologías para recolectar residuos sólidos [4]. Las soluciones reportadas en la literatura incluyen dispositivos flotantes, sistemas de barreras pasivas y mecanismos automatizados para el retiro eficiente de desechos. Según, las barreras flotantes que canalizan los residuos hacia puntos específicos para su recolección, mientras que los sistemas automatizados [5]. Los descritos que emplean sensores y brazos mecánicos para capturar y almacenar los desechos de manera autónoma [6]. Estas innovaciones buscan minimizar la intervención manual, mejorar la eficiencia del proceso y garantizar la durabilidad de las soluciones [7]. Se busca implementar un sistema combinado de redes flotantes para la recolección inicial de residuos, seguido de su separación mediante tamices automáticos. Luego, los residuos se transportan mediante tubos de succión a un sistema de

compactación y reciclaje ubicado en una planta ubicada en la orilla del río. Sin embargo, a pesar de los avances existentes, se presentan desafíos como la adaptación a distintas condiciones del entorno, la sostenibilidad económica de los proyectos y la capacidad de operación en ríos de diversas características [8]. Ante este panorama, el presente trabajo aborda la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar un sistema recolector de residuos sólidos semi automatizado para el río Tambo, que contribuya a la preservación del ecosistema y sea funcional en un entorno real? A lo largo del documento, se describe detalladamente la metodología utilizada para fundamentar el diseño propuesto, integrando tanto investigaciones previas como los requerimientos específicos del entorno [9]. También se explica el proceso de diseño y desarrollo del sistema, abarcando desde la conceptualización inicial hasta la creación del modelo en CAD, resaltando los aspectos técnicos y prácticos más relevantes. Además, se presentan los resultados obtenidos, con énfasis en las principales características y beneficios del sistema desarrollado [10]. Finalmente, se exponen las conclusiones clave del proyecto y las proyecciones para trabajos futuros, con el objetivo de optimizar y escalar la solución propuesta.

II. METODOLOGÍA

El presente trabajo busca diseñar un sistema semiautomatizado modular para la recolección, separación y disposición de residuos sólidos en el río Tambo. Por lo cual, primero se definió y conceptualizó la propuesta base del sistema de recolección de residuos mediante una revisión sistemática de la literatura[11]. Seguido, se analizó las condiciones técnicas mínimas necesarias que el diseño debe cumplir incluyendo materiales, equipos y herramientas a partir de la verificación de la reglamentación en el sistema propuesto.

A. Condiciones Técnicas:

- Barreras Flotantes: Diseñadas para soportar las condiciones ambientales del río y capaces de capturar residuos flotantes (botellas, bolsas, envolturas, ramas, etc.).
- Tamices Automáticos: Sistemas automatizados que separan los residuos por tamaño por decir microplásticos(5mm), pequeños(5-25mm), medianos(25-200mm), grandes(200mm) y tipo (residuos flotantes, etc.).

- Sistema de Succión y Transporte: Tubos de succión conectados a una planta flotante que facilita el transporte de residuos hacia el área de reciclaje.
- Planta Flotante con estructura metálicas: Unidad móvil para la compactación y reciclaje de los residuos recolectados.

B. Requerimientos:

- Materiales: Redes y barreras flotantes, componentes metálicos resistentes a la corrosión, tubos de succión.
- Equipos y Recursos: Sistemas automatizados de tamices, módulo de recolección, paneles solares para la energía.

B.1 Materiales:

- Barreras Flotantes: Fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, como polietileno de alta densidad (HDPE) o acero inoxidable, para capturar residuos flotantes en el río.
- Tamices Automáticos: Mallas de acero inoxidable o polímeros resistentes, utilizadas para la separación automática de residuos sólidos según su tamaño.
- Estructuras de Soporte: Componentes metálicos, de acero galvanizado, para sostener las diferentes partes del sistema.
- Faja transportadora: La faja debe estar construida con materiales resistentes (aceros inoxidables) desgaste y la corrosión, como caucho reforzado o PVC, para transportar la basura al contenedor.

B.2 Equipos y recursos:

- Paneles Solares: Para proporcionar energía renovable y sostenible a los sistemas automáticos y a la planta de reciclaje, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.
- Faja Transportadora: Sistema mecanizado para el transporte de residuos desde el punto de recolección hasta el área de compactación y reciclaje.
- Sistemas de Tamizado Automático: Equipos mecánicos o eléctricos que clasifican los residuos en función de su tamaño y tipo.
- Sensores y Sistemas de Monitoreo: Para evaluar el flujo de residuos y el rendimiento del sistema

B.3 Herramientas:

Herramientas de Montaje: Llaves, destornilladores, taladros, y otros equipos de mano necesarios para la instalación de las barreras y tamices.

- Equipos de Soldadura: Utilizados para ensamblar y reparar estructuras metálicas.

B.4 Consumibles:

- Lubricantes: Para el mantenimiento de equipos mecánicos y reducir el desgaste de componentes móviles.
- Piezas de Repuesto: Incluyendo mallas de tamices, componentes de la faja, y otras partes críticas.
- Materiales de Protección: Pinturas anticorrosivas, recubrimientos para estructuras metálicas y selladores para conexiones.

A continuación, se va evaluar la viabilidad técnica y económica del diseño propuesto, definiendo requisitos importantes como la eficiencia y durabilidad del sistema propuesto.

