

PROYECTO SEMESTRAL – DISEÑO DE CAPTADORA DE DESECHOS SÓLIDOS EN
AFLUENTES VEREDALES

MARÍA JOSÉ LÓPEZ ABELLO

DANIEL HURTADO LÓPEZ

SEBASTIÁN DUQUE LOTERO

ALEJANDRO ARANGO GIRALDO

Diseño Metódico

Santiago Bravo Montoya

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS APLICADAS E INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2024

Tabla de contenido

Figuras:	3
Tablas:.....	4
Ecuaciones:	4
1. Estado del arte.....	4
Clear Rivers – LT5.....	4
The Great Bubble Barrier.....	5
The Ocean Cleanup – Interceptor Barrier & Tender.....	6
The Ocean Cleanup – Interceptor Barricade.....	7
Comparación de Características.....	7
2. Definición de la situación de diseño	8
Brief	8
Antecedentes.....	8
Justificación	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Definición del usuario.....	9
Limitaciones.....	10
Cronograma y fecha límite.....	11
PDS	12
3. Análisis funcional	14
Caja negra	14
Estructura funcional.....	14
Síntesis funcional.....	14
4. Matriz Morfológica.....	15
5. Conceptos Solución	15
Concepto solución 1, 2, y 3:.....	15
Concepto solución 4:.....	16
Concepto solución 5:.....	17
Concepto solución 6:.....	18
6. Evaluación de alternativas	18
7. Configuración preliminar.....	20
8. Variación de la configuración.....	20
9. Configuración definitiva	27
Planos de ensamble.....	27
Cable de acero inoxidable.....	28

Tornillos de tierra.....	29
Barrera de boyas	29
Red de nylon	29
Pesas de concreto	29
Normas generales para el equipo completo	30
ISO 14001 de 2015: Sistemas de gestión ambiental	30
Resolución 754 de 2014:.....	30
Normas específicas para componentes:	30
Cable de acero inoxidable:.....	30
Tornillos de tierra:.....	30
Boyas flotantes:.....	30
Pesas de hormigon:	30
Red de nylon:	31
10. Presupuesto	31
Presupuesto de fabricación	31
Presupuesto de instalación	32
Presupuesto de mantenimiento.....	32
11. Modelo	32
Referencias.....	33

Figuras:

Ilustración 1. Sistemas LT5 instalados en Westdorpe y Breda	5
Ilustración 2. Diagrama del sistema de The Bubble Barrier	6
Ilustración 3. Interceptor Barrier & Tender trabajando en Kingston, Jamaica.	6
Ilustración 4. Interceptor Barricade desplegado en el Rio las Vacas, Guatemala.....	7
Ilustración 5. Caja negra.	14
Ilustración 6. Estructura funcional.	14
Ilustración 7. Síntesis funcional.	14
Ilustración 8. Conceptos solución 1, 2 y 3.	15
Ilustración 9. Concepto solución 4.....	16
Ilustración 10. Concepto solución 5.....	17
Ilustración 11. Concepto solución 6.....	18
Ilustración 12. Configuración preliminar.....	20
Ilustración 13. Variación 1.....	24
Ilustración 14. Variación 2.....	25
Ilustración 15. Variación 3.....	25
Ilustración 16. Variación 4.....	26
Ilustración 17. Variación Definitiva.....	26
Ilustración 18. Plano de ensamble.....	28
Ilustración 19. Modelo final.....	32

Tablas:

Tabla 1. Comparación de características.....	7
Tabla 2. Diagrama de Gantt.	12
Tabla 3. PDS.	13
Tabla 4. Matriz Morfológica.	15
Tabla 5. Matriz de evaluación.	19
Tabla 6. Matriz de calificación.	19
Tabla 7. Evaluación de las alternativas.	19
Tabla 8. Criterios de evaluación para AMEF.	21
Tabla 9. AMEF de sistema de separación.	21
Tabla 10. AMEF de sistema de almacenamiento.	22
Tabla 11. AMEF de sistema de separación.	22
Tabla 12. Matriz morfológica de variación para anclaje de tierra.	23
Tabla 13. Matriz morfológica de variación para cuerda/cable.	23
Tabla 14. Matriz morfológica de variación para pesas.	24
Tabla 15. Tabla de ensamble.	28
Tabla 16. Presupuesto de fabricación.	31
Tabla 17. Presupuesto de instalación.	32
Tabla 18. Presupuesto de mantenimiento.	32

Ecuaciones:

Ecuación 1. Fuerza de arrastre.	27
Ecuación 2. Solución de la ecuación 1.	27
Ecuación 3. Esfuerzo de tracción del cable,	28
Ecuación 4. Esfuerzo cortante de los tornillos de tierra.	29
Ecuación 5. Fuerza de flotación de las boyas.	29
Ecuación 6. Esfuerzo de tracción de la red.	29
Ecuación 7. Fuerza de gravedad de las pesas.	29

1. Estado del arte

Existen múltiples empresas sin ánimo de lucro alrededor del mundo que se dedican a la recolección de desechos en ríos para evitar la liberación de estos mismos en el océano o en ríos principales.

Clear Rivers – LT5

La compañía Neerlandesa Clear Rivers tiene como misión reducir significativamente la cantidad de plásticos que ingresan a los mares y océanos. Descubrieron que la mayoría de los plásticos llegan a las aguas abiertas a través de los ríos. Se enfocan en recuperar los plásticos en los ríos antes de que lleguen a las aguas abiertas, educar sobre la contaminación por plásticos y reciclar los plásticos recuperados en nuevos productos duraderos. Para alcanzar esta misión han desarrollado su sistema LT5 (Litter Trap 5) Lo cual traduce a trampa de basura 5. Esta trampa se despliega en los ríos y está conformada por un recolector y una barrera flotante para canalizar la basura hacia el recolector. La compañía también realiza jornadas de limpieza para recolectar basura adicional (CLEAR RIVERS, s.f.).

Actualmente tienen estos sistemas instalados principalmente en puntos a lo largo de Europa, tales como: Rotterdam, Schiedam, Westdorpe, Rozenburg, Breda, Bruselas, etc.



Ilustración 1. Sistemas LT5 instalados en Westdorpe y Breda.

The Great Bubble Barrier

Esta empresa de origen neerlandés ha desarrollado un sistema innovador para la recolección de basuras en ríos. La Barrera de Burbujas es la primera tecnología en utilizar una cortina de burbujas para capturar la contaminación por plásticos en los ríos. Han desarrollado la solución más efectiva y eficiente en energía para atrapar y eliminar plásticos sin obstaculizar el paso de barcos o peces.

El sistema crea una cortina de burbujas bombeando aire a través de un tubo perforado en el fondo del curso de agua. La cortina de burbujas genera una corriente ascendente que dirige el plástico hacia la superficie. Al colocar la Barrera de Burbujas diagonalmente a través del río, el flujo natural del agua empujará los desechos plásticos hacia un lado y hacia el sistema de captación.

El sistema de captación está diseñado para trabajar en armonía con la cortina de burbujas para recoger y retener los plásticos. Después de la recolección, se retirarán para su procesamiento y reutilización (The great bubble barrier, s.f.).

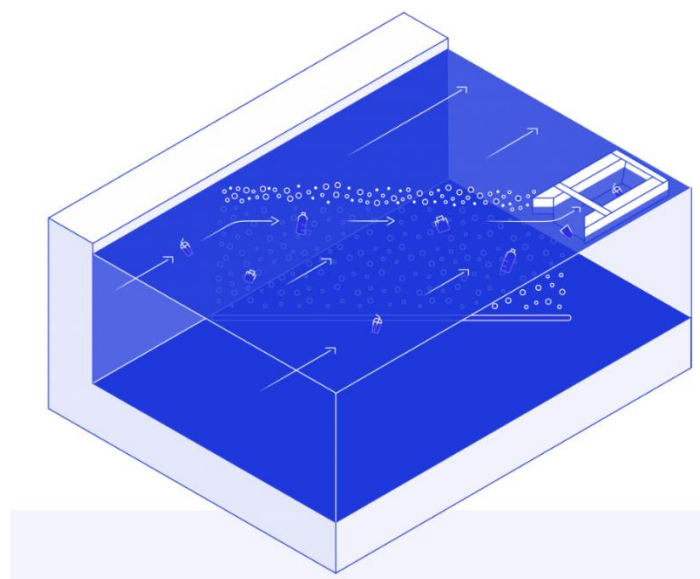


Ilustración 2. Diagrama del sistema de The Bubble Barrier.

La Barrera de Burbujas consta de tres componentes principales: la cortina de burbujas, el compresor y el sistema de captación. Los tres componentes están diseñados para trabajar juntos y crear la solución óptima para cada ubicación. Los componentes son:

Cortina de Burbujas: La ubicación y el flujo de aire necesario de la cortina de burbujas se adaptan según la dinámica del flujo del río o curso de agua. El tubo de burbujas es de tubería de goma y es ideal para aplicarlo en una amplia gama de ubicaciones.

Suministro de aire: La cortina de burbujas se crea utilizando aire ambiente comprimido. Se utilizan compresores eléctricos que están optimizados para la cortina de burbujas y adaptados a los requisitos de operación continua y a las características específicas de cada ubicación. Siempre que sea posible, se busca alimentar la Barrera de Burbujas con energía renovable. Esto puede variar según la ciudad y la infraestructura disponible.

Sistema de Captación: La cortina de burbujas se combinará con el sistema de captación más adecuado. Se ha desarrollado un sistema propio de captación que puede adaptarse a la infraestructura local en el sitio, por ejemplo, para poder vaciarlo por las autoridades locales.

The Ocean Cleanup – Interceptor Barrier & Tender

La Interceptor Barrier (Izquierda) es una solución desarrollada por la organización sin ánimo de lucro de origen neerlandés; The Ocean Cleanup que consiste en una barrera flotante autónoma anclada en forma de U alrededor de la desembocadura de un pequeño río. Esta intercepta la basura y la amortigua hasta que se elimina del agua. El diseño se basa en una barrera casi permeable y optimizada para amortiguar eficientemente la basura en el agua.

El Interceptor Tender (Derecha) fue desarrollado para trabajar junto a las Interceptor Barrier's. Esta pequeña barcaza motorizada utiliza una cinta transportadora para recoger la basura de una barrera y descargarla en un contenedor en tierra. Mientras que la Barrera Interceptor es una herramienta para interceptar la basura, no puede extraerla y descargarla sola. Aquí entra en juego el Interceptor Tender. Esta unidad móvil de extracción y descarga, desarrollada en colaboración con Berky GmbH, es capaz de dar servicio a múltiples barreras (Slat, 2024).

