



Noviembre 2019 - ISSN: 1988-7833

PROPUESTA DE DISEÑO PARA UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RÍO TUNJUELO – BOGOTÁ, COLOMBIA

Andrea Natalia Cely Barrera¹

ancezyb@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Valentina Castañeda Amézquita²

vcastaneda@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Laura Camila Correa Vaca³

lcorreav@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Natalia Oñate Peñuela⁴

nonatep@correo.udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Nayive Nieves Pimiento⁵

nnievesp@udistrital.edu.co
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Andrea Natalia Cely Barrera, Valentina Castañeda Amézquita, Laura Camila Correa Vaca, Natalia Oñate Peñuela y Nayive Nieves Pimiento (2019): "Propuesta de diseño para un sistema de recolección de residuos sólidos en el río Tunjuelo – Bogotá, Colombia", Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, (noviembre 2019). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/cccss/2019/11/sistema-recoleccion-residuos.html>

Resumen: Este documento presenta una propuesta de diseño para un sistema de recolección de residuos sólidos a implementar en el río Tunjuelo, al sur de la ciudad de Bogotá, basado en sistemas de recolección existentes y aplicados al océano, debidamente rediseñados y dimensionados para el contexto a trabajar. Con el proyecto se busca mitigar el problema de contaminación existente en la zona, así como los graves daños ambientales que trae consigo, teniendo en cuenta que este desemboca en el río Bogotá, afluente de gran importancia hídrica para el país. El diseño propuesto se basa en la contención de los residuos que fluyen por el río en un punto específico de este para su posterior extracción hacia tierra y respectivo almacenamiento, hasta el momento en que puedan ser desplazados al lugar pertinente por el sistema de recolección de basuras de la ciudad. Para el desarrollo de esta propuesta se deben tener en cuenta factores medio ambientales, las actividades industriales desarrolladas en la zona, la ocupación territorial en los límites del río, además de las actividades humanas que se realizan en esta.

Palabras clave: Mitigación-contención-recolección-residuos-sólidos-suspensión-contaminación.

¹Estudiante séptimo semestre de Ingeniería Industrial

²Estudiante séptimo semestre de Ingeniería Industrial; interventora capitular Asociación Nacional de estudiantes de ingeniería industrial, administrativa y de producción ANEIAP

³Estudiante séptimo semestre de Ingeniería Industrial

⁴Estudiante séptimo semestre de Ingeniería Industrial

⁵Msc.Ciencias ambientales, Ingeniería mecánica, Docente investigador, Docente tutor, Grupo de investigación Sistemas Mecatrónicos y de telecomunicaciones; Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Abstract: This document presents a design proposal for a solid waste collection system to be implemented in the Tunjuelo River, south of the city of Bogotá, based on existing and applied ocean collection systems, duly redesigned and sized for the context to be worked. The project seeks to mitigate the problem of pollution in the area and the serious environmental damage that it brings, considering that it flows into the Bogotá River, a tributary of great water importance for the country. The proposed design is based on the containment of the waste that flows down the river at a specific point of the river for its subsequent extraction to land and respective storage, until such time as they can be moved to the appropriate place by the garbage collection system. from the city. For the development of this proposal must take into account environmental factors, industrial activities developed in the area, territorial occupation in the river limits, and human activities that are carried out in it.

Key words: Mitigation-containment-collection-waste-solids-suspension-contamination.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de 1960 se ha presentado una de las problemáticas ambientales más significativas en la ciudad de Bogotá, la cual se ha hecho evidente desde los años ochenta; sus causas son la construcción de canteras, el crecimiento urbano no planificado, la industrialización de sectores no calificados, con procesos altamente contaminantes como la preparación de detergentes y la instalación de curtiembres [1]. El proceso de urbanización en la ciudad inicia tanto de manera acelerada como no planificada hace más de 100 años, generando un aumento en el crecimiento demográfico, lo cual se ha visto reflejado en la demanda de bienes/servicios para satisfacer las necesidades de la población, y la ocupación de zonas de gran valor ecológico como los ecosistemas de humedal y rondas de ríos, trayendo consigo la pérdida de hábitats con sus respectivos servicios ambientales [3].

En la actualidad, Bogotá cuenta con 15 humedales reconocidos, los cuales son reguladores hídricos de gran importancia socio ambiental. Por otro lado, los cerros orientales abastecen de agua a la ciudad debido a que es allí donde nacen aproximadamente 53 quebradas que alimentan grandes sistemas hídricos como: los ríos Tunjuelo, Salitre, Fucha y el canal Torca, los cuales finalmente desembocan en el río Bogotá [2].

El río Tunjuelo nace en el embalse de Chisacá, localizado en el páramo de Sumapaz en el extremo suroriental de Bogotá; atraviesa las localidades de Sumapaz, Usme, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Kennedy y Bosa, además de una mínima extensión en Soacha [1]; desembocando al río Bogotá en la localidad de Bosa, tal como se muestra en la Figura 1. Este debe su importancia al hecho de que, con sus 73 kilómetros, es el río más grande que tiene la ciudad y con sus aguas se abasteció el primer acueducto moderno que se tuvo en ésta [3].

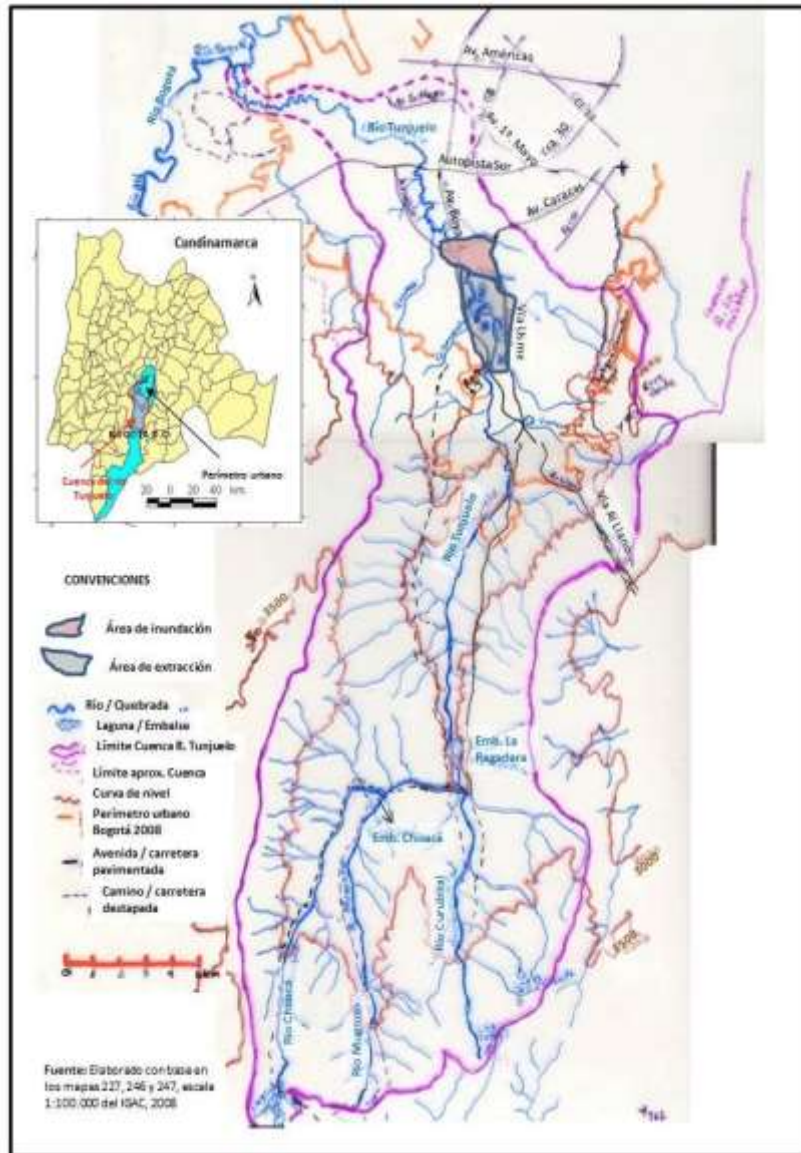


Figura 1. Recorrido del río Tunjuelo. Disponible en: F. Sánchez Calderón, Segregación socio-espacial y cambio ambiental en Bogotá, siglo xx: el caso del río Tunjuelo (2012)

Las problemáticas que actualmente presenta el río Tunjuelo provienen principalmente de la acción antrópica, es decir, la influencia que la acción del hombre tiene sobre el medio; en este sentido se puede evidenciar que la urbanización de las riberas del río ha generado una sobre contaminación por el desarrollo de actividades comerciales como las curtiembres y la minería entre otras, además de los vertimientos junto con la constante explotación del recurso hídrico. Este problema generado por los desechos sólidos a lo largo del margen del río es complicado de resolver ya que existen alrededor de 457 curtiembres que generan más de cinco mil empleos directos con unas 30 mil personas relacionadas.