C. Viabilidad del proyecto

C.1 Viabilidad Técnica:

- Tecnología Probada: El proyecto utiliza tecnologías existentes y probadas, como las barreras flotantes, fajas transportadoras, tamices automáticos y paneles solares. Estos elementos son conocidos por su eficacia en la gestión de residuos y en la generación de energía renovable.

- Modularidad: El diseño modular permite la adaptación del sistema a diferentes condiciones del río, lo que aumenta su capacidad para operar en diversos escenarios [12].
- Mantenimiento y Durabilidad: Los materiales seleccionados (acero inoxidable, HDPE, etc.) son duraderos y requieren un mantenimiento relativamente bajo, lo que facilita la sostenibilidad técnica del proyecto [13].

C.2 Viabilidad Económica:

- Costos Iniciales y Mantenimiento: Aunque la implementación inicial puede ser costosa debido a la adquisición de materiales duraderos y equipos como los paneles solares, la reducción en costos operativos gracias a la energía solar y la minimización de residuos no reciclables puede equilibrar los costos a largo plazo.
- Financiamiento: Si se asegura financiamiento de fuentes gubernamentales o privadas, o a través de alianzas con ONGs y programas internacionales para la mejora ambiental, el proyecto podría ser económicamente viable.

C.3 Lista de exigencias:

- Eficiencia: El sistema debe recolectar al menos el 90% de los residuos sólidos en un área específica del río.
- Durabilidad: Los componentes mecánicos deben resistir las condiciones ambientales del río Tambo por al menos 10 años sin necesidad de reemplazo frecuente.
- Adaptabilidad: El sistema debe poder ajustarse a diferentes niveles de caudal y volumen de residuos.
- Bajo impacto ambiental: El sistema no debe causar daño adicional al ecosistema acuático.
- Coste accesible: El costo de implementación y mantenimiento debe ser viable para las comunidades locales y/o gobiernos involucrados. Teniendo en cuenta, todos los requerimientos previos mencionados, se presenta una matriz morfológica (Ver Figura 1) del diseño propuesto y un black box (Ver Figura 2), que verifica las entradas (residuos sólidos) y salidas del sistema (río sin residuos sólidos). El sistema presenta para la recolección: barreras flotantes que canalizan los residuos hacia una unidad central o módulo. Para la clasificación: Mediante sistemas de flotación que permiten separar los residuos plásticos de los residuos orgánicos, utilizando módulos diseñados para esta función. [14].

Presupuesto

Variables	Opción A	Opción B	Opción C
Redes flotantes	Redes flotantes	Barreras flotantes	Drones recolectores
Separación de residuos	Tamices automáticos	Sistemas de flotación	Sistemas de centrifugado
Transporte de residuos	Cintas transportadoras	Tubos de succión	Barcos recolectores
Disposición final	Compactación y reciclaje	Triturado y compostaje	Almacenamiento temporal flotante

Figura 1: Matriz Morfológica

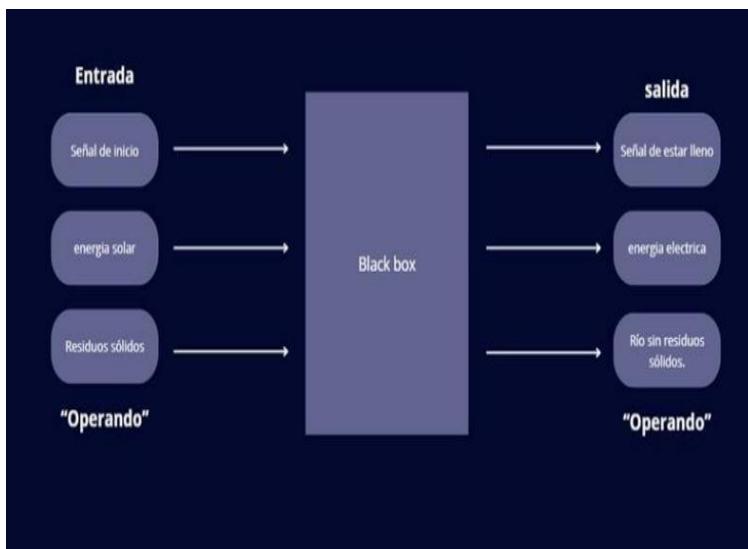


Figura 2: Black Box

Caja negra un sistema visto en términos de entradas con salidas deseadas en base al proyecto.

Por otra parte, se presenta también un presupuesto que describe cada una de las partes involucradas del sistema y el costo total del mismo (Ver Tabla I).

TABLA I

Categoría	Descripción	Cant.	Costo unitario (USD)	Costo Total (USD)
Materiales	Barreras flotantes (redes de nylon)	500 m	20	10000
Aluminio	Tamices Manuales	3 unid.	500	1500
PVC	Tubos de PVC Flexibles	200 m	15	3000
Aluminio	Estructuras de soporte	10 unid.	300	3000
Equipos y recursos	Paneles solares portátiles (50 W)	10 unid.	50	500
Nylon	Faja transportadora manual	1 unid.	5000	5000
Herramientas	Herramientas de montaje	1 set	500	500
Consumibles	Lubricantes	20 litros	10	200
Acero A36	Piezas de repuesto	1 set	1000	1000
Acero A304	Materiales de protección	1 set	1000	1000
Otros costos	Transporte local	-	-	2000
	Mano de obra	-	-	5000
	TOTAL			32700

En base a lo especificado previamente, se procedió a realizar el diseño y desarrollo de un modelo 3D (Ver figura 3) de la propuesta planteada mediante un software de uso comercial (CAD).