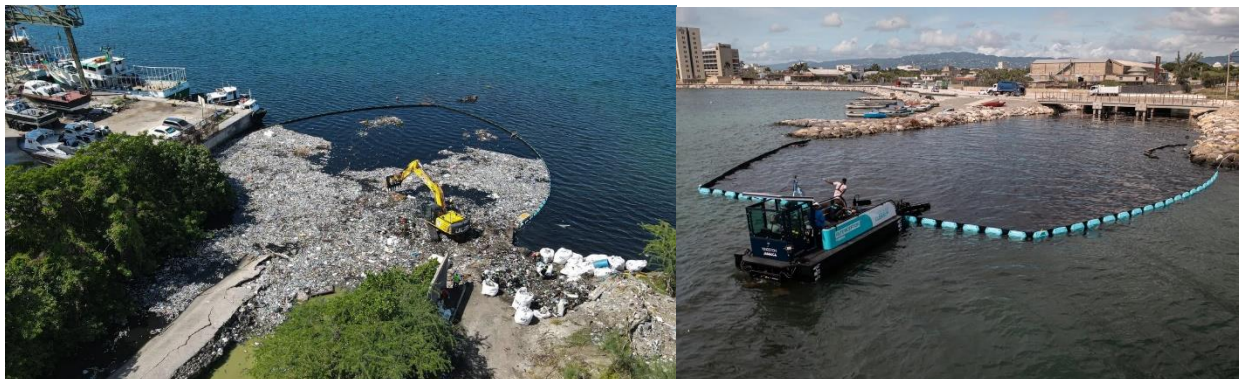


Ilustración 3. Interceptor Barrier & Tender trabajando en Kingston, Jamaica.

The Ocean Cleanup – Interceptor Barricade

La Interceptor Barricade fue instalada para pruebas en el Río Las Vacas, Guatemala, a finales de mayo de 2023, para detener los tsunamis anuales de basura que inundan el río durante la temporada de lluvias. Para resistir estos eventos excepcionales de alta presión, se desarrolló un nuevo concepto de Interceptor para esta ubicación. La Interceptor Barricade consta de dos barreras: unas aguas arriba y otras aguas abajo. La barrera aguas arriba soporta la mayor parte de la presión y los residuos. Esta ubicación es la más adecuada para la extracción efectiva de plástico. La barrera aguas abajo atrapa cualquier plástico que se haya pasado por alto o perdido debido a la acumulación rápida de basura en este río (Slat, 2024).



Ilustración 4. Interceptor Barricade desplegado en el Río las Vacas, Guatemala.

Comparación de Características

Solución	Rango de Acción	Método de Recolección	Infraestructura de Captación	Complejidad	Infraestructura de almacenamiento
LT5	Porción de Río	Pasivo	Barrera / Malla	Baja	Balsa Contenedor
Bubble Barrier	Río completo	Activo	Cortina de Burbujas	Alta	Balsa Contenedor
Interceptor Barrier & Tender	Boca de Río	Hibrido	Barrera / Malla	Media	Interceptor Tender
Interceptor Barricade	Río Completo	Pasivo	Barrera / Malla	Baja	Barrera / Malla

Tabla 1. Comparación de características.

2. Definición de la situación de diseño

Se define la situación de Diseño utilizando como base la Herramienta: Brief. Este comienza con la descripción de los antecedentes, seguido de la justificación del proyecto y sus objetivos, se define el usuario, los limitantes del producto y la empresa, el cronograma y la fecha límite.

Brief

Antecedentes

El problema de la acumulación de basura y contaminación sólida en sistemas hídricos es un desafío significativo en la actualidad. A medida que la población en áreas rurales aumenta y se desarrolla, así mismo, aumenta la presión sobre los cuerpos de agua locales, como cañerías y quebradas, que usualmente funcionan como rutas de drenaje hacia plantas de tratamiento del agua.

La acumulación de desechos sólidos en estas no solo afecta la calidad del agua, sino que también compromete la eficiencia de los procesos de tratamiento del agua, aumentando los costos operativos de la planta y el riesgo de contaminación ambiental.

La acumulación de residuos sólidos en quebradas y tuberías que conducen a plantas de tratamiento puede afectar la eficiencia del proceso de tratamiento; una proporción importante de las aguas residuales del país no se somete a un tratamiento adecuado antes de que regresen a las fuentes hídricas, lo que resulta en la contaminación de los ecosistemas acuáticos y repercute negativamente en la salud pública, el 53,12% de las aguas residuales urbanas producidas en el país no se someten a un tratamiento adecuado. Además, para 2021, el 88,1% de la población colombiana contaba con acceso a servicios de saneamiento eficientes, 91,9% responde a zonas urbanas mientras que el 76% a zona rural.

En este contexto, la búsqueda de soluciones para abordar la contaminación sólida en sistemas hídricos se ha convertido en una prioridad tanto a nivel local como internacional. Se han desarrollado diversas tecnologías y enfoques destinados a prevenir y reducir la acumulación de desechos en cañerías, quebradas y otros cuerpos de agua, como robots, sistemas fijos, redes, barcos y mucho más, todo esto con el objetivo de proteger la calidad del agua, preservar los ecosistemas acuáticos y garantizar la salud y seguridad de las comunidades afectadas, sin embargo, ningún artefacto de este tipo se ha implementado en el país y mucho menos en zonas rurales, la recolección de residuos sólidos de los ríos aún se hace de forma manual.

Justificación

La implementación de un dispositivo de captura y filtrado de desechos sólidos en una vereda rural de Colombia representa la necesidad de mejorar la calidad del agua y optimizar el proceso de tratamiento de aguas residuales. La presencia de desechos sólidos en las cañerías y quebradas compromete la eficiencia del tratamiento, aumentando los costos operativos y reduciendo la calidad del agua.

En 2013, la Procuraduría General de la Nación publicó el "Informe Social, Económico y Ambiental" del Río Magdalena donde se destaca que 180 de 393 municipios carecían de plantas de tratamiento de aguas residuales y 56 vertían desechos directamente al río. Además, muchos

municipios no habían actualizado sus planes de ordenamiento territorial ni contaban con sistemas adecuados para desechos sólidos, 44% de los municipios no contaban con sistema de disposición final de residuos sólidos (Hurtado Rassi, 2019).

Los ríos, quebradas y acueductos son vulnerables a una amplia variedad de desechos, siendo los más comunes los residuos sólidos, como plásticos, vidrios, metales y desechos orgánicos. Según estudios recientes (Morales-Caselles, y otros, 2021), aproximadamente el 14% de los desechos que contaminan los ríos son bolsas plásticas, seguido de las botellas plásticas 11.9% del total, empaques de alimentos representan un 18.5, mientras que cuerdas y materiales de pesca componen el 15.5%. Esta contaminación no solo afecta la calidad del agua, sino que también daña los ecosistemas acuáticos y la vida silvestre, además afecta el tratamiento de estas mismas aguas.

En este contexto, la implementación del dispositivo de captura y filtrado propuesto no solo contribuirá a la mejora de la calidad del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos, sino que también optimizará el proceso de tratamiento de aguas al reducir la carga de desechos sólidos. Esta iniciativa no solo aborda la necesidad de proteger los recursos hídricos, sino que también responde a la urgencia de fortalecer la infraestructura de gestión ambiental en las áreas rurales de Colombia.

Objetivo general

Mejorar la calidad del agua que llega a la planta de tratamiento de agua, mediante la reducción del 95% de los desechos sólidos contaminantes presentes en una quebrada de 2 metros de ancho por 1.5 de profundidad de una vereda.

Objetivos específicos

1. Diseñar y desarrollar dispositivos de captura y filtrado específicamente diseñados para instalarse en puntos estratégicos.
2. Implementar un sistema modular de elementos flotantes que permita la movilidad y abarque áreas extensas.
3. Integrar una fuente de energía renovable para alimentar el sistema.
4. Desarrollar un sistema de separación y compactación de residuos que permita filtrar el material y su volumen.
5. Minimizar la intervención humana directa en la recolección de residuos.
6. Incorporar medidas de seguridad y protección para proteger al dispositivo contra colisiones o casos de emergencia.
7. Establecer una estación base o plataforma en la orilla del río para el mantenimiento y la descarga de los residuos recogidos.

Definición del usuario

Los usuarios principales del producto serían las comunidades locales y las autoridades ambientales encargadas de la gestión y conservación de los recursos hídricos en la vereda rural donde se implemente el dispositivo de captura y filtrado de desechos sólidos. Esto incluye a:

- **Residentes locales:** las personas que viven en la vereda y que se benefician directamente de la mejora en la calidad del agua y la reducción de la contaminación en los cuerpos de agua cercanos.
- **Autoridades locales:** abarcaría a las autoridades municipales y regionales responsables de la gestión del agua y el medio ambiente en la vereda, es decir, encargados de la planificación urbana, la gestión de residuos, la protección ambiental, y otros aspectos relacionados con la infraestructura y el desarrollo sostenible en la comunidad.
- **Entidades ambientales:** organizaciones gubernamentales y no gubernamentales dedicadas a la conservación del medio ambiente y la protección de los recursos hídricos en Colombia, principalmente encargados de la supervisión y evaluación.
- **Operadores del dispositivo:** el personal técnico o de mantenimiento responsable de la instalación, operación y mantenimiento del dispositivo de captura y filtrado.

Limitaciones

El desarrollo de un dispositivo de captura y filtrado de desechos sólidos en una vereda rural de Colombia enfrenta desafíos en diseño del producto y en la capacidad del equipo de desarrollo para abordar las condiciones locales y trabajar eficazmente con la comunidad. Es de suma importancia identificar y mitigar estas limitaciones desde el inicio del proyecto para garantizar su éxito y sostenibilidad a largo plazo.

- **Adaptación al entorno local:** el diseño del dispositivo debe adaptarse a las características específicas de la vereda rural, el caudal de agua, y la topografía del terreno.
- **Disponibilidad de materiales y recursos:** esta puede ser limitada en áreas rurales, lo que podría afectar la viabilidad técnica y económica del proyecto. Se deben considerar alternativas de bajo costo y fácil acceso para asegurar que el diseño sea realizable.
- **Mantenimiento y operatividad:** la capacidad de mantenimiento y operación del dispositivo en una vereda rural puede ser limitada debido a la falta de personal técnico capacitado y recursos adecuados
- **Acceso a la comunidad:** establecer una comunicación efectiva y colaborativa con la comunidad local puede ser un desafío, especialmente si hay barreras lingüísticas o culturales.
- **Logística y transporte:** el acceso a la vereda rural puede ser difícil debido a la falta de infraestructura vial adecuada. Esto puede afectar la logística de transporte de materiales y equipos necesarios para el desarrollo e implementación del dispositivo.

