DIMENSIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA ASOCIACIÓN VERDE MONTAÑA UBICADA EN LA CUENCA RÍO BLANCO DE LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ

JUAN JAVIER ROMERO PÁEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ DC

2023

DIMENSIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA ASOCIACIÓN VERDE MONTAÑA UBICADA EN LA CUENCA DE RÍO BLANCO DE LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ

JUAN JAVIER ROMERO PÁEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Sanitario en la modalidad de monografía

DOCENTE DIRECTOR

JUAN PABLO RODRÍGUEZ MIRANDA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA SANITARIA

BOGOTÁ DC

2023

Dedicatoria

A las personas que han apoyado mi formación académica y brindado espacios para mostrar mis capacidades y conseguir sin lugar a duda una mejor calidad de vida, con mejores oportunidades y cumpliendo los sueños que me tracé desde niño.

A mi señora madre María Lilia Páez Sánchez por apoyarme en cada momento, por alentarme a estudiar y siempre disponer de su tiempo, su consejo y sabiduría para orientar mi camino cuando no tenía claridad sobre las decisiones a tomar, por creer en mí y ser la persona más importante en mi desarrollo personal.

A la vida por enseñarme a perseverar y darme la oportunidad de enriquecer mi espíritu con el acceso a conocimiento que tanto necesita nuestro país para disminuir las brechas y buscar un mejor futuro en los territorios que lo necesitan.

A la localidad de Sumapaz, fuente de mi inspiración, mi cuna y motor de proceso de formación que he llevado siempre en las venas, a cada rincón de esta tierra que me ha brindado cobijo, motivación y alimento.

A los docentes Rafael Eduardo Ladino y Yolima Agualimpia que representan en mi vida ejemplo, respeto y admiración.

Agradecimientos

A la asociación Diversamente Hábiles y a Edilson Melo por permitirme realizar un aporte para su proyecto comunitario, así como por apoyarme y facilitarme los espacios para la gestión de la información.

Al docente director Juan Pablo Rodríguez Miranda por aceptar ser mi tutor de proyecto y brindarme su asesoría para la realización del presente trabajo de grado.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por haberme brindado durante estos años formación de calidad y haberme convertido en uno de los referentes más destacados en el medio social y político en el que me desempeño.

A la Secretaría Distrital de Integración Social, a la Secretaría Distrital del Hábitat en especial a la Subdirección de Servicios Públicos por permitirme ejercer, adquirir amplia experiencia y tener ingresos producto de mis actividades laborales con lo cual pude costear mis estudios.

1. Tabla de contenido

1. Tabla de contenido 5
2. ANTECEDENTES 6
3. JUSTIFICACIÓN 8
4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 9
5. OBJETIVOS 11
5.1. OBJETIVO GENERAL 11
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
6. MARCO TEÓRICO 11
7. METODOLOGÍA 20
7.1. FASE CONCEPTUAL 20
7.2. FASE DE PLANEACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO 21
7.3. FASE DE RECOLECCIÓN DE DATOS 21
8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA 22
8.1. DIMENSIONAR LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ECA 22
8.2. DETERMINAR EL COSTO ESTIMADO DE INVERSIÓN POR MEDIO DE UN ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 84
8.3. ELABORAR UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ECA 86
9. CONCLUSIONES 90
10. RECOMENDACIONES 92
11. BIBLIOGRAFÍA 93
12. ANEXOS 94

2. ANTECEDENTES

De acuerdo al decreto reglamentario 2981 de 2013 el aprovechamiento es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje. En este sentido, un residuo sólido aprovechable es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos es una de las actividades de saneamiento básico necesarias para garantizar la salud ambiental y humana, donde se llevan a cabo actividades de recuperación y aprovechamiento de residuos que por sus características pueden ser reincorporados al ciclo productivo. La Gestión Integral de Residuos Sólidos hace posible que existan determinantes en salud favorables para el desarrollo sostenible de las comunidades y el ambiente.