Figura 3: Boceto del proyecto
Se describe visualmente a través de una lista de componentes un proyecto que integra energía solar y energía hidráulica (figura 3).

A continuación, se presenta cada una de las partes principales del diseño propuesto, junto a sus características más relevantes.

D. Diseño detallado del Proyecto

D.1 Faja transportadora (Ver figura 4):

Un equipo mecánico que mueve materiales acumulado en las mallas hacia la caja de depósito.

- Material: Banda de nylon/polietileno, rodillos de acero inoxidable.
- Capacidad: Carga de hasta 50 kg; velocidad ajustable (0.5-3 m/s).
- Motor: 100 W, alimentado por paneles solares.

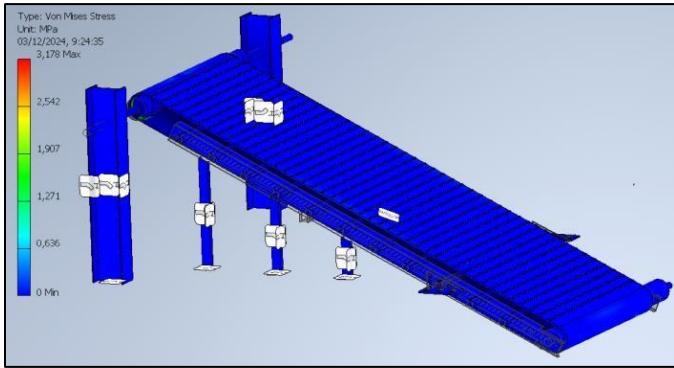


Figura 4: Faja transportadora

D.2 Flotador (Ver figura 5):

- Material: Polietileno de alta densidad (HDPE).
- Capacidad: Hasta 200 kg.

- Dimensiones: 2 m × 0.5 m × 0.3 m

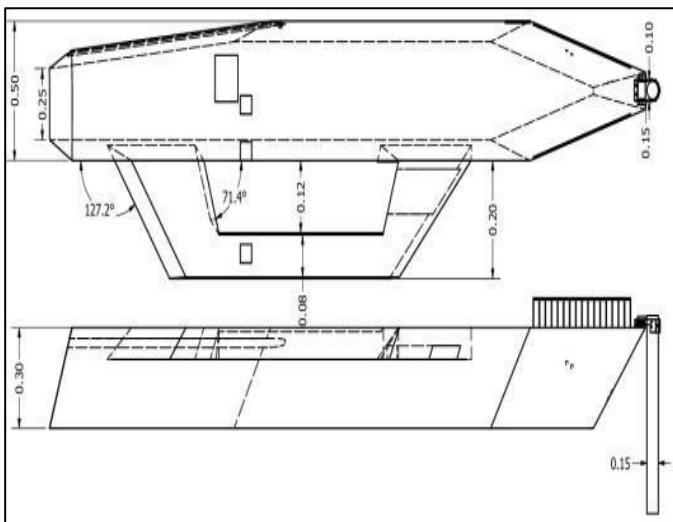


Figura 5: Flotador
(Vista frontal/superior)

Flotador vacío que ayuda que la estructura montada se mantenga a flote en el río Tambo.

- Material: Acero inoxidable y recubrimiento interno de polietileno.

D.3 Caja depósito (Ver figura 6):

- Material: Acero inoxidable y recubrimiento interno de polietileno.

- Capacidad: 1 tonelada.

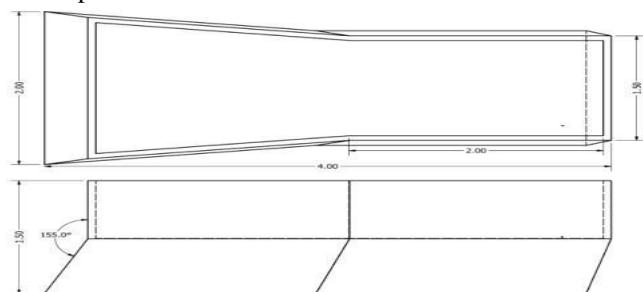


Figura 6: Caja depósito
(Vista frontal/superior)

D.4 Panel Solar (Ver figura 7):

Se incorpora un panel como parte del equipamiento necesario para el control del sistema.

- Potencia: 400 W por panel.
- Energía: Baterías de 12 V, 50 Ah para almacenamiento.
- Estructura: Soportes ajustables de acero inoxidable.

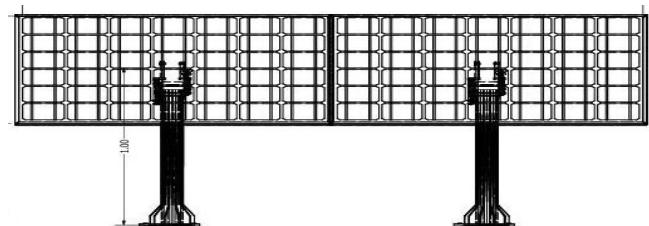


Figura 7: Panel solar

D.5 Rueda hidráulica (Ver figura 8):

- Material: Acero inoxidable.
- Dimensiones: Diámetro de 2 m; ancho de 0.4 m.
- Velocidad angular: 30.03rad/s>94.6rad/s.