Teniendo en cuenta la justificación del proyecto, el contexto en que se desarrolla y las limitaciones que se pueden presentar, es necesario tener en cuenta las siguientes prioridades, las cuales deben ser traducidas a parámetros en el PDS (especificaciones de diseño de producto):

- **Adaptabilidad al entorno local:** el dispositivo debe ser diseñado para adaptarse a las características específicas de la vereda rural.
Prioridad: Alta.
- **Eficiencia en la captura y filtrado de desechos:** el dispositivo debe poder capturar y filtrar muchos desechos sólidos, incluyendo plásticos, metales y piedras.

Prioridad: Alta.

- ***Facilidad de mantenimiento y operación:*** el diseño del dispositivo debe ser simple y fácil de mantener y operar con los recursos disponibles localmente en la vereda rural. Se deben minimizar las necesidades de mantenimiento y reparación.

Prioridad: Alta.

- ***Durabilidad y resistencia:*** el dispositivo debe ser construido con materiales duraderos y resistentes que puedan soportar las condiciones ambientales adversas y el desgaste a largo plazo.

Prioridad: Alta.

- ***Bajo costo y accesibilidad:*** se deben buscar alternativas de bajo costo y fácil acceso para los materiales y componentes necesarios para la fabricación y operación del dispositivo.

Prioridad: Media.

- ***Aceptación y participación comunitaria:*** es fundamental tener en cuenta a la comunidad local y sus necesidades. Se debe asegurar una comunicación efectiva y transparente para garantizar su aceptación.

Prioridad: Media.

- ***Uso de energía renovable:*** se debe hacer uso de fuentes de energía renovable para alimentar el dispositivo, como la energía solar o eólica, para reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental.

Prioridad: Media.

- ***Seguridad y protección:*** el dispositivo debe incluir medidas de seguridad para protegerlo contra daños, colisiones, casos de emergencia y robos.

Prioridad: Media.

- ***Escalabilidad y modularidad:*** el diseño del dispositivo debe permitir su escalabilidad y modularidad para adaptarse a diferentes tamaños de cañerías y quebradas, así como para permitir futuras expansiones o mejoras.

Prioridad: Baja.

- ***Monitoreo y evaluación del rendimiento:*** se deben integrar sistemas de monitoreo y evaluación del rendimiento del dispositivo para asegurar su eficacia y realizar ajustes o mejoras según sea necesario.

Prioridad: Media.

Cronograma y fecha límite

Se planean las actividades con un diagrama de Gantt, previstas para desarrollar e implementar el proyecto. Este cronograma se diseñó para organizar y visualizar de manera clara y concisa las tareas, plazos y responsabilidades asociadas con cada etapa del proyecto.

Dispositivo de recolección

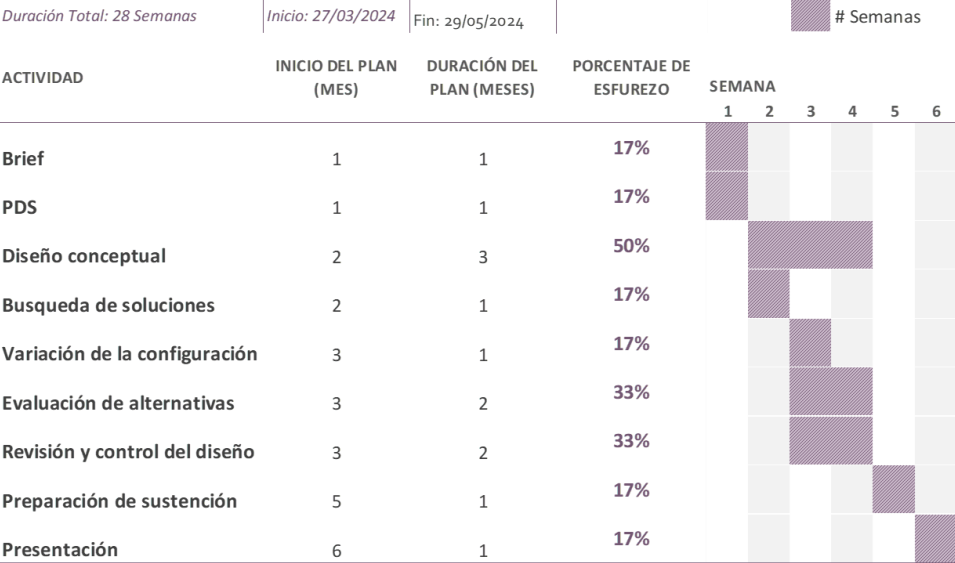


Tabla 2. Diagrama de Gantt.

PDS

Necesidad		Interpretación	Métrica	Unidad	Valor	Importancia
Deseo	Demanda					
	Que se adapte a las características específicas de la quebrada	Dispositivo de tamaño adaptable	Dimensiones físicas del área perpendicular al flujo de la quebrada	m^2	Según condiciones locales	5
	Que sea capaz de capturar y filtrar una amplia gama de desechos solidos	Alta capacidad de retención de desechos	Cantidad de desechos retenidos	Kg/ día	> = 100	5
		Capacidad de captar una alta gama de tamaños de desechos solidos	Rango de volumen de los desechos	cm^3	100 < x < 10000	5
Que se necesite poco mantenimiento y reparaciones		Componentes optimizados para procesos de mantenimiento	Tiempo de mantenimiento requerido	Horas/ mes	< = 2	2

		Componentes resistentes y duraderos a las condiciones de operación	Repuestos mensuales requeridos	Cambios de pieza/mes	≤ 1	3
	Que sea económico	Precio accesible para comunidades de bajos recursos	Costo de venta del dispositivo	COP	$\leq 1'000.000$	4
Que lo acepte la comunidad		Buena aceptación por los usuarios	Nivel de satisfacción de la comunidad	%	≥ 80	3
	Que utilice energía renovable y consuma poco o nada de energía eléctrica	Amigable con el medio ambiente y sin requerimientos elevados de energía	Consumo de energía del dispositivo	kWh / día	≤ 2	4
	Que no permita que muchos desechos se escapen	Alta eficiencia en la captación de residuos	Porcentaje de desechos captados	%	≥ 95	5
	Que no se mueva del lugar donde fue ubicado	Resistencia a condiciones climáticas extremas y casos excepcionales como intentos de robo	Fuerza que resisten los anclajes	Newtons	≥ 10000	5
	Que funcione por un largo periodo de tiempo	Ciclo de vida extendido	Vida útil del dispositivo	Años	≥ 5	5
Que sea fácil de instalar		Liviano y fácil de cargar	Peso del dispositivo	kg	≤ 80	3
		Pocos pasos necesarios en su instalación	Número de pasos para la instalación	Pasos	≤ 5	2

Tabla 3. PDS.

Nota: La importancia asignada a los deseos y demandas se estableció considerando la escala de prioridad que existe entre deseo y demanda. Ya que el cumplimiento de una demanda es fundamental para el éxito del

proyecto, estas toman prelación por encima de los deseos. Por tanto, reciben una calificación de importancia mayor, y deben ser cumplidas a cabalidad antes de pasar al cumplimiento de los deseos.

3. Análisis funcional

Caja negra



Ilustración 5. Caja negra.

Estructura funcional

Las funciones parciales fueron establecidas según la nomenclatura de Robert B. Stone.

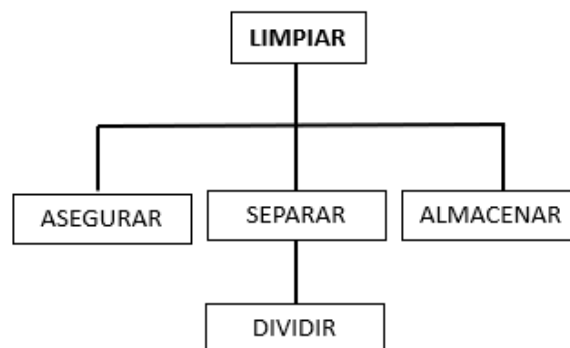


Ilustración 6. Estructura funcional.

Síntesis funcional

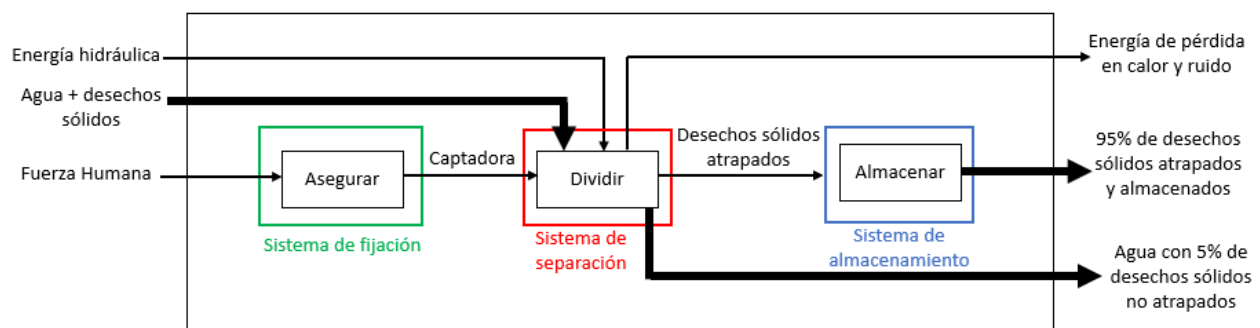


Ilustración 7. Síntesis funcional.

4. Matriz Morfológica





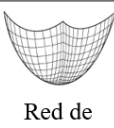


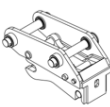


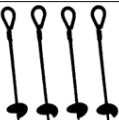





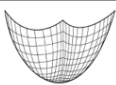
Función parcial	Portador 1	Portador 2	Portador 3	Portador 4	Portador 5	Portador 6	Portador 7	Portador 8
Dividir	 Tamiz	 Canales	 Por densidad (cámaras)	 Flotadores	 Red de nylon	 Red de acero inoxidable		
Asegurar	 Anclaje Acuático	 Sistema de Enganche Rápido	 Montajes de Tornillo	 Tornillos de tierra	 Anclaje de tierra	 Cuerda de nylon	 Cable de Acero	 Pesas de concreto
Almacenar	 Contenedor de polipropileno	 Celda de acero inoxidable	 Red de nylon					

Tabla 4. Matriz Morfológica.