También se nota una marcada jerarquización del territorio norte –sur, debido a que históricamente el norte de la ciudad ha recibido mayor inversión en medios de transporte; así mismo se destaca que en épocas de la colonia las vías de conexión siempre estaban dirigidas hacia esta zona de Bogotá, con lo cual se puede inferir que gran parte de los problemas ambientales que presenta el sur de la ciudad, para el caso puntual de las cuencas media y baja del río Tunjuelo, se debe a la baja inversión presupuestal, ausencia del Estado y marginalidad social [2].

A pesar de las medidas adoptadas por la administración distrital, que desde 2008 ha incrementado los controles y las multas a esta actividad, es complicado resolver dicho

problema ya que los desechos son propios de la actividad y se hace prácticamente imposible aplacar de manera inmediata los vertimientos indiscriminados. Pese a las iniciativas legislativas, las multas y las restricciones, los procesos de contaminación no frenan, van en aumento y esto se debe a que los factores de riesgo para el río son tan heterogéneos que responden a problemáticas de orden estructural.

Lo anteriormente expuesto se evidencia a nivel nacional, específicamente el hecho de que los gobiernos locales presenten una débil gestión ambiental, debido a que formular e implementar una política en este campo involucra un desafío político-administrativo, económico y técnico. Ya sea por ignorancia o negligencia de tratar y evaluar el impacto, parece que los sistemas de gestión encargados de solucionar el conflicto formaran parte de este [20].

Lograr progresivamente generar procesos de concientización acerca de la necesidad de preservar los recursos naturales como parte del entorno, impedirá como medida principal la destrucción tanto de la especie humana y como la del planeta. Por tanto, el tomar medidas definitivas para ir mitigando la contaminación del río Tunjuelo es el primer paso para crear conciencia e ir creciendo con respecto a este criterio socio ambiental, igualmente es esencial para la población cercana debido a que se está fomentando el valor que tiene el medio ambiente y además se está visualizando un desarrollo sostenible.

2. PROBLEMA

Se estima que aproximadamente el 30% de la población de Bogotá se asienta sobre la ronda del río Tunjuelo al sur de la ciudad; es allí donde diferentes actividades industriales, agrícolas y domésticas contaminan éste cuerpo de agua con vertimientos de alto contenido de materia orgánica, químicos y metales pesados, generando innumerables impactos ambientales negativos en cadena con consecuencias perjudiciales para el ecosistema, así mismo minimiza la garantía de las generaciones futuras de contar con recursos hídricos aptos para el aprovechamiento [2].

La figura 2 muestra el porcentaje de participación económica de sectores productivos de la cuenca del río, por consiguiente, su grado de ocupación en el territorio.



Figura 2. Participación económica de sectores productivos de la cuenca del río Tunjuelo. Adaptado de: J. M. Castaño Ossa. "Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá" (2015)

Las curtiembres son una de las actividades económicas con mayor concentración espacial, se estima que existen 265 de ellas, las cuales ocupan 283 predios en el barrio San Benito de la localidad de Tunjuelito, sumado a 3 curtiembres en Usme y 2 en Ciudad Bolívar; así mismo se registran 31 industrias más que sirven como proveedores de sustancias químicas para el

proceso lixiviado de las pieles y 29 que aprovechan los subproductos generados por la actividad curtidora [2].

En la tabla 1, se puede evidenciar la situación del río Tunjuelo para el año de 1998, ésta consta de cinco problemáticas principales, su descripción y sus indicadores. Teniendo en cuenta lo anterior, a pesar de que han pasado aproximadamente 20 años, estas problemáticas siguen siendo las mismas, incluso de mayor gravedad. Se observa que, aunque se hagan estudios y se planteen soluciones, no hay mayor respaldo por parte de la alcaldía y el Ministerio del medio ambiente para subsanar en un gran porcentaje la contaminación que se ha venido presentando en el río a lo largo de los últimos 60 años. Así mismo, la tabla 2 representa sólidos apreciables en marzo de 2019.

Tabla 1. Situación del Río Tunjuelo. Disponible en: J. Ruiz Caicedo, ¿Por qué el Río Tunjuelito es objeto de estudio de la facultad tecnológica? (1998)

PROBLEMA	DESCRIPTOR	INDICADOR
La contaminación hídrica del río Tunjuelo y su cuenca alta (Ver tabla 2)	<ul style="list-style-type: none"> No hay vida acuática en más de la mitad de su cauce Sus aguas luego de Usme no son aptas para el consumo Los afluentes del humano El río es aportante a la contaminación del río Bogotá 	<ul style="list-style-type: none"> El nivel de oxígeno en más de la mitad del cauce es de 1,2 mg/lit El nivel de oxígeno disuelto pasa de 4 mg/lit a 1,2 mg/lit después de Usma El 23% de las descargas contaminantes sobre el río Bogotá lo entrega el río Tunjuelo Al río Tunjuelo le llegan 61 descargas o vertimientos de aguas negras, 7 de aguas lluvias y 23 de aguas industriales
La recolección de aguas negras domésticas e industriales es inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> Existen canales (no tuberías) para conducción de aguas negras domésticas y aguas residuales industriales Hay mezcla en canales comunes de aguas lluvias y aguas negras 	<ul style="list-style-type: none"> Hay 84 canales en la cuenca del río Todos los canales de aguas negras también lo son de aguas lluvias
Se drenan en él desechos domésticos (Ver tabla 3)	<ul style="list-style-type: none"> Los afluentes del río son verdaderos aportantes de descargas orgánicas Las basuras se disponen en las rondas de los ríos 	<ul style="list-style-type: none"> La quebrada Chiguaza aporta una carga orgánica 4 veces mayor que la llevada por ese río en ese punto
Se drenan en él desechos industriales	<ul style="list-style-type: none"> Vertimiento de industrias extractivas que originan sedimentación Vertimiento de curtiembres Vertimiento de frigoríficos y mataderos 	<ul style="list-style-type: none"> Más de 300 toneladas diarias son arrojadas al río en puntos donde la pendiente es mínima El 50% de la industria de las curtiembres drenan directamente al río sin tratamientos residuales previos vertiendo en él nitratos, óxido, plomo, etc. Todos los mataderos de Usme drenan sus residuos sobre el río, igual que los frigoríficos que hay a su paso
No se aplica legislación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Las rondas están invadidas de basuras y asentamientos 	<ul style="list-style-type: none"> Solo se han reubicados los invasores en Isla del Sol

Nota: Recuperado de Revistas UD

Tabla 2. Desechos sólidos percibidos visualmente en el río. Autoría propia.