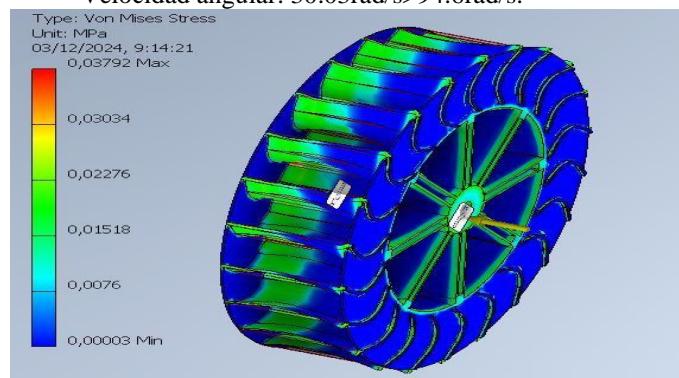


Figura 8: Rueda hidráulica

Finalmente, se verificó la integración de redes flotantes que incluyen la recolección inicial de residuos, seguida de una separación automática mediante pantallas. Todo el trabajo se

presenta a partir de cálculos matemáticos que se presentan en el apartado de resultados.

III. RESULTADOS

La óptima verificación del sistema propuesto está basada en el cálculo de fuerzas y velocidades a las que se verá sometido el sistema propuesto [15]. Este cálculo se presenta a continuación.

A. Cálculo de fuerzas y velocidades, DCL, Ecuaciones del movimiento y suposiciones correspondientes a la faja transportadora:

Para el análisis de las fuerzas y velocidades en la faja inclinada (con ángulos de 30°, 40°, y 50°), usaremos las ecuaciones del movimiento aplicadas a los cuerpos en un plano inclinado. Se asume que el sistema está en movimiento y que hay fuerzas de fricción y un sistema motriz que aplica una fuerza constante para elevar los residuos sólidos [16].

A.1 Fuerzas actuantes (Ver Figura 9): Peso (W): El peso de los residuos, descompuesto en:

$$W \parallel = W \sin \theta \quad (1)$$

(componente paralela a la superficie de la faja).

$$W \perp = W \cos \theta \quad (2)$$

(componente perpendicular a la superficie de la faja).

Fuerza Normal (N): Actúa perpendicular a la superficie de la faja. Compensa la componente perpendicular del peso.

$$N = W \cos \theta \quad (3)$$

Fuerza de Fricción (Ff): Actúa en dirección opuesta al movimiento. Depende de la fuerza normal y el coeficiente de fricción (μ).

$$Ff = \mu N = \mu W \cos \theta \quad (4)$$

Fuerza Aplicada (F): La fuerza que impulsa el sistema hacia arriba, contrarrestando la fricción y la componente del peso paralela al plano inclinado.

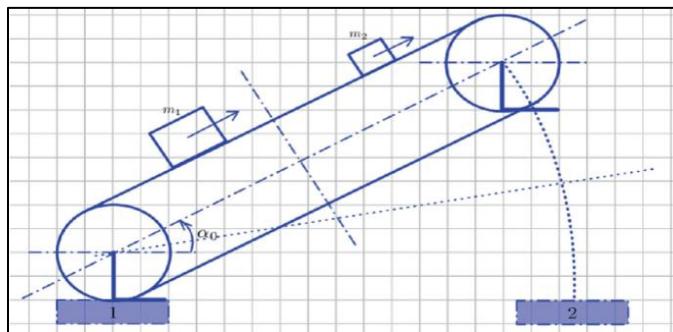


Figura 9: Fuerzas actuantes

A.2 Ecuaciones del Movimiento:

Primera Ley de Newton: Para analizar el movimiento en el eje paralelo a la faja (eje x).

Se suman todas las fuerzas en la dirección paralela:

$$F_{net} = F - Ff - W \sin \theta = ma \quad (5)$$

Aceleración: Reorganizando la ecuación para obtener la aceleración del sistema:

$$a = \frac{F - \mu W \cos \theta - W \sin \theta}{m} \quad (6)$$

Cálculo para 30°

Si el peso de los residuos es $W=mg$, y $m=10 \text{ kg}$, el ángulo es 30°, y el coeficiente de fricción $\mu=0.2$ entonces:

$$W = 10 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 98.1 \text{ N} \quad (7)$$

$$W \parallel = W \sin (30^\circ) = 98.1 \times 0.5 = 49.05 \text{ N} \quad (8)$$

$$W \perp = W \cos (30^\circ) = 98.1 \times 0.866 = 84.96 \text{ N} \quad (9)$$

$$Ff = \mu W \perp = 0.2 \times 84.96 = 16.992 \text{ N} \quad (10)$$

Si se aplica una fuerza de $F=100 \text{ N}$ la aceleración será:

$$a = \frac{100 - 16.992 - 49.05}{10} = \frac{33.958}{10} = 3.4 \text{ m/s}^2 \quad (11)$$