5. Conceptos Solución

Concepto solución 1, 2, y 3:

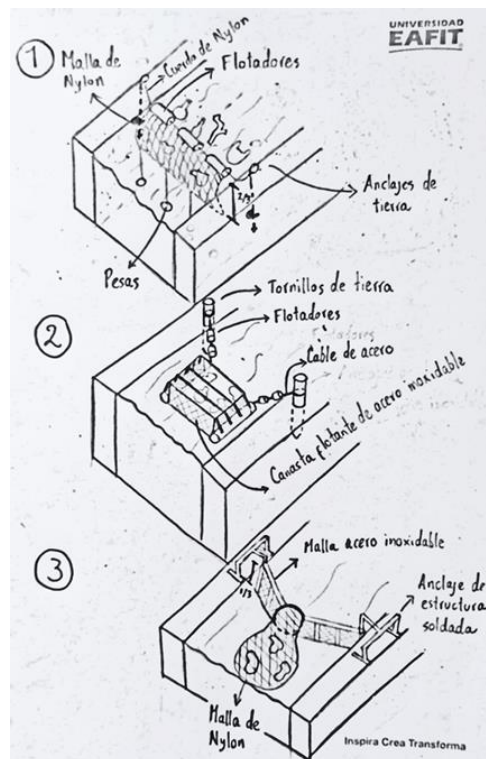


Ilustración 8. Conceptos solución 1, 2 y 3.

1. El primer concepto solución surge de la ruta: Red de nylon -> Anclajes de tierra & Pesas & Flotadores & Cuerda de nylon -> Red de nylon. Esta iteración busca maximizar la cantidad de desechos sólidos capturados de la manera menos intrusiva posible. Los flotadores, además de mantener la red en la superficie del agua, funcionan también como una barrera para los desechos menos densos que el agua. Por su parte, la red se extiende 2/3 de la profundidad de la quebrada para detener los desechos que, debido a la corriente de la quebrada, hayan podido sumergirse. El tercio restante es para permitir el paso de los organismos vivos que habiten el ecosistema. Esta red es ligera y flexible, lo que facilita su instalación y ajuste a diferentes formas del cauce del río. Igualmente, el diseño simple da fácil acceso para labores de mantenimiento y recolección, y el nylon es resistente al agua y la corrosión, asegurando una mayor durabilidad en ambientes acuáticos. Los anclajes de tierra y las pesas proporcionan una instalación sencilla y rápida sin necesidad de equipos complejos. Las pesas mantienen a la red tensa y en su lugar, mientras que los anclajes aseguran la malla a las orillas por medio de cuerdas de nylon. La propia red va almacenando los residuos esperando a ser recolectados por un humano.
2. El segundo concepto solución sigue la ruta: Flotadores -> Tornillos de tierra & Cable de acero -> Canasta flotante de acero inoxidable. Esta iteración es robusta y capaz de almacenar una gran cantidad de desechos, sin embargo, su instalación puede resultar compleja. Los flotadores funcionan como barrera para impedir el paso de los desechos sólidos flotantes y, de igual forma, los dirigen al interior de la canasta para ser almacenados. La canasta permite un fácil acceso para el mantenimiento y recolección de los desechos. Igualmente, el acero inoxidable es muy resistente y duradero, ideal para entornos con agua y posible exposición a desechos abrasivos. Por su parte, los tornillos de tierra y los cables de acero aseguran una fijación fuerte y estable, incluso en condiciones de corriente fuerte o climas tempestuosos.
3. El tercer concepto solución tiene los siguientes componentes: Red de acero inoxidable -> Anclaje de estructura soldada -> Red de nylon. Esta iteración es altamente robusta y capaz de almacenar grandes cantidades de desechos, pero, en consecuencia, es de difícil instalación y mantenimiento. La malla de acero inoxidable se extiende 1/3 de la profundidad de la quebrada para capturar tanto material flotante como levemente sumergido. Esta también cumple la función de dirigir los desechos a la malla de nylon en el centro, la cual se encarga de almacenar los residuos. El acero inoxidable y la estructura soldada aseguran una solución muy duradera, resistente a la corrosión y a la carga de desechos pesados. Esta robustez y fijación sólida de esta iteración, aunque la vuelven considerablemente más compleja de instalar, no requiere mucho mantenimiento y evita en gran medida los desplazamientos imprevistos.

Concepto solución 4:

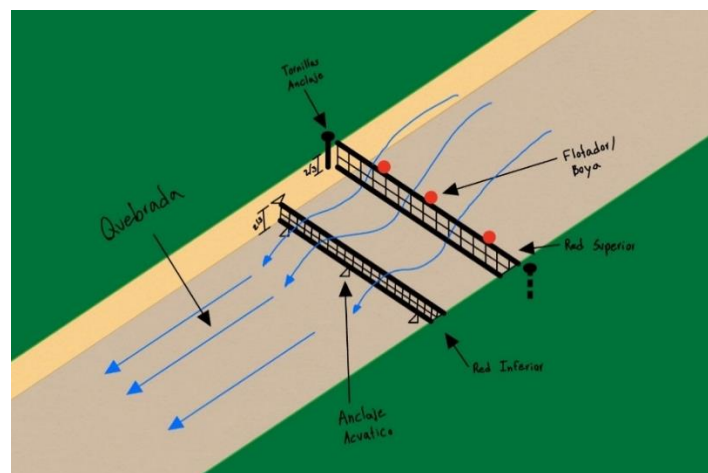


Ilustración 9. Concepto solución 4.

El cuarto concepto solución sale de la ruta: Red de nylon -> Tornillos de tierra & Anclaje Acuático & Flotadores & Cuerda de nylon -> Red de nylon. Para esta iteración también se buscó maximizar la cantidad de desechos capturados y minimizar la cantidad de materia biológica capturada. En este concepto se observan 2 redes posicionadas paralelamente con la primera flotando sobre el agua y con una profundidad de 2/3 de la quebrada y la otra red sumergida completamente anclada al lecho de la quebrada con una altura de 2/3 de esta. La red sumergida esta amarrada al lecho de la quebrada con anclas acuáticas. Así se genera una ruta segura para que los peces puedan nadar por la quebrada sin quedar capturados en la red, pero aun así poder capturar muchos desechos. Una red se encarga de capturar los desechos flotantes y la otra se encarga de capturar los desechos más profundos. La red está anclada a los lados por medio de tornillos. La acumulación de basura se da directamente en las redes por lo que se requiere mayor supervisión humana.

Concepto solución 5:

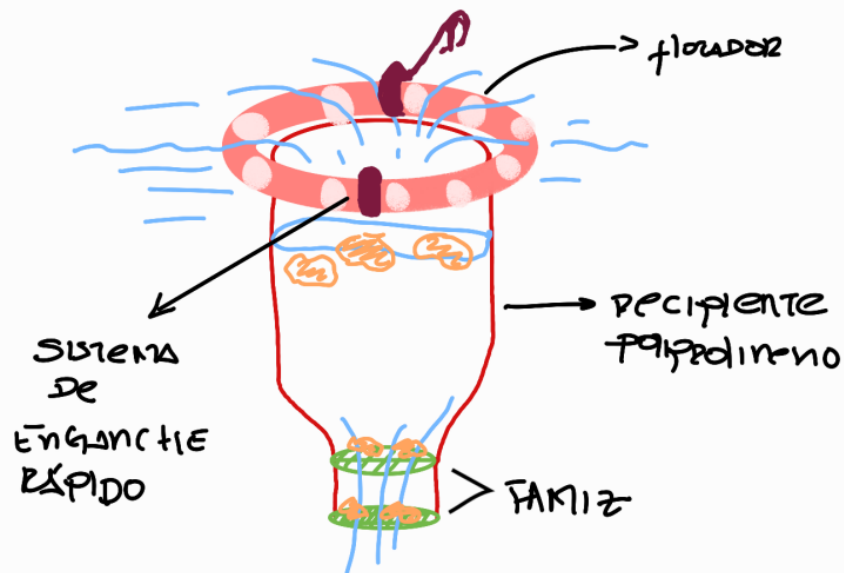


Ilustración 10. Concepto solución 5.

El concepto solución 5 sale de la ruta: flotadores y tamiz-> sistema de enganche rápido-> contenedor de propileno. Este concepto busca ser una solución simple y de fácil mantenibilidad. Cuenta con recipiente con un flotador en la parte superior para mantener el dispositivo a flote y permitir separar los residuos que trae la quebrada, además cuenta con dos filtros tipo tamiz para permitir la salida de agua, pero no de residuos de mayor densidad, todo el sistema se asegura por medio de sistemas de enganche rápido.

Concepto solución 6:

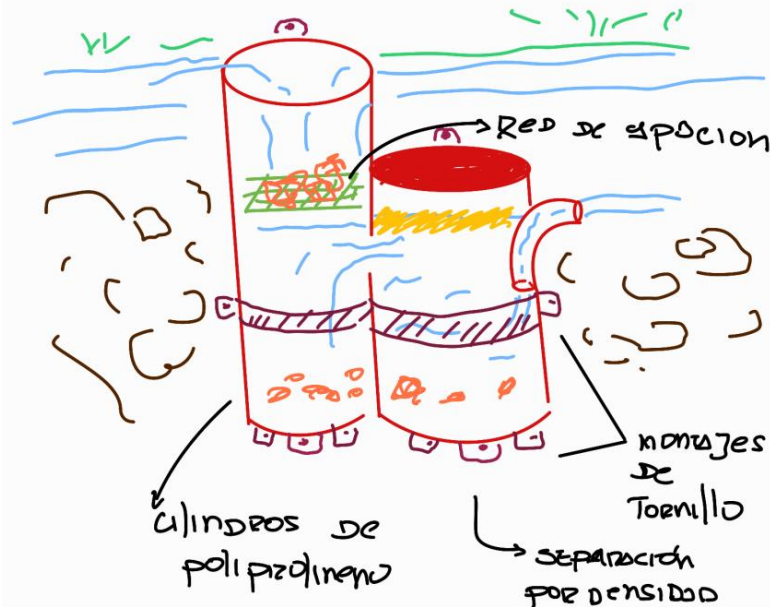


Ilustración 11. Concepto solución 6.

El concepto solución 6 sale de la ruta: red y sistema de separación por densidad-> montajes de tornillo-> contenedor de propileno. Este concepto busca separar el agua de los residuos sólidos, así como de separarla de otros líquidos no miscibles. Al entrar al primer tanque se separan los residuos más grandes por medio de pared y los más pequeños cuando el agua pasa al siguiente, en el próximo tanque se puede separar el agua de otros fluidos, el sistema se asegura mediante montajes de tornillo a la pared del río.