OBJETO	MATERIAL	CANTIDAD (Aproximada)	TAMAÑO (Aproximado)
Troncos y palos	Madera	1 tonelada	Entre 0,3 y 2 m de largo. Entre 20 y 50 cm de circunferencia
Botellas	Plástico	200-250	Entre 20 y 45 cm
Pelotas	Plástico y cuero sintético	10	Entre 10 y 20 cm de circunferencia
Llantas	Aleación de aluminio y caucho (generalmente)	4	60 cm de circunferencia
Bolsas	Plástico	30-50	Entre 10 y 30 cm
Baldes	Plástico	3	30 cm de circunferencia y 30 cm de alto
Sillón	Combinación de fibras	1	60 cm de ancho y 1,5 m de alto
Colchón	Espuma, látex y otros	1	Sencillo: 1 m de ancho y 1,9 m de largo
Porta comida desechable	Icopor	30-50	Entre 10 y 40 cm
Zapatos	Lona, tela, cuero, poliuretano, entre otros	45-60	Entre 23 y 25 cm de largo
Lámpara	No apreciable	1	30 cm de alto
Tejas	Polycarbonato	10-12	Entre 0,6 y 1,5 m
Electrodomésticos	Diferentes	5	Entre 1 y 5 m de alto

En Colombia, cerca del 63% de los vertimientos domésticos e industriales llegan sin tratamiento previo a los cuerpos de agua. Esto ha generado, a pesar de la alta capacidad de autopurificación de los ríos colombianos, contaminación en largos tramos debido a las elevadas cargas orgánicas, de patógenos y nutrientes. Dado que en un país como Colombia, donde los recursos económicos son limitados para temas de control ambiental, resulta indispensable priorizar dichos recursos y enfocarlos a zonas de alto impacto. Además de lo anterior mencionado, se debe añadir que gran parte de los sistemas actuales de tratamiento de aguas residuales presentan deficiencias en cuanto a su capacidad y no cumplen con el proceso completo de tratamiento. Bogotá no es la excepción, su sistema de alcantarillado tiene grandes deficiencias, con un alto porcentaje de conexiones erradas y problemas de capacidad dado el alto crecimiento poblacional de la ciudad en los últimos años. Así mismo, el tratamiento del agua residual en la ciudad es insuficiente. La única PTAR existente tiene una capacidad de 4 m³/s, mientras que la ciudad produce aproximadamente 16 m³/s de agua combinada [4]. Los datos de volumen de vertimientos en el río, se expresan en la tabla 3.

Tabla 3. Volumen mensual de agua vertida, cuenca río Tunjuelo. Disponible en: J. M. Castaño Ossa. "Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá" (2015)

TRAMO	NÚMERO DE DESCARGAS POR TRAMO	VOLÚMEN POR MES (M³/MES)
TRAMO 1. Entrada perímetro urbano hasta desembocadura Quebrada Yomasa	3	78.206
TRAMO 2. Desembocadura Quebrada Yomasa hasta Avenida Boyacá	3	222.582
TRAMO 3. Avenida Boyacá hasta Autopista Sur	8	535.875
TRAMO 4. Autopista sur hasta desembocadura río Tunjuelo	36	4'971.045
TOTAL		5'807.708

La información proporcionada en las tablas 1, 2 y 3 sobre la situación del río, además de sus respectivos índices (tabla 1), comprueba que este es un claro ejemplo de la irresponsabilidad humana; algunas de las especies de flora y fauna presentes en la zona ya desaparecieron por completo, otras han ido disminuyendo haciendo casi imposible encontrarlas, y unas cuantas más, han logrado sobrevivir inmersas en la contaminación. Por esta razón es necesario implementar conciencia a las poblaciones aledañas e implementar distintos proyectos que fomenten la reducción de la contaminación del río.

Con el propósito de enfrentar esta problemática de contaminación se han desarrollado diferentes proyectos de mitigación y descontaminación del río; iniciando por la recolección manual de residuos sólidos de considerable tamaño, pasando por mejoras al sistema de recolección y manejo de desechos, hasta mecanismos de contención de residuos tipo redes, colocados en unos pocos puntos de la extensión del río; todos estos con mínimos resultados a la vez que el problema aumenta en proporciones alarmantes. Con base en esto, se propone el diseño de un sistema que recoja y controle los residuos sólidos vertidos al río, para así reducirlos en un 80% y generar condiciones óptimas de salubridad además de desarrollo para la comunidad y el ecosistema.

3. ZONA DE ESTUDIO

Inicialmente se partió de la división que tiene el río en sus tres cuencas, como lo muestra la figura 3.



Figura 3. Cuencas del río Tunjuelo. Disponible en: C. López López, M. Franco Lopera, S. Bengle. "Intervención Río Tunjuelito. Modelar intervención ciudad" (2017)

Como ya se especificó anteriormente este cuerpo de agua nace de forma natural en el páramo de Sumapaz y allí no presenta contaminación alguna (corresponde a la cuenca alta), esta situación se mantiene hasta aproximadamente 8 kilómetros después donde se encuentra con zonas de cultivos, un cementerio, zonas de explotación minera, el relleno sanitario, entre otras, aún sin haber entrado a la ciudad de Bogotá; es allí, en la cuenca media, donde se estima que se produce el mayor índice de contaminación. Finalmente, entrando a Bogotá y pasando por sus diferentes localidades (en la cuenca baja) se produce contaminación por residuos de curtiembres, mataderos, residuos domésticos y basuras; es en este sector donde se enfoca el proyecto debido al interés del impacto social y mejora de la calidad de vida de la comunidad.

Para el estudio se tomaron dos puntos específicos del río: el primero (Punto "A") en el barrio Casalinda, en la localidad de Ciudad Bolívar junto a la avenida Ciudad de Villavicencio y frente al Portal Tunal de Transmilenio, coordenadas (-74,140 - 4,567); y el segundo (Punto "B") en el barrio Guadalupe, localidad de Ciudad Bolívar, junto a la Autopista Sur y el Frigorífico Guadalupe SAS, coordenadas (-74,152 - 4,596), como se muestra en las siguientes imágenes.

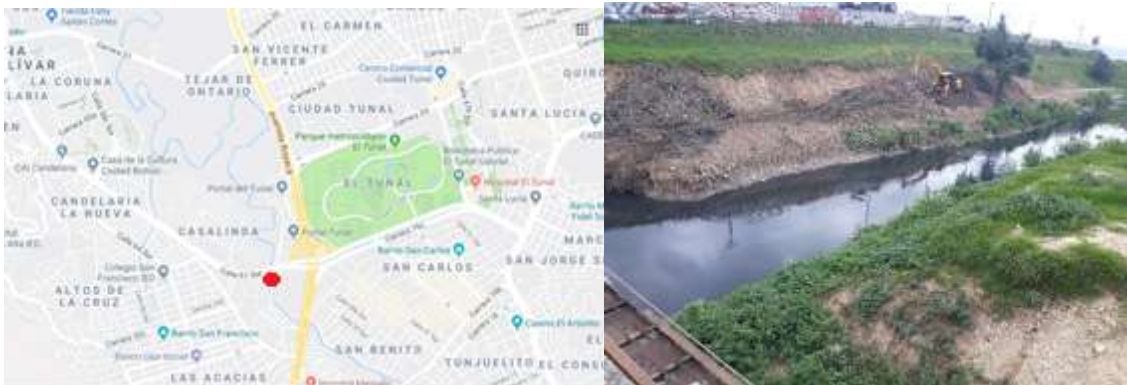


Figura 4. Punto “A”, barrio Casalinda. Autoría propia con apoyo de Google Maps



Figura 5. Punto “B”, barrio Guadalupe. Autoría propia con apoyo de Google Maps

Inicialmente la propuesta de diseño se realiza con base a las condiciones y dimensiones del punto “B”, con el objetivo de ser reproducible al punto “A”.

4. VARIABLES

Para realizar la propuesta de diseño es necesario tener conocimiento de las variables de la zona debido al contacto directo o indirecto que van a presentar con el sistema ya que estas determinarán el correcto funcionamiento y el tiempo de uso del sistema. Se definieron como variables la temperatura, las precipitaciones, la calidad del agua, la geomorfología y el caudal del río.

Los siguientes datos de temperatura y precipitación fueron obtenidos de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para

- Nombre: Doña Juana
- Municipio: Bogotá D.C
- Departamento: Bogotá D.C [14]

4.1 Temperatura: Según los datos medidos a través de las estaciones meteorológicas y haciendo énfasis en la zona de trabajo seleccionada para el desarrollo de este artículo se obtuvo en promedio, para una muestra de diez años, que la temperatura media es 9,3°C, la temperatura mínima 5,7°C y finalmente una temperatura máxima de 15,3°C.

4.2 Precipitación: En promedio, para las lluvias presenciadas en el transcurso de los años 1981 y 2010, el IDEAM expone que en la zona se registró una precipitación anual de 603,3mm y 162 días con lluvia.

4.3 Calidad del agua: En lo referente a la calidad de agua se mostrará a continuación datos compartidos por la Alcaldía Mayor de Bogotá y el IDEAM de las cargas contaminantes presentes en la zona seleccionada del río Tunjuelo, como: DQO, DBO, SST, Grasas y aceites. [15].

4.3.1. DQO: La porción de oxígeno necesario para oxidar las sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en el río o también conocido como Demanda Química de Oxígeno obtenida en la estación de monitoreo del río Tunjuelo “Makro” es en promedio 41,39 toneladas diarias con una mediana de 40,96 toneladas al día [16].