Velocidades utilizadas de la ecuación cinemática básica, podemos calcular la velocidad de los residuos sobre la faja en función del tiempo:

$$v = v_0 + at \quad (12)$$

Si la velocidad inicial es cero ($v_0=0$), la velocidad a un tiempo t será:

$$v = at \quad (13)$$

Por ejemplo, si la aceleración es 3.4 m/s, y el tiempo transcurrido es $t=2 \text{ s}$:

$$v = 3.4 \times 2 = 6.8 \text{ m/s} \quad (14)$$

Cálculos para Diferentes Ángulos Para otros ángulos como 40° y 50°, se siguen los mismos pasos cambiando el valor de θ . Para $\theta=40^\circ$.

$$W \parallel = W \sin (40^\circ) \approx 98.1 \times 0.642 = 62.96 \text{ N} \quad (15)$$

$$W \perp = W \cos (40^\circ) \approx 98.1 \times 0.766 = 75.12 \text{ N} \quad (16)$$

$$Ff = \mu W \perp = 0.2 \times 75.12 = 15.024 \text{ N} \quad (17)$$

La aceleración para una fuerza de $F=100 \text{ N}$ sería:

$$a = \frac{100 - 15.024 - 62.96}{10} = \frac{22.016}{10} = 2.2 \text{ m/s}^2 \quad (18)$$

Para $\theta=50^\circ$.

$$W \parallel = W \sin (50^\circ) \approx 98.1 \times 0.766 = 75.16 \text{ N} \quad (19)$$

$$W \perp = W \cos (50^\circ) \approx 98.1 \times 0.643 = 63.04 \text{ N} \quad (20)$$

$$Ff = \mu W \perp = 0.2 \times 63.04 = 12.608 \text{ N} \quad (21)$$

La aceleración para una fuerza de $F=100 \text{ N}$ sería:

$$a = \frac{100 - 12.608 - 75.16}{10} = \frac{12.232}{10} = 1.22 \text{ m/s}^2 \quad (22)$$

B. Análisis cinemático para la rueda hidráulica:

Datos: Diámetro de la rueda (D): 2 m

Radio de la rueda (r): 1 m

Ancho de la rueda: 0.4 m

Nº rayos de la rueda: 8

Masa de la rueda: 10 kg

Flujo del agua: $1.55 \text{ m}^3/\text{s}$

Densidad del agua (ρ): 1000 kg/m^3 Flujo de Agua y

Velocidad del agua Se sabe que:

$$Q = A \times v \quad (23)$$

Q: Flujo o caudal volumétrico m^3/s

A: Área de la sección transversal

V: velocidad del agua

Para empezar, primero tendremos que hallar el área transversal de la rueda y seguidamente despejar la fórmula para poder obtener la velocidad del agua.

$$A = \text{ancho} \times \text{altura efectiva} = 0.4m \times 2m = 0.8m^2$$

$$Q_{agua} = A \times Vagua \quad Vagua = \frac{Q_{agua}}{A} \quad (24)$$

- Temporada Sequía:

$$Vagua = \frac{1.55 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m}^2} = 1.93 \text{ m/s} \quad (25)$$

- Temporada Sequía:

$$Vagua = \frac{2.75 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m}^2} = 3.44 \text{ m/s} \quad (26)$$

El momento de inercia de una rueda con rayos puede calcularse considerando las contribuciones del aro y los rayos por separado, ya que cada uno influye de manera distinta. Sin embargo, para simplificar el cálculo, si la masa de los rayos es mucho menor en comparación con la del aro, se puede aproximar el momento de inercia como el de una rueda sólida.

$$I = m \times r^2 = 100 \text{ kg} \times (1\text{m})^2 = 100 \text{ kg/m}^2 \quad (27)$$

Fuerza externa y torque.

El torque (τ) que se genera en la rueda es causado por la fuerza que el agua ejerce sobre los radios y el aro. Esta fuerza puede estimarse a partir del caudal de agua que impacta la rueda. Para ello, primero determinamos la fuerza del flujo de agua en términos de su cantidad de movimiento lineal. La fuerza (F) se puede expresar de la siguiente manera:

- Temporada Sequía:

$$F = \rho \times Q \times vagua \quad (28)$$

$$F = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 1.55 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.93 \text{ m/s} = 3033.12 \text{ N} \quad (29)$$

- Temporada Fluvial:

$$F = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 2.75 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.93 \text{ m/s} = 9460 \text{ N} \quad (30)$$

El torque (τ) se calcula a partir de la fuerza aplicada a la distancia r desde el eje:

$$\tau = F \times r = 3003.12 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 3003.12 \text{ N/m} \quad (31)$$

$$\tau = F \times r = 9460 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 9460 \text{ N/m} \quad (32)$$

Velocidad angular de la rueda

Ahora usamos el torque para encontrar la aceleración angular α . La relación entre torque y aceleración angular es:

$$\tau = I \times \alpha \quad (33)$$

- Temporada Sequía:

$$\alpha = 3003.12 \text{ N/m} / 100 \text{ Kg/m}^2 = 30.03 \text{ rad/s}^2 \quad (34)$$

- Temporada Fluvial:

$$\alpha = 9460 \text{ N/m} / 100 \text{ Kg/m}^2 = 94.6 \text{ rad/m}^2 \quad (35)$$

C. Suposiciones:

Se considera la fricción es constante en toda la superficie de la faja. El sistema opera en condiciones ideales (sin pérdidas mecánicas por rozamiento en poleas o ejes). El peso de los objetos es distribuido uniformemente sobre la superficie de la faja. Y, las aceleraciones calculadas no exceden las capacidades mecánicas del sistema motriz.