6. Evaluación de alternativas

Inicialmente, se aplica el método de eliminación y preferencia para eliminar las alternativas que no cumplen con algunos requisitos mínimos establecidos. El concepto solución 4 es eliminado debido a que cuenta con 2 módulos de captación de residuos, y el proyecto busca generar una solución que solo cuente con un módulo principal. Los conceptos 5 y 6 son eliminados por su alta complejidad y su diseño inapropiado para las condiciones de la quebrada como el alto caudal o las piedras que pueden causar daños significativos sobre la estructura.

Con base en esto, los conceptos 1, 2 y 3 pasan a ser evaluados con el método de los ponderados.

La información para construir la matriz de evaluación proviene del PDS.

Criterio \ VDI 2225	0	1	2	3	4
Dimensiones físicas del área perpendicular al flujo de la quebrada	< 0.1	> 2	0.1 (2x0.05)	1 (2x0.5)	2 (2x1)
Cantidad de desechos retenidos	< 40	40 <= x < 60	60 <= x < 80	80 <= x < 100	>= 100
Rango de volumen de los desechos	100 <= x <= 1000	100 <= x <= 5000	5000 <= x <= 10000	1000 <= x <= 10000	100 <= x <= 10000
Tiempo de mantenimiento requerido	> 5	4 < x <= 5	3 < x <= 4	2 < x <= 3	<= 2
Repuestos mensuales requeridos	> 4	3 < x <= 4	2 < x <= 3	1 < x <= 2	<= 1
Costo de venta del dispositivo	> 2'500.000	2'000.000 < x <= 2'500.000	1'500.000 < x <= 2'000.000	1'000.000 < x <= 1'500.000	<= 1'000.000
Nivel de satisfacción de la comunidad	< 50	50 <= x < 60	60 <= x < 70	70 <= x < 80	>= 80
Consumo de energía del dispositivo	> 5	4 < x <= 5	3 < x <= 4	2 < x <= 3	<= 2
Porcentaje de desechos captados	< 80	80 <= x < 85	85 <= x < 90	90 <= x < 95	>= 95
Fuerza que resisten los anclajes	< 4000	4000 <= x < 6000	6000 <= x < 8000	8000 <= x < 10000	>= 10000
Vida útil del dispositivo	< 2	2 <= x < 3	3 <= x < 4	4 <= x < 5	>= 5
Peso del dispositivo	> 110	100 < x <= 110	90 < x <= 100	80 < x <= 90	<= 80
Número de pasos para la instalación	> 8	8	7	6	<= 5

Tabla 5. Matriz de evaluación.

De esta matriz de evaluación, y considerando los demás requisitos del proyecto, se establece una matriz de calificación.

Criterio \ VDI 2225	0	1	2	3	4
Dimensiones físicas del área perpendicular al flujo de la quebrada	< 0.1	> 1.34	0.1 (2x0.05)	0.66 (2x0.33)	1.34 (2x0.67)
Cantidad de desechos retenidos	< 40	40 <= x < 60	60 <= x < 80	80 <= x < 100	>= 100
Rango de volumen de los desechos	100 <= x <= 1000	100 <= x <= 5000	5000 <= x <= 10000	1000 <= x <= 10000	100 <= x <= 10000
Tiempo de mantenimiento requerido	> 5	4 < x <= 5	3 < x <= 4	2 < x <= 3	<= 2
Repuestos mensuales requeridos	> 4	3 < x <= 4	2 < x <= 3	1 < x <= 2	<= 1
Costo de venta del dispositivo	> 2'500.000	2'000.000 < x <= 2'500.000	1'500.000 < x <= 2'000.000	1'000.000 < x <= 1'500.000	<= 1'000.000
Nivel de satisfacción de la comunidad	< 50	50 <= x < 60	60 <= x < 70	70 <= x < 80	>= 80
Consumo de energía del dispositivo	> 5	4 < x <= 5	3 < x <= 4	2 < x <= 3	<= 2
Porcentaje de desechos captados	< 80	80 <= x < 85	85 <= x < 90	90 <= x < 95	>= 95
Fuerza que resisten los anclajes	< 4000	4000 <= x < 6000	6000 <= x < 8000	8000 <= x < 10000	>= 10000
Vida útil del dispositivo	< 2	2 <= x < 3	3 <= x < 4	4 <= x < 5	>= 5
Peso del dispositivo	> 110	100 < x <= 110	90 < x <= 100	80 < x <= 90	<= 80
Número de pasos para la instalación	> 8	8	7	6	<= 5

Tabla 6. Matriz de calificación.

A partir de la matriz de calificación se evalúan las alternativas 1, 2 y 3 que corresponden a los conceptos solución 1, 2 y 3 respectivamente.

Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3		
Magnitud	Calificación	Evaluación	Magnitud	Calificación	Evaluación	Magnitud	Calificación	Evaluación
2	4	0.4	0.1 (2x0.05)	2	0.2	1 (2x0.5)	3	0.3
80 <= x < 100	3	0.3	80 <= x < 100	4	0.4	>= 100	4	0.4
100 <= x <= 10000	4	0.4	5000 <= x <= 10000	2	0.2	100 <= x <= 10000	4	0.4
<= 2	4	0.16	2 < x <= 3	3	0.12	3 < x <= 4	2	0.08
<= 1	4	0.24	1 < x <= 2	3	0.18	<= 1	4	0.24
1'000.000 < x <= 1'500.000	3	0.21	2'000.000 < x <= 2'500.000	2	0.14	> 2'500.000	0	0
>= 80	4	0.2	70 <= x < 80	3	0.15	70 <= x < 80	3	0.15
0	4	0.28	0	4	0.28	0	4	0.28
>= 95	4	0.48	85 <= x < 90	2	0.24	>= 95	4	0.48
6000 <= x < 8000	2	0.2	>= 10000	4	0.4	>= 10000	4	0.4
4 <= x < 5	3	0.3	>= 5	4	0.4	>= 5	4	0.4
80 < x <= 90	3	0.162	100 < x <= 110	1	0.054	> 110	0	0
<= 5	4	0.144	7	2	0.072	6	3	0.108
Total:		3.08	Total:		2.64	Total:		2.94

Tabla 7. Evaluación de las alternativas.

Después de realizar el proceso de evaluación con respecto a los objetivos estipulados, se encontró que la alternativa mejor calificada es la numero 1 con una calificación de 3.08. Las áreas de posible mejora para esta alternativa son: la fuerza que resisten los anclajes, la cantidad de desechos retenidos, y la vida útil del dispositivo. Sin embargo, los últimos dos están en niveles aceptables. La única que necesita una mejora significativa es la fuerza que resisten los anclajes.

7. Configuración preliminar

La configuración preliminar corresponde a la alternativa 1. Esta es una solución que consta de una malla de nylon tanto para la captura como el almacenamiento de los desechos sólidos. Una barrera de boyas que permite retener los residuos flotantes y mantener la red a flote. Y finalmente, para la fijación de la captadora, se utilizan pesas de acero inoxidable, anclajes de tierra y cuerda de nylon. Las pesas tensionan la red y la mantienen fija en un punto establecido. La cuerda de nylon une la línea de boyas y, a su vez, las conecta a los anclajes de tierra que, así como las pesas, fijan el dispositivo en un solo punto.

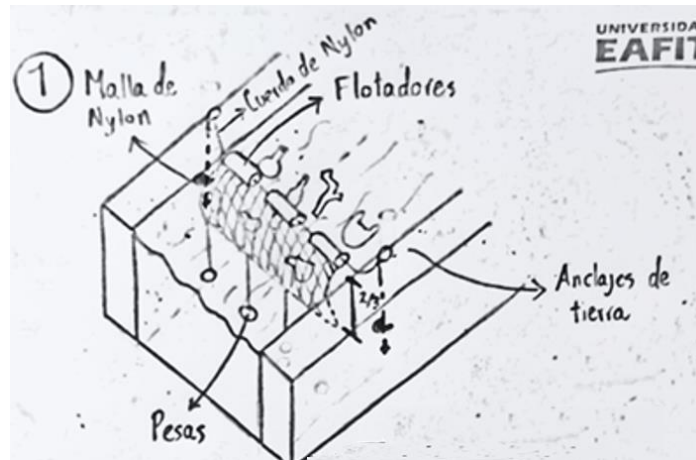


Ilustración 12. Configuración preliminar.

8. Variación de la configuración

Se realiza un análisis de cada uno de los principales elementos funcionales, para definir posibles fallas y defectos. Esto se realiza por medio de la herramienta AMEF, donde:

1. Modo potencial de falla: se refiere a que podría fallar en el producto.
2. Efecto (E): el daño que el modo potencial de falla causaría, indica la magnitud del daño (efecto, evaluado en una escala de 1 (menos severo) a 10 (más severo). Los criterios de evaluación se detallarán más adelante en una tabla.
3. Causas potenciales: las razones que provocan los modos de falla.
4. Ocurrencia (O): mide la posibilidad con la que ocurren las causas potenciales, en una escala de 1 (probabilidad remota) a 10 (probabilidad máxima). Los criterios de evaluación también se detallarán en una tabla más adelante.
5. Control (C): se refiere a los dispositivos, inspecciones o revisiones disponibles para evitar o detectar las causas o modos de falla antes de que impacten al cliente. Se mide teniendo en cuenta si existe o no, además de la efectividad de los controles, es decir, su capacidad para detectar y prevenir la falla. Se evalúa en una escala de 1 (detección prácticamente segura) a 10 (el control no detecta la falla o no existe).

Criterios de evaluación para NPR			
Puntuación	Efecto	Ocurrencia	Control
10	Gravísimo: Fallo total del sistema, impacto crítico	50%<	Ineficaz: Control inexistente o ineficaz
9	Muy Grave: Fallo mayor, impacto significativo	<50%	Muy Bajo: Control muy poco eficaz
8	Grave: Fallo significativo, impacto considerable	<30%	Bajo: Control insuficiente
7	Mayor: Fallo importante, impacto apreciable	<20%	Moderadamente Bajo: Control poco eficaz
6	Moderado: Fallo notable, impacto perceptible	<15%	Moderado: Control moderadamente eficaz
5	Menor: Fallo perceptible, impacto leve	<10%	Moderadamente Alto: Control eficaz en algunos casos
4	Muy Menor: Fallo menor, impacto muy leve	<5%	Alto: Control generalmente eficaz
3	Leve: Impacto apenas perceptible	<2%	Muy Alto: Control generalmente muy eficaz
2	Insignificante: Impacto insignificante	<1%	Casi Perfecto: Control casi siempre eficaz
1	Ninguno: Sin impacto	<0,5%	Perfecto: Control siempre eficaz

Tabla 8. Criterios de evaluación para AMEF.

Red de nylon + flotadores

Función: Separar los residuos capturados del agua para su manejo y disposición.