4.3.2. DBO₅: Para el río Tunjuelo el promedio de la Demanda Biológica de Oxígeno por día es de 19,21 Toneladas con una mediana de 18,26 Toneladas diarias.

4.3.3. SST: La carga total de sólidos suspendidos calculados en el tramo de la autopista sur en promedio para un día corresponde a 35,41 toneladas con una mediana 25,96 toneladas diarias.

4.3.4. Grasas y Aceites: En cuanto a los componentes grasos vertidos en el río Tunjuelo, en promedio se puede encontrar 3,68 toneladas diarias y una media de 3,69 toneladas al día.

4.4 Geomorfología: La composición del terreno es levemente inclinada y plana, sin embargo, está conformado por gravas y arenas, en otras secciones por limolitas, areniscas y arcillosas. [17]

4.5 Caudal: La cantidad de agua que fluye en el segmento de la autopista sur corresponde en promedio a un caudal de 2,60 m³/s presentando en fechas de aumento de cantidad de agua un máximo de 10,80 m³/s [15].

5. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

Según la problemática anteriormente presentada y con el objetivo de crear un mecanismo que permita la recolección de residuos sólidos de la cuenca del río Tunjuelo en un punto seleccionado, se implementaron distintas metodologías que ayudan a generar propuestas en cuanto a características requeridas y estrategias para el funcionamiento del sistema.

5.1 Análisis funcional

El primer paso para el planteamiento del diseño, se establece a partir del análisis funcional, a través del método de la caja negra, el cual identifica las variables de ingreso al sistema y las salidas después del paso por este.



Figura 6. Caja Negra del sistema. Autoría propia

En esta primera etapa del análisis funcional, inicialmente el sistema recibirá del exterior agua con residuos sólidos y químicos, sometidos a una fuerza de empuje, energía y temperatura. Después de pasar por este, las entradas se convierten en sólidos contenidos y filtrados junto con agua contaminada por químicos (problemática no tratada en este sistema).

Este análisis permite comprender cuales son las tareas que debe cumplir el sistema para lograr convertir las entradas al sistema en las salidas esperadas. Además, lograr dimensionar el diseño desde una vista global para comprender las líneas de conexión entre las entradas y salidas.

En una segunda etapa, se realizó la “Caja Transparente”, la cual pretende encerrar las funciones secundarias dentro de la función principal a través de los flujos de entrada y salida ya determinados en la caja negra.

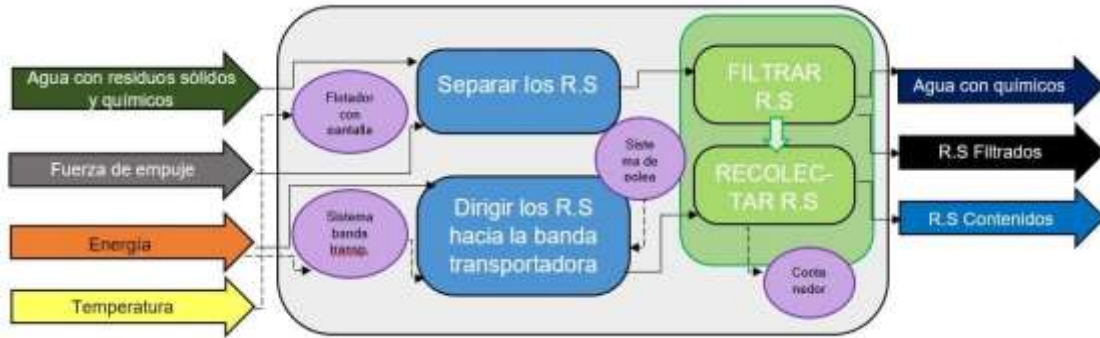


Figura 7. Caja transparente. Autoría propia

El análisis de caja transparente sirve para evidenciar qué parte del sistema debe cumplir con cada una de las funciones principales (recuadros verdes) e indica cada una de las funciones básicas (recuadros azules). Esta consta de los cuatro flujos de entrada y tres de salida especificados en la caja negra, dos actividades principales y dos secundarias definidas a partir de los anteriores parámetros. Las dos funciones principales identificadas son filtrar y recolectar, y las dos secundarias son separar y dirigir.

Los dos primeros flujos de entrada (agua con residuos sólidos, químicos y fuerza de empuje) se correlacionan con la función de separación, que después permitirá la filtración de residuos sólidos que terminaran saliendo del sistema como agua con químicos y como residuos sólidos filtrados. El tercer flujo de entrada (energía) se relaciona con la función de dirigir los residuos sólidos hacia una banda transportadora que permitirá la recolección de estos y que se conecta directamente con el último flujo de salida del sistema (residuos sólidos contenidos).

Para la primera función básica (separación de residuos sólidos) se opta por un flotador con una red o pantalla añadida, cuyo diseño logrará retener un porcentaje considerable de residuos sólidos y los redireccionará hacia la banda transportadora, la cual los llevará hacia un contenedor que cumple directamente con la función de recolección, permitiendo a su vez que el agua continúe con su recorrido.

Como última etapa se determina el diagrama de funciones, el cual muestra la relación directa entre las funciones principales, básicas y subfunciones.

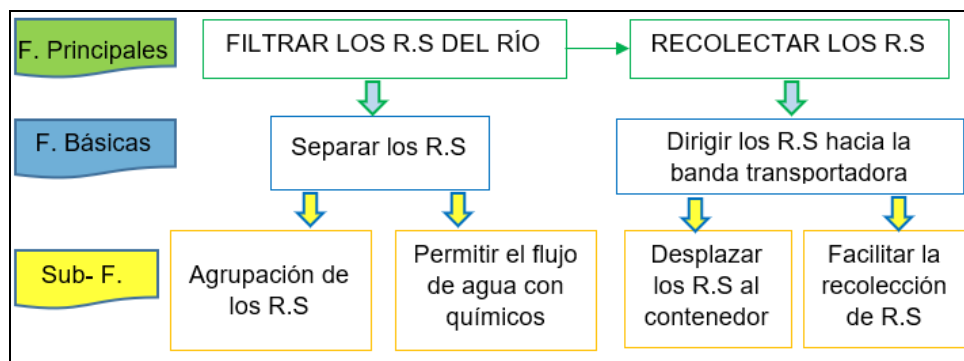


Figura 8. Diagrama de Funciones. Autoría propia

Para este sistema, después de realizar de metodología de caja negra, transparente y su respectivo diagrama de funciones, se determina que: las funciones principales serán tanto filtrar como recolectar los residuos sólidos; las funciones básicas abarcar la separación de los sólidos recolectados y el direccionamiento de estos a la banda transportadora, respectivamente; finalmente, como subfunciones se tiene permitir el flujo de agua con químicos junto con la agrupación de los residuos, en el primer caso, además de desplazarlos al contenedor y facilitar su recolección, en el segundo caso.

5.2 Quality Function Deployment (QFD)

Otra herramienta utilizada para el desarrollo del sistema es el QFD o Despliegue de la función de Calidad, también conocida como la casa de la calidad, la cual es una herramienta utilizada para la gestión de calidad que principalmente se basa en el cambio de las necesidades y requerimientos del cliente en características y aspectos específicos de un producto o servicio [18]. De igual forma, ésta permite evaluar el nivel de impacto que tendrá el producto dando una mejor visión de cómo se encuentra en comparación a la competencia y así mismo poder implementar mejoras en aspectos y/o procesos que generen una ventaja competitiva.