D. Material Seleccionado:

D.1 Acero inoxidable

- [16]Aplicaciones en la maquinaria:

- Estructura principal: El acero inoxidable es ideal para los componentes estructurales, como el marco, vigas y soportes. Esto es debido a su alta resistencia a la tracción, durabilidad y resistencia a la corrosión. Proporciona rigidez y estabilidad a la máquina.

- Ejes y rodamientos: Los ejes de rotación y otros componentes mecánicos que soportan movimiento continuo y cargas, como los rodamientos, también deberían fabricarse en acero inoxidable para resistir la fatiga y el desgaste, asegurando una larga vida útil en ambientes potencialmente húmedos o corrosivos.

- Tornillos, pernos y sujetadores: Dado que estos elementos están expuestos a tensiones, el acero inoxidable se usa para asegurar conexiones firmes y resistentes a la oxidación

D.2 Polímeros (Ej. Polietileno o Ny3lon) - Aplicaciones en la maquinaria:

- Cintas transportadoras: Las superficies que estarán en contacto con el material transportado (residuos sólidos) pueden estar hechas de polímeros. Estos materiales son ligeros, resistentes a la corrosión, y pueden ser lo suficientemente flexibles para moverse de manera continua sobre rodillos [17].

- Cubiertas protectoras: Las carcasa o cubiertas exteriores que protegen las partes móviles y los circuitos pueden estar hechas de polímeros. Además de ser ligeros, ofrecen protección contra la suciedad, humedad y daños físicos.

- Aislantes eléctricos: Los polímeros también pueden utilizarse como recubrimiento de cables o en cualquier parte donde se necesite aislamiento eléctrico para evitar cortocircuitos o sobrecalentamientos [18].

D.3 Compuestos (Ej. Fibra de carbono)

- Aplicaciones en la maquinaria:

- Componentes móviles ligeros: Si hay elementos que requieren movimiento rápido o eficiente (como algunos brazos mecánicos o componentes móviles no estructurales), el uso de fibra de carbono puede ayudar a reducir el peso de la máquina sin comprometer la resistencia. Esto sería útil si la máquina debe moverse o rotar rápidamente alguna parte de manera continua.

- Soportes de alta resistencia: En ciertas áreas críticas donde se necesita gran resistencia sin añadir mucho peso, los compuestos como la fibra de carbono pueden ser utilizados, especialmente si el costo no es una limitación importante.

D.4 Polímeros resistentes (Ej. Nylon, teflón)

- Aplicaciones en la maquinaria:

- Rodillos y cojinetes: En partes que requieren baja fricción y contacto directo con los residuos, como rodillos, el uso de polímeros como el nylon o el teflón es apropiado, ya que estos materiales son resistentes a la abrasión y no necesitan lubricación frecuente.

- Engranajes de baja carga: Los polímeros pueden utilizarse para engranajes o ruedas dentadas en sistemas de baja carga o donde se requiere un funcionamiento silencioso. Además, ofrecen resistencia al desgaste y a la fricción sin requerir un mantenimiento intensivo.

E. Distribución general de los materiales en la maquinaria:

- Estructura, ejes, tornillos, remaches y elementos de carga: Acero inoxidable, por su resistencia y capacidad de soportar tensiones, así como su durabilidad en condiciones ambientales adversas.

- Partes móviles ligeras y componentes expuestos a alta velocidad: Fibra de carbono en caso de que el peso sea un factor crítico.

- Elementos no estructurales, cubiertas, cintas transportadoras y aislamiento: Polímeros (como polietileno o nylon) para reducir peso, aumentar flexibilidad y resistencia a la corrosión. - Rodillos, cojinetes y superficies en contacto con los residuos: Polímeros resistentes como el teflón o nylon para reducir el desgaste y la fricción.

E.1 Acero A36:

- Composición Química:

Carbono: 0.25% máximo.

Manganoso: 0.80 – 1.20 %

Fósforo: 0.04 % máximo

Azufre: 0.05% máximo

Silicio: 0.40% máximo

- Propiedades mecánicas:

Límite elástico: 250 MPa (36,000 psi)

Resistencia a la tracción: 400 – 550 MPa (58,000 – 79,800 psi)

Ductilidad: A36 tiene una elongación de al menos 20% en 200 mm.

- Aplicaciones:

Es ideal para estructuras y soportes de maquinaria marcos, vigas y elementos donde se necesiten resistencia y rigidez, pero sin requerimientos específicos de resistencia a la corrosión.

- Ventajas:

Buena soldabilidad, facilidad de maquinado, económico.

E.2 Acero inoxidable 304:

- Composición Química:

Cromo: 18% – 20%

Níquel: 8% – 10.5%

Carbono: 0.08 % máximo

Manganoso: 2% máximo

Silicio: 0.75% máximo

- Propiedades mecánicas:

Límite elástico: 205 MPa

Resistencia a la tracción: 515 MPa

Dureza Brinell: 123

- Aplicaciones: 8 Partes en contacto con fluidos o en ambientes corrosivos, componentes expuestos a la intemperie, rodillos y ejes que requieran durabilidad y resistencia a la oxidación.