Modo de falla	Efecto de falla	Causa de falla	Control	Número Prioritario de Riesgo			
				E (efecto)	O (ocurrencia)	C (control)	NPR
Obstrucción de la red	Reducción en la capacidad de captación de desechos	Tamaño reducido de los orificios de la red	Ninguno	6	4	10	240
		Falta de mantenimiento y limpieza regular	Plan de mantenimiento y limpieza regular	6	7	5	210
		Alta cantidad de desechos en el agua	Monitoreo visual constante del nivel de residuos	6	7	8	336
Ruptura del sistema	Pérdida de desechos capturados	Material de baja calidad	Ninguno	7	4	10	280
		Exposición a rayos UV o sustancias químicas	Ninguno	7	6	10	420
		Daños mecánicos debido a objetos afilados	Ninguno	7	5	10	350
Pérdida de flotabilidad del sistema	Ineficiencia en la captura de desechos flotantes	Daños en los flotadores	Ninguno	7	6	10	420
		Daños mecánicos	Ninguno	7	7	10	490
							2746

Tabla 9. AMEF de sistema de separación.

Pesas+ Cuerda de nylon + anclajes de tierra

Función: Mantener el dispositivo en su lugar y soportar las condiciones climáticas, así como, el flujo del agua.

Modo de falla	Efecto de falla	Causa de falla	Control	Número Prioritario de Riesgo			
				E (efecto)	O (ocurrencia)	C (control)	NPR
la vegetación se enreda en el sistema	Fijación permante del recolector de basura - Mantenimiento difícil de realizar	Crecimiento excesivo de vegetación en alrededores	Ninguno	5	8	10	400
		Falta de mantenimiento y limpieza regular	Plan de mantenimien to y limpieza regular	5	7	5	175
		Lugar de fijación no adecuado	Ninguno	5	3	10	150
Las pesas del sistema se corroen debido a la exposición al agua	Contaminación del agua de la quebrada yafecciones a la vida marina.	Material no resistente a la corrosión o deterioro por exposición prolongada	Ninguno	7	4	10	280
		Exposición a sustancias químicas	Ninguno	7	3	10	210
Desplazamiento del sistema	Desprendimiento completo del sistema y pérdida del sistema.	Anclajes de tierra no lo suficientemente largos	Ninguno	10	7	10	700
		Instalación inadecuada de los anclajes	Ninguno	10	9	10	900
		Fijación insuficiente en el suelo	Ninguno	10	8	10	800
							3615

Tabla 10. AMEF de sistema de almacenamiento.

Red de nylon

Función: Capturar y filtrar desechos sólidos presentes en la quebrada.

Modo de falla	Efecto de falla	Causa de falla	Control	Número Prioritario de Riesgo			
				E (efecto)	O (ocurrencia)	C (control)	NPR
La red de nylon se rompe	Esparcimiento de basura almacenada	Carga de residuos excede la capacidad de la red de nylon	Monitoreo visual constante del nivel de residuos	7	6	8	336
		Desgaste gradual de la red de nylon	Ninguno	7	6	10	420
		Material no adecuado	Ninguno	7	7	10	490
La red se desgarrar debido al contacto con objetos afilados	Pérdida de capacidad de retención de residuos	Presencia de objetos afilados dentro de la basura almacenada	Ninguno	7	5	10	350
		Manipulación brusca durante el almacenamiento de residuos	Ninguno	7	4	10	280
							1876

Tabla 11. AMEF de sistema de separación.

Se define al sistema de fijación, como elemento funcional que, con su mejora, puede afectar positivamente el desempeño del sistema, ya que al sumar el valor de NPR de todos modos falla y sus causas tienen el valor mayor en comparación con los demás portadores de función. En la evaluación por ponderados se establece que la obstrucción de la red presenta un riesgo moderado, mientras que la ruptura del sistema y la pérdida de flotabilidad pueden afectar positivamente el desempeño del sistema.

Objetivo de la variación: Implementar una variación en la configuración del sistema de sujeción, modificando la forma, posición, tamaño y cantidad de sus componentes, para reducir significativamente el riesgo de obstrucción de la red, ruptura del sistema y pérdida del sistema. Se busca mejorar la estabilidad y minimiza la probabilidad de fallos críticos.

Anclaje a tierra




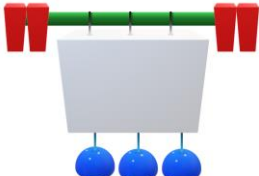
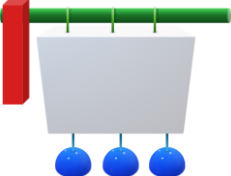
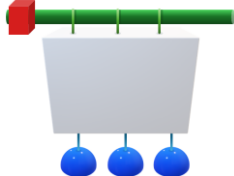
<i>Característica</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Tipo	 Anclaje de tierra	 Tornillo de tierra
Cantidad		
Tamaño		

Tabla 12. Matriz morfológica de variación para anclaje de tierra.

Cable



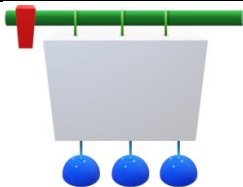
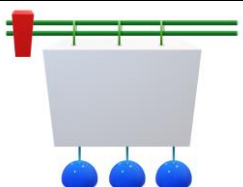
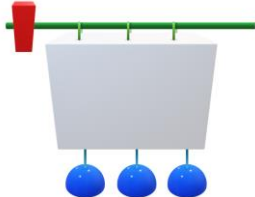
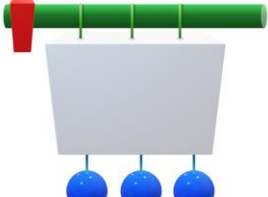
<i>Característica</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Material	 Nylon	 Acero inoxidable
Cantidad		
Tamaño		

Tabla 13. Matriz morfológica de variación para cuerda/cable.

Pesas




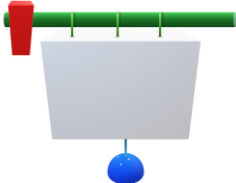
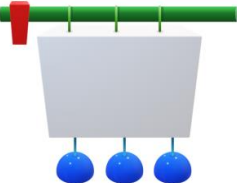

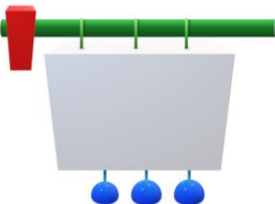
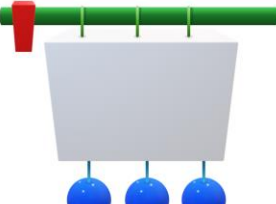
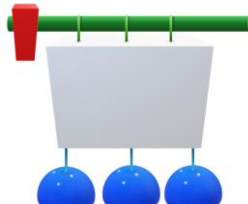
Característica	1	2	3
Material	 Acero inoxidable	 Hormigón	 Hierro forjado
Cantidad			
Tamaño			

Tabla 14. Matriz morfológica de variación para pesas.

Se procede a realizar el método de trozos en los tres elementos del sistema de fijación, como elemento funcional clave, con las opciones de las tres matrices morfológicas de variación y teniendo en cuenta el objetivo de variación establecido anteriormente.

Variación 1:

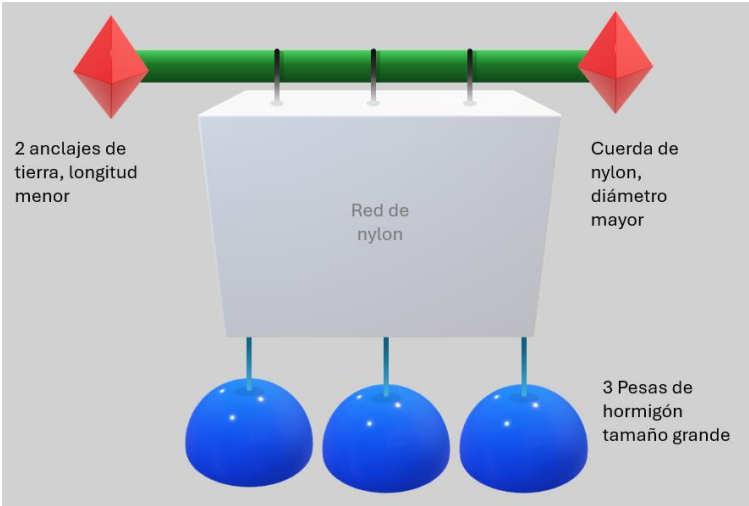


Ilustración 13. Variación 1.

Variación 2:

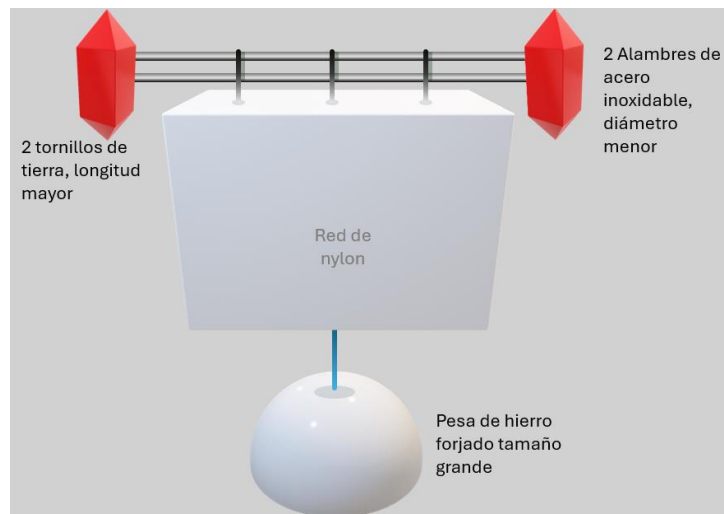


Ilustración 14. Variación 2.

Variación 3:

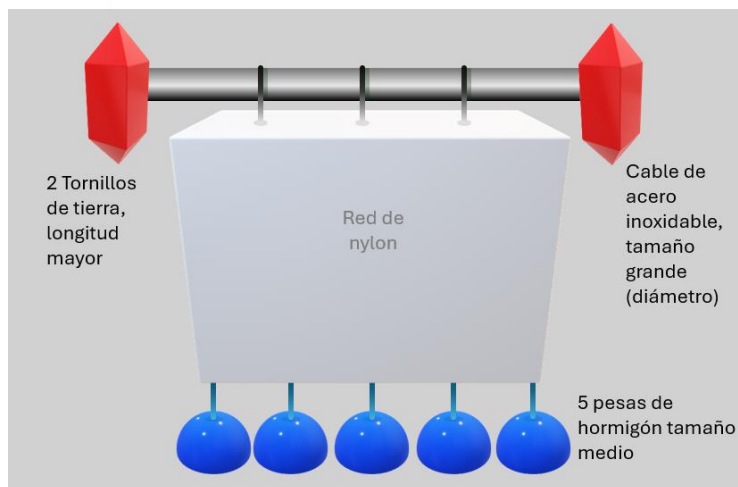


Ilustración 15. Variación 3.