Para poder realizar el QFD, es necesario observar la figura 9, en donde se distinguen seis etapas, las cuales son:

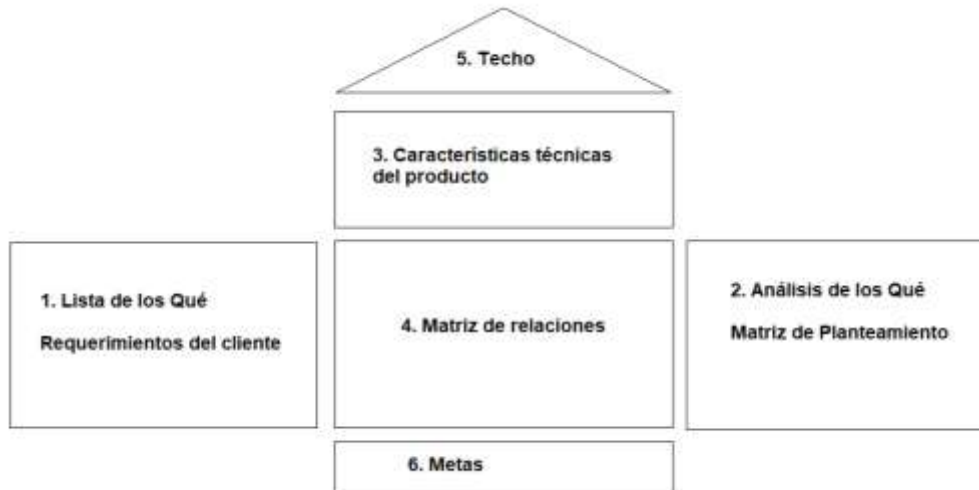


Figura 9. QFD. *Autoría Propia*

1. **Lista de los “Qué”:** Esta etapa corresponde a los aspectos o características que los clientes esperan que tenga el producto; para el caso del diseño de un sistema de recolección de residuos sólidos en el río Tunjuelo los aspectos deseados fueron: economía, innovación, impacto socio-ambiental, tamaño, eficacia, plazo de obtención de beneficio y automatización.
2. **Análisis de los “Qué” (Matriz de Planteamiento):** Esta etapa se basa en saber cuál es la situación actual del producto con respecto a la competencia, allí se establecen ciertos niveles de importancia (siendo 1 muy mala y 5 muy buena), con esta información se evidencia qué características del producto deben mejorarse, o si se debe redefinir la segmentación de mercado; allí los datos obtenidos comparando con cuatro productos se muestran en la figura 10.

Características	0	1	2	3	4	5	Competencia
Economía							
Innovación							
Impacto socio-ambiental							
Tamaño							
Eficacia							
Plazo de obtención de beneficio							
Automatización							

El gráfico muestra el desempeño de cuatro productos de competencia en una matriz de planteamiento. El eje horizontal representa el nivel de importancia (0 a 5) y el eje vertical las características. Las líneas conectan los puntajes de cada producto para cada característica.

- The Ocean Cleanup (línea verde)
- Seawer (línea azul)
- Mr Trash Wheel (línea morada)
- Professor Trash Wheel (línea roja)

Figura 10. Matriz de planteamiento. *Autoría Propia*

Como se puede observar, el producto "Seawer", es el que tiene un mayor impacto socioambiental, así como el de innovación, sin embargo, el producto que es más estable en todos los aspectos es el "Profesor Trash Wheel", haciendo del mismo la principal competencia del sistema diseñado.

A partir de esta matriz se determinó que los diseños analizados y sometidos a comparación sirven de base para la construcción del sistema en cuestión, teniendo en cuenta sus respectivos puntos fuertes en el mercado, así como sus limitaciones y debilidades, adaptándolos a las dimensiones y problemática del río Tunjuelo. Esta etapa muestra que la principal característica que debe ser mejorada es la del plazo de obtención de beneficio; al ser una problemática ambiental que afecta a toda la comunidad, es necesario que el beneficio obtenido al implementar esta propuesta de diseño sea en el menor tiempo posible.

3. **Características técnicas del producto:** Una vez definidos las necesidades del cliente, es necesario definir los aspectos técnicos que debe tener el producto para satisfacer dichas necesidades; usualmente ésta tarea la deberá desarrollar el departamento de ingeniería, con el fin de cumplir con los requerimientos y del mismo modo evitar recaer en aspectos innecesarios que no generan valor alguno al cliente [19]; en éste caso se tienen en cuenta características como: eficiencia, materiales, mantenimiento, energía, condiciones ambientales y diseño.
4. **Matriz de relaciones:** Se debe establecer la relación entre el listado de los "Qué" y las características técnicas del producto. Allí se traduce los aspectos abstractos (Requerimientos del cliente) en características medibles (Características técnicas), para ello se establece una clasificación en cuatros posibilidades que van desde 0 a 9 (siendo 0 sin relación, 1 baja relación, 3 media relación y 9 alta relación) [19].

Para el caso del sistema del río en cuanto a la economía, se evidencia relación en los aspectos de eficiencia y energía, debido a que, a mayor eficiencia y mayor energía consumida, se tiene mayores costos de inversión y gastos de sostenimiento, así mismo, los materiales y el mantenimiento por daños a causa de las condiciones ambientales son costosos; esto se busca contrarrestar para ofrecer un diseño económico, el cual es el deseado por el cliente. Para la innovación, el diseño garantiza eficiencia en sí, y respecto al mantenimiento se innovará en cuanto al proceso. Respecto al impacto socioambiental, se espera que el producto mejore la calidad de vida de los habitantes de la zona, de igual forme que se tenga en cuenta que los materiales no son de gran peligro para el ambiente. En cuanto al tamaño, al ser un diseño de altas dimensiones, se espera que soporte la creciente del río y que el mantenimiento sea a lapsos prolongados de tiempo. Se espera que al ser un producto eficiente y con un diseño factible, el plazo de obtención del beneficio sea mínimo, sin embargo, las condiciones ambientales dificultarán en medida el desarrollo de este beneficio. Finalmente, el aspecto de la automatización significará eficiencia en la recolección de los residuos.

5. **Definir correlaciones (Techo):** En esta etapa se encuentra una matriz triangular en la cual se evalúan las correlaciones existentes entre cada característica técnica, las cuales pueden ser positivo fuerte, positivo débil, negativo débil, negativo fuerte o puede que no haya correlación alguna. La importancia de desarrollar esta etapa es la generación de oportunidades de mejora del producto o la representación de posibles dificultades que tienen que resolverse para obtener un producto de calidad [19].

En el desarrollo del diseño, se evidencia que la eficiencia esta indirectamente relacionada con la calidad y resistencia de los materiales; si se utilizan los materiales adecuados, el mantenimiento del producto disminuirá y así mismo, se mejora la eficiencia. Para aumentar en gran medida esta última, es necesario minimizar la energía utilizada, provocando de igual forma que el mantenimiento sea mínimo; como ya se dijo anteriormente, las malas condiciones ambientales, traen como consecuencia, falta de eficiencia y mayor mantenimiento y utilización de energía para su uso. Finalmente, se debe contar con un diseño compacto y con alta capacidad para mejorar

la eficiencia, debe utilizar y disponer de los materiales más adecuados para soportar las condiciones desfavorables que se puedan llegar a presentar, consumiendo un mínimo porcentaje de energía, y que su mantenimiento sea de fácil uso y acceso para las personas encargadas.

6. **Fijar metas:** En esta última, se calcula cuáles son los objetivos que se deberá alcanzar para dar cumplimiento a las especificaciones que requiere el producto; allí se establece que característica técnica es la mejor y cuál es la peor, lo cual genera la implementación de estrategias para mejorar el producto final. Para el caso de este sistema, la característica técnica más importante es la del diseño, seguida del mantenimiento, por tanto, es necesario establecer estrategias que generen una mejora del producto en estos aspectos.

5.3 Propuesta elaborada

El diseño planteado está fundamentado en la información referente al Río Tunjuelo recolectada a través de diversos artículos de investigación sobre fuentes hídricas de Bogotá. Entre los datos obtenidos se resaltaron para el diseño: precipitación, temperatura, calidad del agua, caudal, entre otros (sección 4). De igual forma, se tuvo en cuenta para el diseño la Tabla 2 elaborada en trabajo de campo.

La propuesta consta de dos fases: la figura 11 junto con la 12 muestran el sistema de filtrado, el cual está diseñado para separar los residuos sólidos en suspensión a través de una pantalla o red de nylon adherida a un flotador de propileno, hypalon, neopreno y/o PVC, el cual cumplirá la función de barrera en suspensión para retener y dirigir los sólidos acumulados. Para que el flotador pueda reorientar los objetos hacia el sistema de recolección debe tener un ángulo de 82.5° entre sus dos segmentos (figura 12), además debe ser ubicado en contra de la corriente del Río. Los dos segmentos de recta que dan la figura anteriormente mencionada son de diferentes longitudes, el número uno (1) según la figura 11, será de 18.48 metros mientras que el número dos (2) será de 5,22 metros. A su vez, el flotador y la pantalla estarán empotrados al terreno en los dos laterales como se observa en la convención 3.