- Ventajas:

Excelente resistencia a la corrosión, fácil limpieza y buena resistencia a temperaturas elevadas

E.3 Nylon 6/6 (Polímero):

- Propiedades mecánicas:

Coeficiente de fricción: Bajo

Resistencia a la tracción: 75 MPa

Densidad: 1.14 g/cm³

- Aplicaciones:

Rodillos, cojinetes, engranajes de bajo esfuerzo y partes que requieran baja fricción y resistencia al desgaste.

- Ventajas:

Ligero, buena resistencia a la abrasión, auto lubricante y resistente a productos químicos.

E.4 Fibra de carbono (Compuesto):

- Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tracción: 500 - 1500 MPa (dependiendo del tipo de fibra)

Densidad: 1.6 g/cm³

Módulo de elasticidad: 70-200 GPa

- Aplicaciones:

Estructuras que necesitan alta rigidez y bajo peso, como brazos móviles o partes donde el movimiento eficiente sea prioritario.

- Ventajas: Altísima relación resistencia-peso, resistencia a la corrosión y propiedades térmicas favorables [19].

E.5 Aluminio 6061-T6:

- Composición Química:

Aluminio: 95.85 – 98.56 %.

Magnesio: 0.8 – 1.2 %

Silicio: 0.4 – 0.8

Hierro: 0.7 % máximo

- Propiedades mecánicas:

Límite elástico: 275 MPa

Resistencia a la tracción: 310 MPa

Dureza Brinell: 95

- Aplicaciones:

Estructuras ligeras, partes móviles, piezas que requieran baja densidad con buena resistencia mecánica. - Ventajas: Ligero, excelente resistencia a la corrosión, fácil de mecanizar y soldar.

F. Resumen de las partes de la maquinaria y los materiales sugeridos:

Estructura y soportes: Acero A36 para garantizar rigidez y estabilidad.

Ejes, rodamientos y tornillos: Acero inoxidable 304 para resistencia a la corrosión y alta durabilidad.

Cintas transportadoras y rodillos: Nylon 6/6 por su baja fricción y resistencia al desgaste.

Componentes móviles ligeros: Fibra de carbono para reducir el peso sin comprometer la rigidez.

Partes donde se requiere baja densidad: Aluminio 6061-T6 para reducir peso en partes que no soportan cargas muy altas, pero requieren resistencia.

G. Diagrama de Fuerza Cortante: Ecuación general de la fuerza cortante (V(x)):

$$V(x) = F - (W \parallel + F_f) \quad (36)$$

F = 100N

W = 49.05N

F_f = 16.992N

$$V(x) = 100N - (49.05N + 16.992N)$$

$$V(x) = 33.958N$$

Este valor es constante a lo largo de la faja, ya que no hay cambios en las fuerzas aplicadas o distribuidas, por lo que el diagrama de fuerza cortante es una línea horizontal con una magnitud de 33.958 N.

Diagrama de Fuerza Cortante (Ver Figura 10): La fuerza cortante es constante a lo largo de la faja, con un valor de 33.958 N.



Figura 10: Fuerza cortante

H. Diagrama de Momento Flector: Ecuación del momento flector ($M(x)$):

$$M(x) = V(x) \times x = 33.958 \times x \quad (37)$$

Para $x=0$ (en el inicio de la faja), el momento flector es:

$$M(0) = 33.958 \times 0 = 0 \text{ Nm}$$

Para $x=L$ (en el final de la faja), el momento flector es:

$$M(L) = 33.958 \times L \text{ Nm}$$

El diagrama de momento flector (Ver Figura 11) será una línea recta ascendente que comienza en 0 Nm en el extremo izquierdo de la faja y aumenta linealmente hasta $33.958 \times L$ Nm en el extremo derecho.