Variación 4:

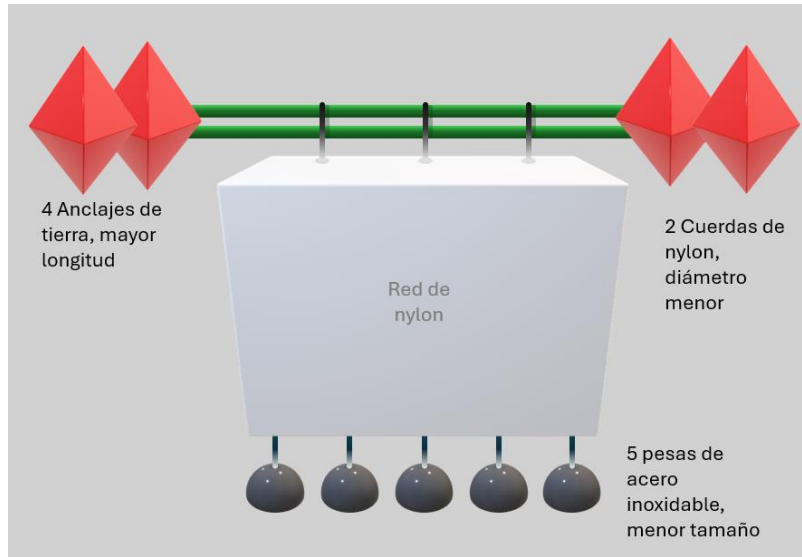


Ilustración 16. Variación 4.

Configuración definitiva:

Se selecciona la variación 3, la cual por medio de pesos estratégicamente colocados en el lecho del río minimiza las interrupciones en el flujo de agua y disminuye la probabilidad de corrosión puesto son de hormigón. Además, la distribución de pesos a lo largo del cable mejora la estabilidad del sistema al contrarrestar la corriente del río, garantizando una fijación segura del dispositivo. Por otro lado, se reduce el riesgo de ruptura mediante un cable robusto también de acero inoxidable. Aunque otras variantes presentan conceptos interesantes, la opción preferida, el tornillo de tierra, ofrece una solución adecuada que al cubrir una mayor área superficial de la tierra en donde se fija el dispositivo dará como resultado un posicionamiento correcto y firme. Esta variación es la seleccionada puesto que cumple con los criterios de reducción de obstrucción, mejora de estabilidad y mitigación de riesgos de ruptura en el cable.

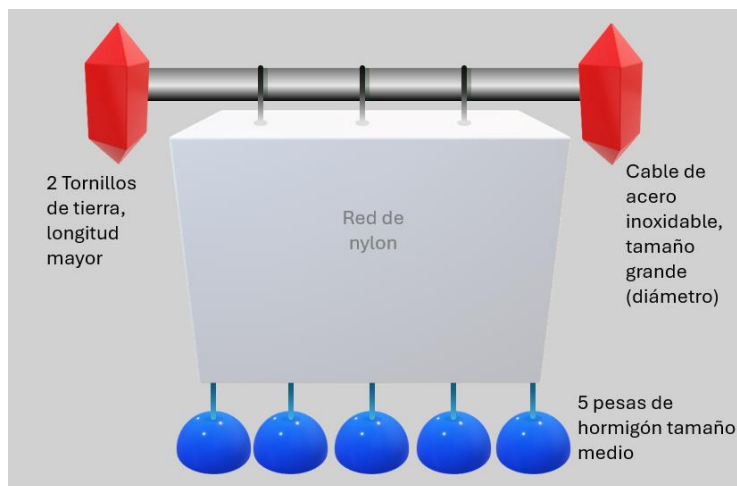


Ilustración 17. Variación Definitiva.

9. Configuración definitiva

Para definir el sistema, el factor más importante para considerar es la fuerza de arrastre ejercida por la corriente de la quebrada. Aunque los desechos sólidos retenidos pueden ejercer fuerza sobre la red y la barrera de boyas, esta es despreciable en comparación con las fuerzas de tensión generadas por el afluente.

Para poder calcular la fuerza de arrastre, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A$$

Ecuación 1. Fuerza de arrastre.

ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad del fluido, C_D es el coeficiente de arrastre, y A es el área de la sección transversal al flujo. Para nuestro caso, la densidad del fluido ρ es la del agua (**1000 kg/m³**). El área transversal A se asumirá de **2 m²**, sin embargo, por ser una red, su área es menor a esta cifra. Se estima un coeficiente de arrastre de **0.95**. Esto considerando que esta propiedad es de 1.05 para un cubo, el cual es la figura más aproximada a la geometría de la red encontrada en las tablas (Miedema, s.f.). La velocidad promedio de una quebrada bajo condiciones climáticas normales es de 1 a 2 m/s. No obstante, el sistema de fijación debe ser capaz de soportar las fuerzas generadas por velocidades de hasta 3 m/s que se presentan en climas tempestuosos.

$$F_D = \frac{1}{2} \times 1000 \times 3^2 \times 0.95 \times 2 = 8550 \text{ N}$$

Ecuación 2. Solución de la ecuación 1.

Con base en esto, el sistema de fijación, constituido por las pesas, el cable y los tornillos de tierra, debe soportar alrededor de 8000 N. Esta información es la base para definir el sistema y poder realizar la configuración definitiva.

Planos de ensamble

Considerando todos los métodos empleados y sus resultados, así como los requerimientos iniciales del proyecto, se elaboran los planos de ensamble y las piezas individuales. A continuación, se muestra el plano de ensamble. Los planos individuales son anexos a este documento.

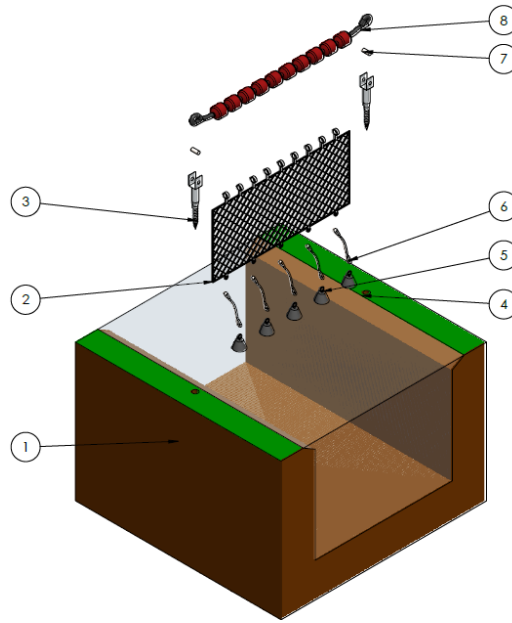


Ilustración 18. Plano de ensamblaje.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Quebrada_Canal	Para proposito ilustrativo	1
2	Malla	N/A	1
3	Tornillo_Tierra	N/A	2
4	Agua	Para proposito ilustrativo	1
5	Pesas_Ensamblaje	N/A	1
6	Cuerdas_Ensambladas	N/A	1
7	Pasador	N/A	2
8	Cable_Boyas	N/A	1

Tabla 15. Tabla de ensamblaje.

El principio físico y modelo matemático que rige el comportamiento de cada componente es el siguiente:

Cable de acero inoxidable

El principio físico que aplica al cable es la resistencia a la tracción. El cable soporta una fuerza de tensión a lo largo de su longitud, distribuyendo la carga aplicada por parte de los desechos sólidos y la corriente de la quebrada de manera uniforme a lo largo de su sección transversal. El modelo matemático de este es el siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 3. Esfuerzo de tracción del cable,

Donde σ es el esfuerzo de tracción, F es la fuerza de tensión aplicada, y A es el área de la sección transversal del cable. Para garantizar que el cable no sufra deformaciones que puedan afectar su desempeño, σ debe ser menor que el límite elástico del material.

Tornillos de tierra

El principio físico que aplica al cable es el de resistencia a la cizalladura. Los tornillos de tierra se anclan al suelo mediante fricción y la fuerza de cohesión del suelo. El cable conectado a la parte superior del tornillo ejerce una fuerza que es contrarrestada por una fuerza igual y opuesta ejercida por el suelo sobre el cuerpo del tornillo. El modelo matemático que rige este comportamiento es:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Ecuación 4. Esfuerzo cortante de los tornillos de tierra.

Donde F es la fuerza del anclaje, ósea, la fuerza ejercida por el cable. τ es el esfuerzo cortante, y A es el área transversal del tornillo en contacto con el suelo. Para que el tornillo no se deforme, τ debe ser menor que la resistencia a cortante del material.

Barrera de boyas

El principio físico que aplica a la barrera de boyas es el principio de flotación de Arquímedes. Este principio señala que un objeto sumergido en un fluido experimenta una fuerza ascendente igual al peso del fluido desplazado. El modelo matemático es el siguiente:

$$F_b = \rho g V$$

Ecuación 5. Fuerza de flotación de las boyas.

Donde F_b es la fuerza de flotación, ρ es la densidad del agua, V es el volumen de la boya sumergido en el agua, y g es la aceleración debida a la gravedad.

Red de nylon

El principio físico que aplica a la red de nylon es el mismo que el del cable de acero inoxidable. Las fibras de la red soportan una carga distribuida de los desechos sólidos y la corriente de la quebrada. El modelo matemático es:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ecuación 6. Esfuerzo de tracción de la red.

Donde σ es el esfuerzo de tracción, F es la fuerza de tensión aplicada, y A es el área de la sección transversal de la red.

Pesas de concreto

El principio físico que aplica a las pesas de concreto es la fuerza de gravedad. Las pesas proporcionan estabilidad y aseguran que la red se mantenga en su lugar mediante su peso y la fuerza de la gravedad. El modelo matemático es:

$$F = mg$$

Ecuación 7. Fuerza de gravedad de las pesas.

Donde F es la fuerza producida por el peso de la pesa, m es la masa, y g es la aceleración debido a la gravedad.

Normas generales para el equipo completo

Aunque no existen normas específicamente para el diseño de captadoras de desechos sólidos en afluentes, hay normas que aplican a proyectos en el sector ambiental, y algunas que regulan la gestión de residuos sólidos. Algunas normas de este tipo son:

ISO 14001 de 2015: Sistemas de gestión ambiental

Esta norma establece los requisitos para un sistema de gestión ambiental que una organización puede usar para mejorar continuamente su desempeño en materia ambiental (ISO, ISO 14001:2015 - Environmental management systems — Requirements with guidance for use, 2015).