Actualmente por medio de estrategias de Política Pública, figuras de ordenamiento territorial e instrumentos de planeación existe la adopción de medidas que orientan la transición de un modelo lineal de la Gestión de Residuos Sólidos hacia una economía circular que propendan, por mantener mayor tiempo en el ciclo productivo el valor de los productos y materiales aprovechables. Es por ello, que la actividad de aprovechamiento de Residuos Sólidos es determinante para la transición hacia una economía circular, ya que esto permite disminuir la cantidad de residuos que se disponen en los rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto,

y esto a su vez repercute en la mitigación del impacto ambiental producto de la descomposición de material orgánico o limitaciones de espacio por acumulación de material aprovechable. El modelo de economía circular pone en consideración si los rellenos Sanitarios son necesarios en la actividad de disposición final, o si por el contrario son espacios arcaicos que deben ser reemplazados de manera gradual por tecnologías de aprovechamiento o disposición final apropiadas.

La localidad de Sumapaz pertenece al Distrito Capital por acto administrativo, *Acuerdo 9 de 1986* el cual adhirió política administrativamente este territorio a Bogotá, actualmente cuenta con 1796 habitantes (ALS, 2022), los cuales tienen una producción per cápita de residuos sólidos de 0,169 $\frac{Kg}{hab*dia}$, donde en promedio el 12,42 % es material aprovechable (ALS, 2022). Es así como las personas de la Red de Discapacidad de la cuenca de Río Blanco decidieron impulsar un proyecto de asociación denominado "Verde Montaña" el cual está siendo acompañado por la Subred Integrada de Servicios de Salud del Sur de la Secretaría Distrital de Salud como parte de las acciones afirmativas que buscan generar estrategias de inclusión para las Personas con Discapacidad, además este proyecto de asociación cuenta con el apoyo del área de ambiente de la Alcaldía Local de Sumapaz, ya que les facilitan un punto de acopio de material aprovechable en la sede Betania, así como el transporte del material hasta el centro de acopio con los vehículos que administra el Fondo de Desarrollo Rural de Sumapaz.

El proyecto se encuentra en su etapa inicial, cuentan con redes institucionales de apoyo, así como con una alianza estratégica con la Asociación de recicladores *Reciclosocial*, la cual se encuentra formalizada y desarrolla sus actividades en la localidad de Usme de la ciudad de Bogotá, a ésta última es a la cual le venden el material recuperado.

El aporte del presente proyecto de grado consiste en dimensionar la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos. Lo anterior, partiendo de la recolección de datos sobre la composición y cantidad de residuos aprovechables, y el dimensionamiento de la estructura con base en el Decreto 2981 de 2013 y los lineamientos para la construcción de ECA's del Departamento Nacional de Planeación creados en el 2018.

3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de aprovechamiento de residuos sólidos en la localidad de Sumapaz ha generado que la asociación de Personas con Discapacidad Diversamente Hábiles identificará esta oportunidad de Gestión de Residuos Sólidos a través del proyecto de asociación *Verde Montaña* el cual está siendo orientado por la Secretaría Distrital de Salud en el proceso de formalización. Lo anterior con el fin de brindar alternativas de solución al manejo de los residuos sólidos y a su vez generar una fuente de ingreso económico para los asociados de dicha organización ciudadana que está conformada en su mayoría por Personas con Discapacidad.

El aprovechamiento es una actividad complementaria en las actividades reguladas por el PGIRS, por lo tanto, actualmente en la localidad de Sumapaz no se encuentra un espacio de aprovechamiento de residuos sólidos, lo cual impide que haya reincorporación en una economía circular generando un valor agregado a los residuos.

El dimensionamiento de una ECA permitirá definir una hoja de ruta para alcanzar los objetivos trazados por la asociación y con ello lograr la formalización de una actividad sustentable que permita la generación de empleo y el aprovechamiento de los residuos sólidos. A su vez el presente trabajo de grado permitirá dotar de capacidad técnica y

normativa a la asociación, generando un fortalecimiento de la propuesta en aras de un desarrollo sostenible de la misma.