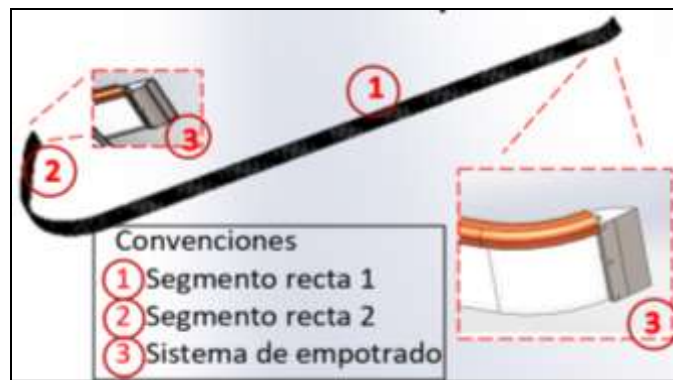


Figura 12. Flotador con pantalla y empotrado. *Autoría propia*

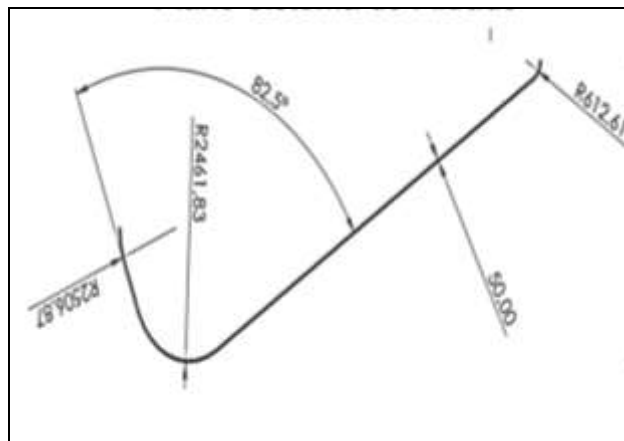


Figura 12. Plano superior del sistema de filtrado. *Autoría propia*

Para el sistema de recolección (figura 13 y 14) se propone un subsistema de traslado por medio de una banda transportadora de caucho de 1 metro de ancho por 5,21 metros de alto, la cual será alimentada por una fuente de energía transmitida por un motor, y estará unido a un subsistema de contención ubicado en la zona alta del terreno, para generar mayor estabilidad. El contenedor usado en la última fase de recolección tendrá 1,4 metros de altura por 1,2 metros de ancho. En la figura 15 se puede detallar que la parte inferior de la banda sobrepasa la parte superior del sistema de filtrado, este se debe al hecho de que el sistema de recolección está sumergido en el río 0.7 metros con el fin de tener mejor alcance de los sólidos en suspensión que se van a acumular en la curva que antecede a la banda transportadora.

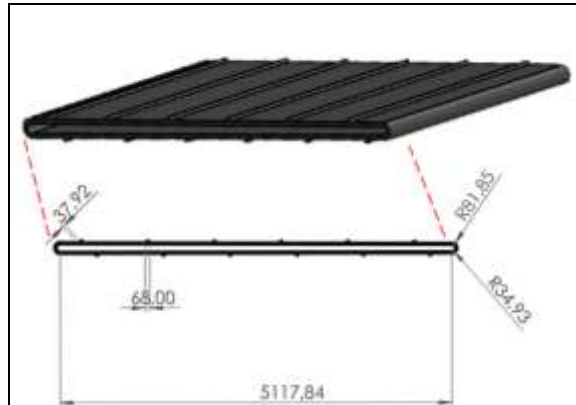


Figura 13. Plano frontal banda transportadora. *Autoría propia*

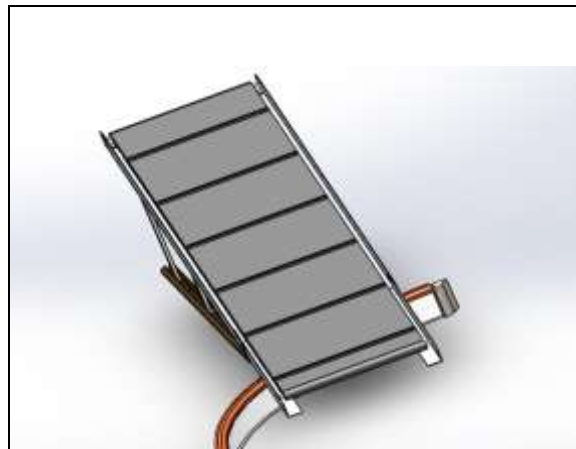


Figura 14. Sistema transportador, vista superior. *Autoría propia*

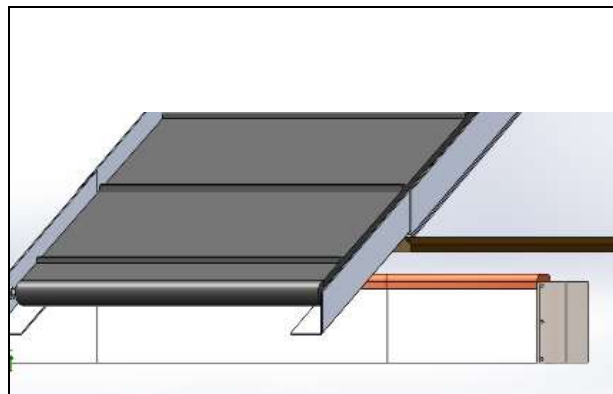


Figura 15. Detalle inferior de la banda

Al unir el sistema de filtrado con el de transporte, se tiene el diseño que se observa en las figuras 15 y 16.



Figura 16. Diseño final. Autoría propia

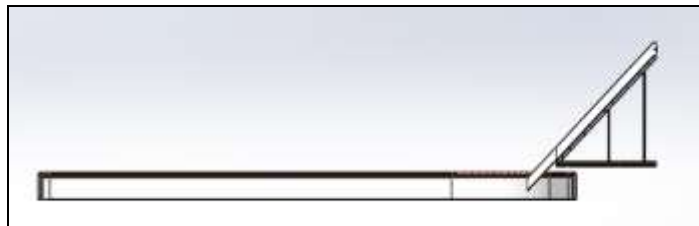


Figura 17. Ensamble del sistema filtrado y transporte vista alzada

6. DATOS Y CÁLCULOS

6.1. Materiales

Entre las características físico químicas de los materiales seleccionados para el flotador se encuentra que: el propileno tiene punto de ebullición de 48°C a 760mmHg, fusión a 185°C, auto ignición a 455°C; el hypalon tiene buena resistencia mecánica, carga de rotura 90 Kg/cm², campo de temperatura de -35 hasta 140 °C; el neopreno tiene buena resistencia al sol, a los disolventes y ácidos diluidos, una carga de rotura 60Kg/cm², campo de temperatura de -20 a 100°C; por último, el PVC tiene un campo de temperatura -30 a 50°C y resistencia a la compresión 610Kg/cm². Al analizar las características anteriormente mencionadas con los datos adquiridos en la base de datos del IDEAM sobre temperatura (sección 4) es posible determinar que los materiales seleccionados para el flotador tienen la capacidad para resistir las condiciones naturales que el punto seleccionado del río ejercería al momento de llevarse a cabo la aplicación.

6.2. Potencia

Para que la banda transportadora pueda ejecutar su función se necesita de un motor cuyo valor de potencia se obtiene a través de la ecuación (1),

$$P = \frac{PA}{\eta} \quad (1)$$

en donde P es la potencia del motor, PA es la potencia mecánica en el tambor motriz y η es la eficiencia de accionamiento.

Para calcular PA se utiliza la ecuación (2),

$$PA = \frac{Fu \cdot v}{1000} \quad (2)$$

Donde F_u es la fuerza tangencial (Ecuación 3) que se define como el cociente entre la fuerza de tracción máxima de la banda calculada por el software y el factor del tambor motriz.

$$F_u = \frac{F_1}{C_1} \quad (3)$$

Reescribiendo la potencia en función de las tres ecuaciones anteriores se obtiene:

$$P = \frac{F_1 * v}{\eta * 1000 * C_1} \quad (4)$$

Reemplazando en la ecuación (4) los valores hallados por el software y fuentes anexas (teniendo en cuenta que la banda tiene un ángulo de 45° respecto al terreno), la potencia queda expresada como:

$$P = \frac{(482,999N) * \left(\frac{0,043m}{s}\right)}{(1000) * (0,9) * (1,5)}$$

Esto da como resultado que la potencia necesaria para la banda transportadora sea de 15,38W, obteniendo un consumo de 55,368 KW-h.