Resolución 754 de 2014:

Esta resolución establece una metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control, y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2014).

Normas específicas para componentes:

Cable de acero inoxidable:

ISO 2408 de 2017: cables de acero para usos generales

Especifica las características y requisitos técnicos de los cables de acero utilizados para aplicaciones generales (ISO, 2017).

ASTM A1023/A1023M-21:

Es la especificación estándar para cables de acero, grado de alambre de alta resistencia y uso general, incluyendo resistencia a la tracción y requisitos de pruebas (ASTM, ASTM A1023/A1023M-21 - Standard Specification for Carbon Steel Wire Ropes for General Purposes, 2021).

Tornillos de tierra:

ASTM F1667-15:

Es la especificación estándar para tornillos, sujetadores roscados y componentes especiales, que incluye dimensiones, materiales, pruebas de rendimiento, entre otras características (ASTM, 2015).

ISO 3506-1:

Esta norma cubre las propiedades mecánicas de los tornillos de acero inoxidable, asegurando su resistencia a la corrosión y durabilidad (ISO, 2020).

Boyas flotantes:

No se encontraron normas que apliquen al diseño de la barrera de boyas.

Pesas de hormigon:

ASTM C150/C150M:

Esta norma especifica los requisitos para el cemento Portland, el tipo de cemento más comúnmente utilizado en la fabricación de concreto (ASTM, 2022).

EN 206:

Establece los requisitos para el concreto fresco y endurecido, cubriendo aspectos desde las especificaciones de los materiales hasta el desempeño del concreto (UNE-EN, 2021)

EN 197-1:

Especifica los requisitos para los tipos más comunes de cemento utilizados en la fabricación de concreto (UNE-EN, UNE-EN 197-1:2011 - Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes, 2011).

Red de nylon:

ISO 1805 de 2006:

Establece métodos para determinar las características físicas de los materiales utilizados en redes de pesca, aplicable a las redes de nylon por sus propiedades similares (ISO, 2006).

ISO 1806 de 2002:

Establece el método para determinar la fuerza de ruptura de las mallas de las redes de pesca aplicable a las redes de nylon en general (ISO, 2002).

ASTM D5034-21:

Proporciona un método de prueba para determinar la resistencia a la tracción de telas (ASTM, 2021).

10. Presupuesto

Presupuesto de fabricación






Componente	Imagen	Descripción	Precio/und	Cantidad	Precio total
Malla en nylon		Se escoge de nylon, material amigable con el medio ambiente y de calibre de 4mm puede resistir a tracción hasta 85 MPa. Se utilizarán 2 m2.	\$ 15.754	2	\$ 31.484
Boya tipo barrera		Hechas de 175oz de pvc y resistentes a altas corrientes, estas boyas tipo barrera ayudan a retener alta cantidad de basuras flotantes con una altura de 18 pulgadas o 46cm sobre el nivel del agua. Se utilizarán 2 m.	\$ 152.165	2	\$ 304.330
Tornillo de tierra		Con 55 cm de profundidad en su sección de anclaje a tierra y laminas con perforaciones para hacer los soportes necesarios. Realizado en acero galvanizado que permite nos brinda resistencia y duración. Se utilizarán 2 unidades.	\$ 95.200	2	\$ 190.400
Muerto de fondeo en hormigón		Mas económico que el acero inoxidable y con una muy buena duración, estas pesas tensionaran toda la malla y evitaran su desplazamiento. Tienen un peso de 15kg y se utilizaran 5 a lo largo de la longitud de la quebrada.	\$ 42.000	5	\$ 210.000
Cable de acero inoxidable		Se utiliza como marco de la malla, además de ser el que une los tornillos de tierra, las boyas y todos los componentes. Calibre 1/8" y de acero inoxidable. Se utilizarán 3 metros.	\$4.950	3	\$ 14850
TOTAL		Presupuesto total de fabricación			\$ 751.064

Tabla 16. Presupuesto de fabricación.

Presupuesto de instalación

Componente	Descripción	Precio total
Personal	Tarifa estandarizada de mano de obra de personal semicualificado en Colombia. En este caso se tendrán dos personas encargadas de la instalación y solo se requerirá un día de trabajo.	\$ 180.000
Alquiler de equipo de instalación	Solo se necesita equipamiento básico que incluye cualquier tipo de caja de herramientas, entre ellas corta frio, destornilladores, martillos y demás.	\$ 100.000
TOTAL	Presupuesto total de instalación	\$ 280.000

Tabla 17. Presupuesto de instalación.

Presupuesto de mantenimiento

Componente	Descripción	Precio total
Personal	Tarifa estandarizada de mano de obra de personal no calificado en Colombia. En este caso se tendrá una persona encargada del mantenimiento mensual y solo se requerirá un día de trabajo.	\$ 30.000
Repuestos.	En su mayoría el mantenimiento necesario será solo a la malla la cual tiene una vida útil de 5 años, pero puede llegar a presentar pequeñas rupturas que no garanticen detener el 95% de los desechos sólidos de la quebrada y componentes que puedan llegar a presentar oxidación.	\$ 20.000
TOTAL	Presupuesto total de mantenimiento	\$ 50.000

Tabla 18. Presupuesto de mantenimiento.

El costo total del proyecto, entre fabricación e instalación está en \$1'031.064. El precio de venta del dispositivo será de \$1'300.000, lo que da un retorno a la inversión del 26.08%.

11. Modelo

A continuación, se muestra el modelo final y su diseño en el software de SolidWorks.

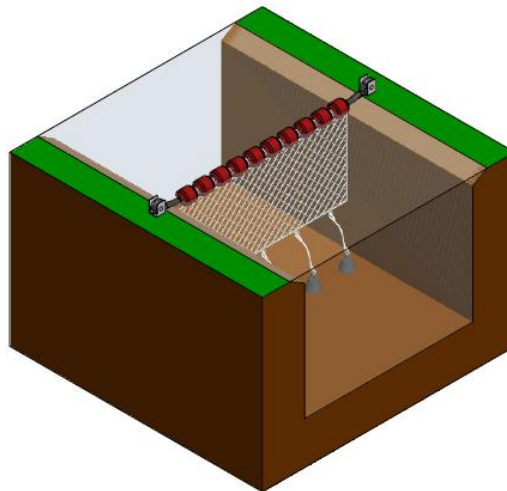


Ilustración 19. Modelo final.

Referencias

- ASTM. (2015). *ASTM F1667-15 - Standard Specification For Driven Fasteners: Nails, Spikes, And Staples*. Retrieved from <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmf166715>
- ASTM. (2021). *ASTM A1023/A1023M-21 - Standard Specification for Carbon Steel Wire Ropes for General Purposes*. Retrieved from <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/110743/c103638a62aa4ced98ba27c27d0e1565/ASTM-A1023-A1023M-21.pdf>
- ASTM. (2021). *D5034 - 21 - Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)*. Retrieved from <https://tienda.aenor.com/norma-astm-d5034-21-108582>
- ASTM. (2022). *ASTM C150/C150M-22 - Standard Specification for Portland Cement*. Retrieved from https://www.astm.org/c0150_c0150m-22.html
- CLEAR RIVERS. (s.f.). *Litter traps*. Retrieved from <https://www.clearrivers.eu/litter-traps>
- Cluster, L. (s.f.). *3.3 Colombia Costo de Mano de Obra*. Retrieved from <https://dlca.logcluster.org/es/33-colombia-costo-de-mano-de-obra>
- Co., H. H. (s.f.). *Tornillo de tierra para señales de tráfico y carreteras*. Retrieved from <https://es.foundation-system.com/ground-screw-for-road-and-traffic-sign/>
- Docks, P. (s.f.). *Pesos Muertos de Hormigón para anclaje de alta calidad y longeva durabilidad*. Retrieved from <https://docks.com.co/tienda/muertos-hormigon/>
- Hurtado Rassi, J. (2019, Junio 19). *Cuando el río suena..... basura trae*. Retrieved from Derecho del Medio Ambiente: <https://medioambiente.uexternado.edu.co/cuando-el-rio-suena-basura-trae/>
- ISO. (2002). *ISO 1806:2002 - Fishing nets — Determination of mesh breaking force of netting*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/28360.html>
- ISO. (2006). *ISO 1805:2006 - Fishing nets — Determination of breaking force and knot breaking force of netting yarns*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/30041.html>
- ISO. (2015). *ISO 14001:2015 - Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/60857.html>
- ISO. (2017). *ISO 2408:2017 - Steel wire ropes — Requirements*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/66635.html>
- ISO. (2020). *ISO 3506-1:2020 - Fasteners — Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/70045.html>
- Miedema, S. A. (s.f.). *Some drag coefficients*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Some-drag-coefficients-source-Wikipedia_fig5_267606282
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (2014). *RESOLUCIÓN NÚMERO 0754*. Retrieved from <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/resolucion-754-de-2014.pdf>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (2023). *INFORME DE RENDICIÓN DE CUENTAS 2023*. Bogotá.

- Morales-Caselles, C., Viejo, J., Martí, E., González-Fernández, D., Pragnell-Raasch, H., González-Gordillo, J. I., & Cózar, A. (2021, Junio 10). *What are the most common items of waste found in rivers and oceans?* Retrieved from Our World in Data: <https://ourworldindata.org/grapher/most-common-waste-rivers-oceans>
- NAVCAR, G. (s.f.). *Cable Guaya en Acero Inoxidable de 1/8" (3.1mm) 7x19 x 500 metros*. Retrieved from <https://www.gruponavcar.com/cable-guaya-en-acero-inoxidable-de-18-31mm-7x19-x-500-metros/p>
- PSI. (2016). *ONLINE CATALOG*. Retrieved from <https://www.parkersystemsinc.com/online-catalog/#page/8>
- redes, F. d. (s.f.). *Redes Hilo 210/36 (1110)*. Retrieved from <https://fabricaderedes.com/es/62-redes-hilo-21036-1110>
- Slat, B. (2024). *The interceptor*. The Ocean Cleanup. Retrieved from <https://theoceancleanup.com/rivers/>
- The great bubble barrier. (s.f.). *Cleaning rivers from plastic pollution with bubbles*. Retrieved from <https://thegreatbubblebarrier.com/>
- UNE-EN. (2011). *UNE-EN 197-1:2011 - Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*. Retrieved from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048623>
- UNE-EN. (2021). *UNE-EN 206:2013+A2:2021 - Hormigón. Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad*. Retrieved from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-206-2013-a2-2021-n0067954>