Con el presente trabajo de grado se pretende incidir en la política local de gestión de residuos sólidos aprovechables, ya que por medio del respaldo de la asociación y la gestión a través de alianzas estratégicas con autoridades locales, se busca desarrollar un modelo de gestión integral de residuos sólidos con Enfoque Diferencial donde la asociación pueda adquirir planta y equipo para la transformación de material aprovechable y crear productos que puedan ser reincorporados en actividades económicas de la localidad, llevando así, a la práctica el modelo de economía circular y generando un impacto comunitario que permita cambiar el concepto de basura por el de materia prima.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El relleno sanitario Doña Juana ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar recibe en promedio 6753 $\frac{Toneladas}{dia}$ de residuos sólidos (DTS PGIRS Bogotá, 2021), los cuales en un 51,2 % son aprovechables o potencialmente aprovechables y objeto de reincorporación al ciclo productivo, sin embargo por varias razones, entre ellas la poca separación en la fuente, la carencia de Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos, y la poca realización de acciones afirmativas a la población de recicladores de oficio, provoca que estos residuos potencialmente aprovechables se dispongan sin poder generar una valorización y por el contrario aumentando la presión sobre el relleno sanitario Doña Juana y disminuyendo su vida útil.

Es por ello, que la falta de acciones estratégicas, acciones de Política Pública y el posible ausentismo o inobservancia de algunos sectores del Distrito provoca que existan barreras

para la transición hacia un modelo de economía circular en la gestión integral de Residuos Sólidos.

Con base en reportes de seguimiento a las acciones afirmativas dirigidas a la población recicladora, en Bogotá se tiene que existen 16674 recicladores de oficio (RURO, 2019). Adicional a ello es posible que existan poblaciones que desempeñen actividades de reciclaje y que de acuerdo con los criterios del decreto 596 de 2016 no sean reconocidas ya que no cumplen con los requisitos necesarios para que la ley los reconozca.

En este sentido si bien la poca capacidad de gestión de residuos sólidos y aprovechamiento como lo define el CONPES 3874 de 2016 es una limitante, también existe una limitada infraestructura en la que se pueda hacer el proceso de clasificación y aprovechamiento, de tal modo que para el año 2020 la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) reportó que en Bogotá existían 580 Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento las cuales reincorporan al ciclo productivo un total de 1’051,112 $\frac{toneladas}{año}$ (SUI, 2020); es decir; un 42,54% de los residuos que se disponen al año en el relleno Sanitario Doña Juana.

Con base en lo anterior se puede corroborar que la sola separación en la fuente no es suficiente, ya que existe una discreta cantidad de ECA’s en Bogotá y esto crea una carencia de infraestructura adecuada para tratar los Residuos Sólidos aprovechables o potencialmente aprovechables.

Otra de las carencias que dificulta la adecuada Gestión de Residuos Sólidos Aprovechables es la inexistencia de esquemas regionales, diferenciales y flexibles que se realicen a partir de la heterogeneidad del país, caso tal en la realización del presente trabajo de grado, ya que los lineamientos de diseño de ECAS’s, el decreto 596 de 2016 y el decreto reglamentario 2981

de 2013 están contemplados para zonas urbanas donde se encuentran grandes generadores de residuos sólidos, dando estándares de diseño que no aplican para las realidades del contexto rural disperso y borrando jurídicamente el reconocimiento legal de la población recicladora de oficio que existe en la ruralidad.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- Dimensionar una Estación de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dimensionar los elementos que componen la ECA

Determinar el costo estimado de inversión por medio de un Análisis de Precios Unitarios

Elaborar un manual de operación y mantenimiento de la ECA

6. MARCO TEÓRICO

La producción per cápita de residuos sólidos es una variable que depende del tamaño de la población y sus características socio económicas, dicho parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo, siendo la expresión de la unidad en $\frac{Kg}{hab*dia}$, dicho valor se determina de manera experimental. La caracterización física de residuos sólidos permite establecer los parámetros adecuados para una correcta gestión de éstos, esto permite a su vez lograr un adecuado diseño de los equipos necesarios para la gestión de los residuos sólidos, ésta identificación consiste en determinar con exactitud las cantidades y características de los distintos tipos de materiales que conforman los residuos sólidos, a lo anterior se le denomina "cuarteo".