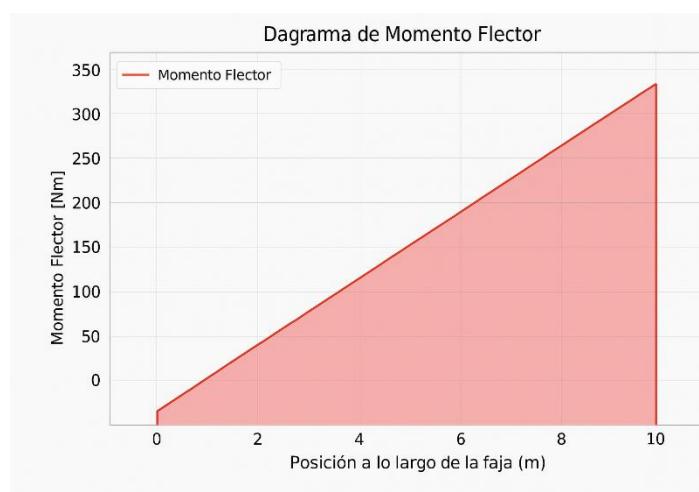


Figura 11: Momento flector

IV. CONCLUSIONES

El sistema modular semiautomatizado propuesto para la recolección de residuos sólidos en el río Tambo demostró una capacidad de operación efectiva con una eficiencia aproximada del 90% en la fase de prueba. Esta eficiencia se calculó considerando como referencia un escenario de máxima acumulación de residuos en el área de estudio (100% de residuos presentes), logrando que el diseño reduzca hasta en un 90% la presencia de desechos sólidos y líquidos en comparación con el estado inicial del río. La mejora en el desempeño se debe a la integración de barrera líquida, faja transportadora de velocidad ajustable entre 0.5 y 3 m/s, paneles solares y sistema de control automático, lo que permite optimizar la recolección incluso en condiciones de alta colmatación. Además, el sistema es capaz de transportar y almacenar hasta 1 tonelada de residuos por día, con un tiempo de vida útil estimado superior a 10 años. En contraste con soluciones pasivas tradicionales —como las barreras flotantes sin automatización, cuya eficiencia promedio se sitúa entre el 50% y el 60% y que requieren constante intervención humana— este diseño representa un avance significativo en términos de autonomía, sostenibilidad y preservación ambiental, promoviendo directamente la mejora de la calidad del agua y la conservación del ecosistema del río Tambo. [20].

V. REFERENCIAS

- [1] M. D. d. E. T. (s.f.), "MDT cumple meta en recojo de residuos aprovechables y orgánicos," 2024. [Online]. Available: https://munieltambo.gob.pe/mdt-cumple-meta-en-recojo-de-residuos-aprovechables-y-organicos/?utm_source.
- [2] F. H. Ascanio Yupanqui, "Plan de manejo de residuos sólidos urbanos para el distrito de El Tambo según las recomendaciones de la Agenda 21.," 2017. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4130>.
- [3] K. Auccaylla, "Propuesta de plan de gestión de residuos sólidos con economía circular en Tambobamba, Apurímac.," 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/16081>.
- [4] L. K. H. A. O. & N. M. Bangani, "Impactos del vertido ilegal de residuos sólidos en la calidad del agua del río Mthatha. Water Practice & Technology.," 2023. [Online]. Available: [10.2166/wpt.2023.053](https://doi.org/10.2166/wpt.2023.053).
- [5] A. P. Barboza Ishuiza, "Tratamiento de los residuos sólidos más predominantes en Manchay, Pachacamac, Lima.," 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11537/34395>.
- [6] S. & N. Buso, "Impactos ambientales y comunitarios," 2024. [Online]. Available: <https://www.witpress.com/elibrary/wit->.

- [7] Z. Xala, "THE PERFORMANCE OF O R TAMBO DISTRICT MUNICIPALITY REGARDING," 2012. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/145051774.pdf>.
- [8] I. C. C. Quintanilla, "Estudio de suelos de la subcuenca Linga, cuenca del río Tambo – [Boletín Q 2]," 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/5179>.
- [9] V. C. Valderrama, "Manejo de residuos sólidos urbanos de las localidades de Platería y Acora – Puno," 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/578>.
- [10] S. /. CENEPRED, "Informe de evaluación del riesgo por flujo de detritos en la Comunidad Nativa de Buenos Aires, cuenca del río.," 2025. [Online]. Available: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/18859>.
- [11] J. M. & M. S. P. Echegaray, "Residuos sólidos y gestión ambiental en una institución educativa de secundaria.," 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17268/sciendo.2024.070>.
- [12] J. A. C. Galván, "Indicadores ambientales en salud comunitaria en El Tambo.," 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17268/sciendo.2024.070>.
- [13] H. R. Gonzales Villanueva, "Análisis de la capacidad de remoción de metales mediante residuos sólidos y moringa oleifera para el tratamiento de agua contaminada en el río Tambo, sector distrito de Omate, Arequipa.," 2025. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/17448>.
- [14] M. A. & R. R. G. Herrera Loa, "Educación y manejo ambiental de los residuos sólidos en el Perú, en los últimos 10 años: una revisión de la literatura científica. Trabajo de licenciatura, Universidad Privada del Norte. Revisión sistemática de 20 artículos sobre educación ambiental y man.," 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11537/39888>.
- [15] C. R. L. Fernández, "CONTAMINACION POR MICROPLASTICOS EN PLAYAS," 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f3f29c6f-673b-4653-b5f5-9cf854d18245/content>.
- [16] T. H. Ordoñez Santana, "Análisis de la problemática en torno a la disposición final de residuos sólidos en el distrito de El Tambo – Huancayo, durante el periodo 2018 2019.," 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26642>.
- [17] V. N. M. & N. S. Tsheleza, "Vulnerabilidad de las ciudades en crecimiento a los peligros ambientales relacionados con los residuos sólidos.," 2019. [Online]. Available: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJE>.
- [18] J. A. Ricaldi Atahuaman and M. S. Huaman Asto, "Callupe Cordova, N. G. (2021). Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo – Huancayo.," 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10203>.
- [19] J. y. Q. J. Beltran, "Diseño y desarrollo de un sistema automatizado enfocado en el reconocimiento y clasificación de residuos sólidos para una mejor gestión.," 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/1257>.
- [20] L. V. Oré Camarena, "Gestión y manejo de residuos sólidos domiciliarios para las comunidades nativas en la cuenca del río Tambo, distrito Río Tambo," 2016. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47074>.