6.3. Análisis de elementos finitos (FEM)

Por medio de este análisis se calculan desplazamientos, deformaciones y tensiones del modelo del casco con cargas internas y externas. Los valores que se obtienen muestran si el prototipo se encuentra dentro de los límites permitidos para que se puede fabricar. A partir de este dato, se comparan los esfuerzos máximos generados con la resistencia del material utilizado, para determinar si soporta los esfuerzos generados [5].

6.3.1. FEM Sistema de filtro:

Utilizando los materiales mencionados en la propuesta (sección 5) se realizó en el software "SolidWorks" una simulación de fuerzas para la pantalla y el flotador de la siguiente forma:

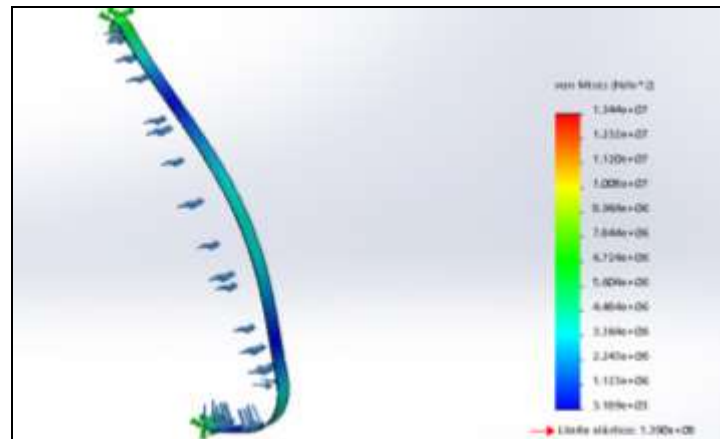


Figura 18. Simulación en el sistema de filtración. *Autoría propia con apoyo de SolidWorks*

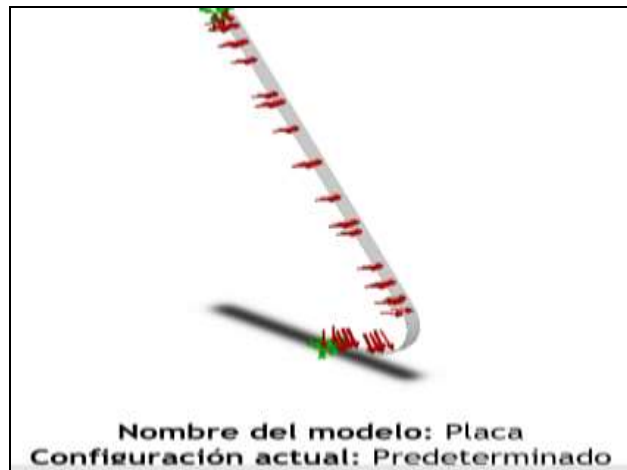


Figura 19. Simulación tensión Von Mises. *Autoría propia con apoyo de SolidWorks*

Analizando la figura 18 y la figura 19 se observa que el diseño y el material son resistentes a la tensión, ya que según la escala von Mises (calculado por el software) tiene un límite máximo de $1.344 \cdot 10^7$ Pa, evidente en la parte superior de la pieza donde se empotra, de igual forma se destaca que la zona intermedia del sistema se encuentra de color azul, es decir, presenta baja tensión.

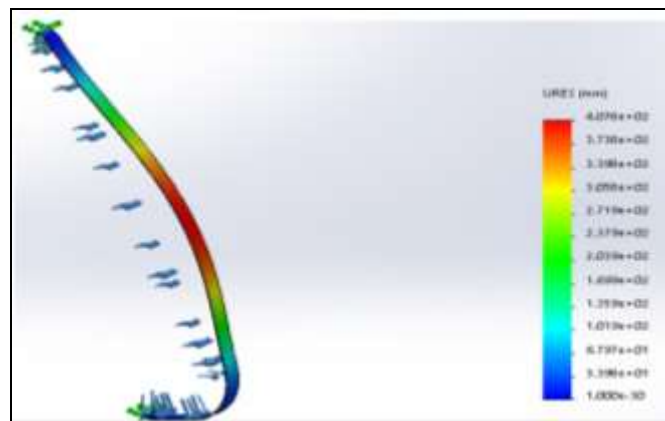


Figura 20. Desplazamientos. *Autoría Propia con apoyo de SolidWorks*



Figura 21. Deformación unitaria equivalente. *Autoría Propia con apoyo de SolidWorks*

Se encuentra que la malla se va a desplazar un máximo de $4.07 \cdot 10^2$ mm en su zona intermedia (figura 20). En cuanto a la deformación (figura 21), el sistema presenta baja deformación unitaria equivalente por las características del material presentando un límite máximo de $8.825 \cdot 10^{-4}$ mm.

6.3.2. FEM Sistema de recolección:

Para la banda transportadora se construyó una simulación en el software, cabe resaltar que el material encontrado en el software para desarrollar la tarea fue equivalente a caucho natural con un coeficiente de Poisson 0.45, límite de tracción $2 \cdot 10^7$ N/m² y módulo elástico 10000 N/m².

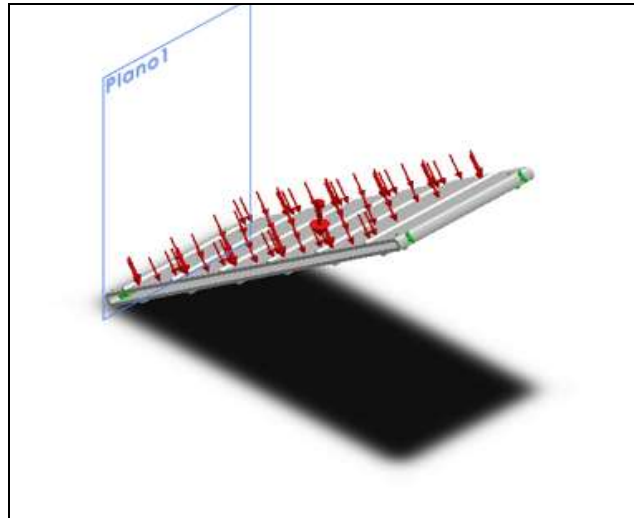


Figura 23. Simulación Banda transportadora. *Autoría propia con apoyo de SolidWorks*

Según la figura 24, la banda transportadora está diseñada con un material resistente a la tensión, sin embargo, por las dimensiones alcanza a tener deformación en algunas zonas, no obstante, el límite máximo de tensión Von Mises es de $3.867 \cdot 10^3$ N/m²

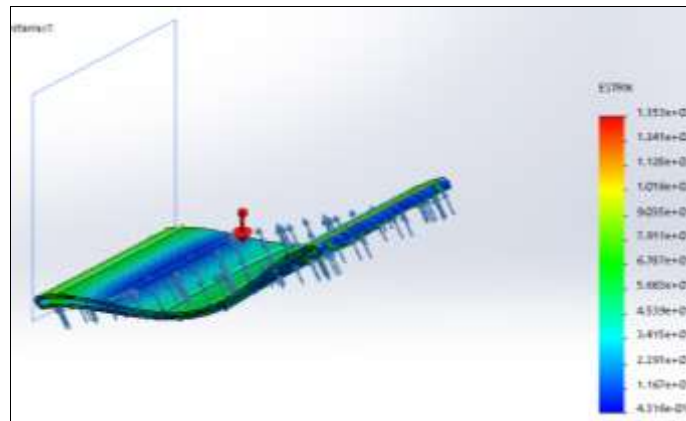


Figura 24. Tensión de Von Mises. *Autoría propia con apoyo de SolidWorks*

También se puede establecer que por medio de las cargas aplicadas se obtendrá un desplazamiento de $8.745 \cdot 10^6$ mm de la forma que lo muestra la figura 25.