La generación de residuos ha estado ligada desde el principio de la humanidad. Los problemas derivados del manejo o disposición de los residuos sólidos surgen a partir de la concentración de seres humanos en pueblos o ciudades, generando así mayores cantidades de residuos y ocasionando una mayor presión ambiental sobre los ecosistemas y la salud pública. El decreto 4741 de 2005 establece que un residuo o desecho "es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos", por su parte el CONPES 3874 de 2016 establece que un residuo sólido "es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte del césped y poda de árboles", el aprovechamiento se define como "la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación o pesaje por parte de la persona prestadora" y la valorización de acuerdo al CONPES 3874 de 2016 es definida como " la operación a través de la cual los residuos sólidos son separados para cumplir una finalidad, de tal forma que puedan ser utilizados como sustitutos de otros materiales o fuentes de energía que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función en la misma instalación o en la economía en general"

Con relación a la gestión de residuos existen diferentes tipos de tecnologías que pueden ser aplicadas, entre ellas se encuentran las tecnologías que son empleadas en el tratamiento de

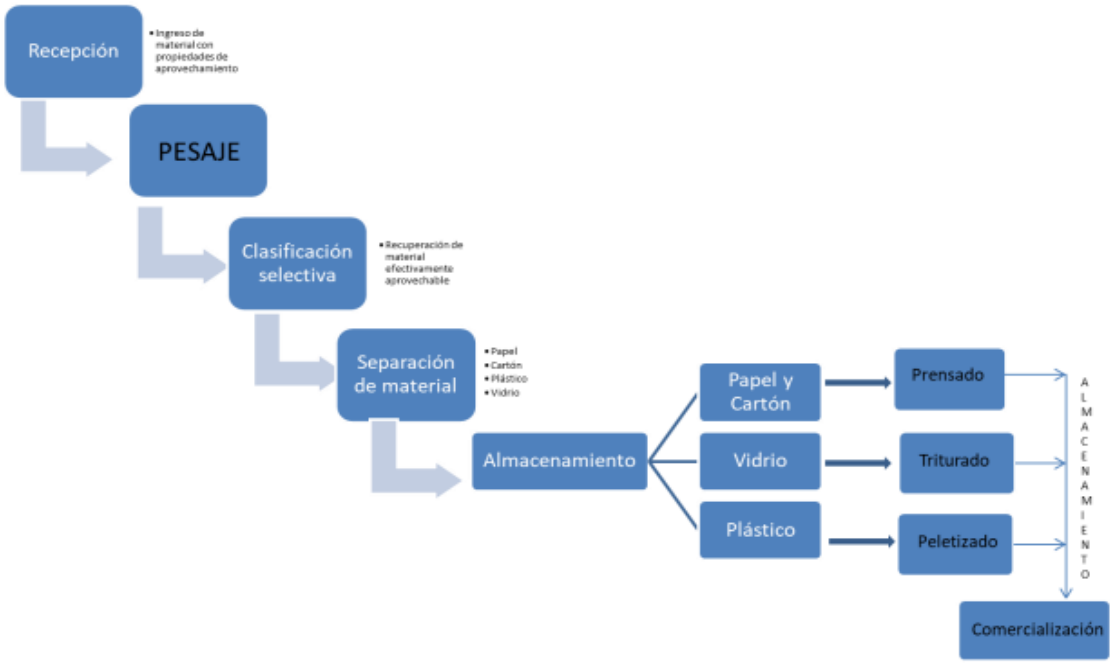
los residuos sólidos, tecnologías de procesamiento, tecnologías de transformación, tecnologías de recuperación de materiales y tecnologías de eliminación final a vertederos. Para el presente trabajo de grado el dimensionamiento consiste en una tecnología de procesamiento donde se incluye la operación de separación y reducción del volumen de los residuos sólidos.