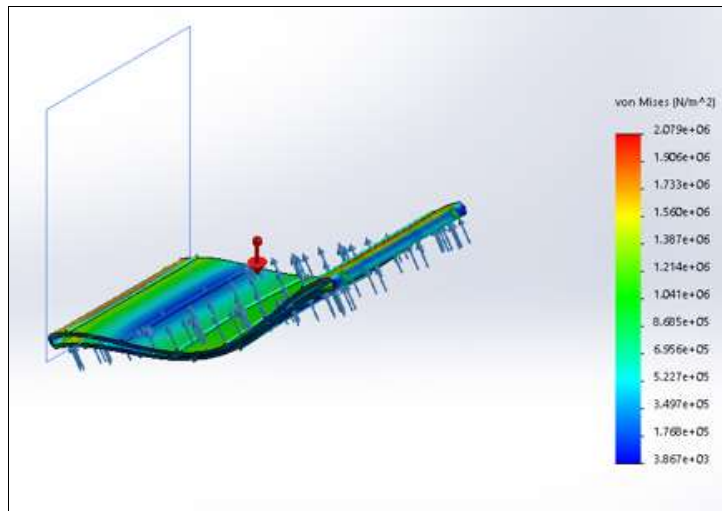


Figura 25. Desplazamientos resultantes. Autoría propia con apoyo de SolidWorks

Así mismo se muestra su respectiva deformación unitaria equivalente al aplicar dicha carga, como sucede en la figura 26.

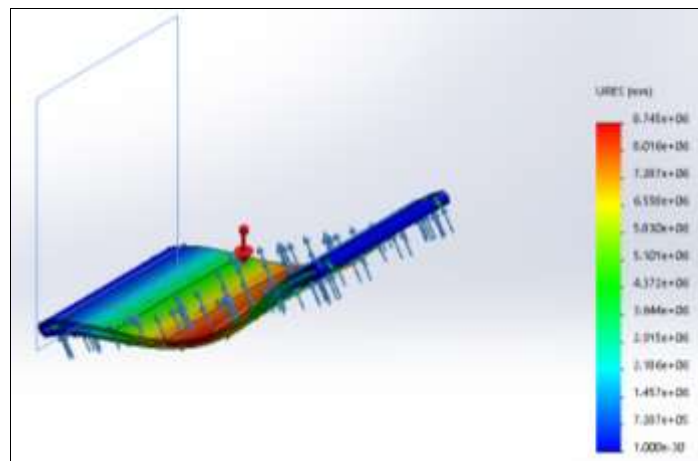


Figura 26. Deformación unitaria equivalente. Autoría propia con apoyo de SolidWorks

7. RECOMENDACIONES

Desde 1980 hasta la época actual, la contaminación hídrica ha ido en aumento, generando diversas problemáticas socio ambientales, por esta razón se recomienda: incentivar a la comunidad de los sectores aledaños a formar parte de la recuperación de espacios ambientales importantes como lo son los ríos, proponiendo soluciones factibles, ya que estos satisfacen en gran medida las necesidades de los seres humanos y promueve la existencia de la biodiversidad tanto de fauna como de flora; se recomienda realizar una evaluación del impacto ambiental que genera la contaminación del río Tunjuelo de manera periódica, en el cual permita conocer a detalle los componentes de éste para su posterior evaluación y así de esta forma, seguir proponiendo estrategias que mitiguen el impacto generado. Con el fin de reducir las cargas de contaminación ocasionadas por los residuos sólidos, se recomienda que el diseño propuesto esté en constante observación, para así mismo identificar posibles falencias e implementar estrategias de mejora que optimicen el tiempo de beneficio en general. Con el fin de mitigar a un nivel mayor la contaminación, se sugiere evaluar la posibilidad de implementar la utilización de energías renovables para el funcionamiento del motor en la banda transportadora, sin que ésta genere más impacto en el entorno; así como un estudio más riguroso sobre los materiales a utilizar en el dispositivo, partiendo principalmente del objetivo a corto plazo de extraer un porcentaje de los residuos sólidos, para ampliar este rango en un lapso mayor de tiempo.

8. CONCLUSIONES

Desde sus inicios, los problemas del río Tunjuelo se han visto abordados a partir los aspectos de abastecimiento y contaminación, sin contemplar la diversidad de interacciones socio-ecosistémicas que se presentan en esta cuenca, las cuales definen las transformaciones del territorio y los impactos sociales que estos generan; aun así, sigue siendo la falta de conciencia por parte de la especie humana sobre el cuidado del medio ambiente la principal causa de las distintas problemáticas que se han generado en las últimas décadas, las cuales son cada vez más difíciles de mitigar y revertir. Con la implementación de diversas propuestas de sistemas para contener la contaminación hídrica en este sector de la ciudad, se espera que se cree un hábito tanto en la comunidad como en las empresas sobre la importancia de la separación y recolección de residuos sólidos, así como una reflexión sobre el tratamiento de las aguas. También es relevante expresar que, aunque gran parte de la responsabilidad de esta problemática recae en los ciudadanos, los entes gubernamentales deben encargarse de instaurar mejores mecanismos de promoción, prevención, auditoría, control y acciones correctivas, así como propiciar el conocimiento de las implicaciones no sólo ambientales sino legales del desacato a las normas establecidas, para lo cual las leyes deben ser completamente claras y las sanciones muy rigurosas.

9. REFERENCIAS

- [1]. "Reseña río Tunjuelo" [online]. Alcaldía local de Tunjuelito. 2006. Disponible en: <http://www.tunjuelito.gov.co/milocalidad/resena-rio-tunjuelo>
- [2]. G. T. Duque Ramírez. "Los conflictos socio-ecológicos alrededor de las cuencas media y baja del río Tunjuelo de la ciudad de Bogotá D.C. (1950- 2014)". Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 2014.
- [3]. J. A. Osorio Osorio. "El río Tunjuelo en la historia de Bogotá, 1900-1990". Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría Distrital de Cultura, Recreación y Deporte-Observatorio de Culturas. Octubre de 2007.
- [4]. J. M. Castaño Ossa. "Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá". Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 2015.
- [5]. J. A. Contreras Castillo. "Diseño y construcción de un prototipo recolector de material plástico flotante en el agua". Universidad de la Salle. Bogotá D.C. 04 de abril 2014.
- [6]. D. M. Ramos Cruz, D. P. Tamayo Figueroa. "La cuenca del río Tunjuelo: una herida abierta en las venas de Bogotá". Revista Teckne. Pág 37-42. Bogotá D.C. 2017
- [7]. Revistas UD. ¿Por qué el río tunjuelito es objeto de estudio de la facultad tecnológica? [Tabla]. 2008. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6058/7583/>
- [8]. Denialink. "Flotadores para tubería de dragado, PE and PU flotadores, opcional flotadores relleno con espuma" [online]. Disponible en: https://denialink.eu/medios_de_flotacion.php
- [9]. Comprendamos. "El polietileno. síntesis y degradación". [online]. Disponible en: <http://www.comprendamos.org/alephzero/57/polietileno.html>
- [10]. Geografía. "Los ríos". [online]. Disponible en: <https://lageografia.com/geografia-fisica/los-rios>
- [11]. "Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas" [online]. Disponible en: http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne21/L21b063_Caracteristicas_fisicoquimicas_rios_proyecto_GUADALMED.pdf
- [12]. López, F. Manchad, E. Sanz, R. "Métodos y proceso de diseño". Editorial Prensas de la Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España. 2016.
- [13]. C. López López, M. Franco Lopera, S. Bengle. "Intervención Río Tunjuelito. Modelar intervención ciudad". 2017
- [14]. IDEAM. "Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo". [online] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
- [15]. IDEAM. "Calidad del recurso hídrico de Bogotá D.C.". [online]. 2004. Disponible en : http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=e464720b-b21b-4b3c-b134-2dea4af9f372&groupId=10157
- [16]. IDEAM. "Demanda química de oxígeno por reflujo Cerrado y volumetría". [online]. 2007. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- [17]. Comisión Ambiental Local. "Diagnóstico ambiental de la localidad de Bosa" [online]. 2012. Disponible en: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883161/PAL+Bosa+2013-2016.pdf>
- [18]. Gestión de operaciones. "Qué es la Función de Despliegue de la Calidad (QFD) o Casa de la Calidad". [online]. 2015. Disponible en: <https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-la-funcion-de-despliegue-de-la-calidad-qfd-o-casa-de-la-calidad/>
- [19]. J. M. Izar Landeta, C. B. Ynzunza Cortés. (2013). "Aplicación del QFD a la industria refresquera de San Luis Potosí, México". [online]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/277956508_Aplicacion_del_QFD_a_la_Industria_Refresquera_de_San_Luis_Potosi_Mexico
[20]. S.C. Rodríguez. "Residuos sólidos en Colombia". [online]. Disponible en:
revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingenieux/article/download/117/92