Es así como el decreto 2981 de 2013 define que una Estación de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos, es una instalación técnicamente diseñada con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuentan con las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

Las ECA's juegan un papel importante como mecanismo de incorporación de la población recicladora/recuperadora informal a la cadena productiva, que a su vez atiende la pérdida por reincorporación de material previamente recuperado a los rellenos sanitarios. De las infraestructuras que se pueden utilizar, una ECA resulta ser de las más sencillas y económicas, es un muy buen primer paso para la aplicación del marco de manejo integrado y sostenible de residuos. (Guzmán, 2019)

Las ECA deben cumplir con una serie de áreas de operación con base en lo reglamentado por el decreto 2981 de 2013, así:

Imagen 1. Áreas de operación ECA decreto 2981/2013



Fuente. DNP, 2018, pag 27.

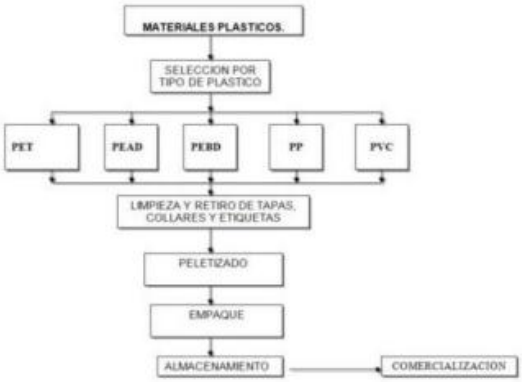
Así mismo, el decreto 596 de 2016 establece que una ECA debe contar con los siguientes requerimientos mínimos:

1. Contar con el uso del suelo compatible para la actividad
2. Contar con una zona operativa y de almacenamiento de materiales, cubierta y con cerramiento físico con el fin de prevenir o mitigar los impactos sobre el área de influencia.
3. Contar con el respectivo diagrama de flujo del proceso incluidos la recepción, pesaje y registro.
4. Contar con medidas de seguridad industrial.

5. Contar con áreas para: administración, recepción, pesaje, selección y clasificación, almacenamiento temporal de materiales aprovechables, almacenamiento temporal para materiales de rechazo.
6. Contar con instrumentos de pesaje debidamente calibrados de acuerdo con el Decreto 1074 de 2015.
7. Contar con un sistema de control de emisión de olores.
8. Contar con un sistema de prevención y control de incendios.
9. Contar con un sistema de drenaje para las aguas lluvia y escorrentía.
10. Contar con un sistema de recolección y tratamiento de lixiviados cuando sea el caso.
11. Contar con pisos rígidos y paredes que permitan aseo, desinfección y mantenimiento mediante lavado.
12. Estar vinculado al servicio público de aseo como usuario, para efectos de la prestación y entrega de rechazos con destino a disposición final.

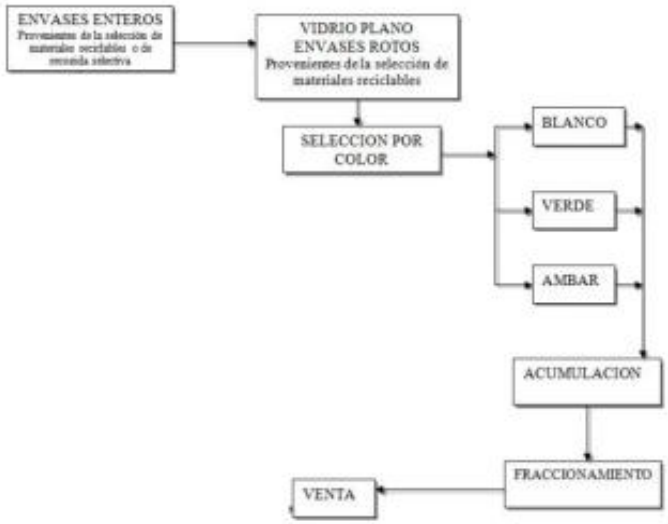
Así mismo, para los lineamientos del funcionamiento de las ECA el DNP recomienda las siguientes operaciones de acuerdo al tipo de residuo recolectado:

Imagen 2. Operación para el tratamiento de plásticos



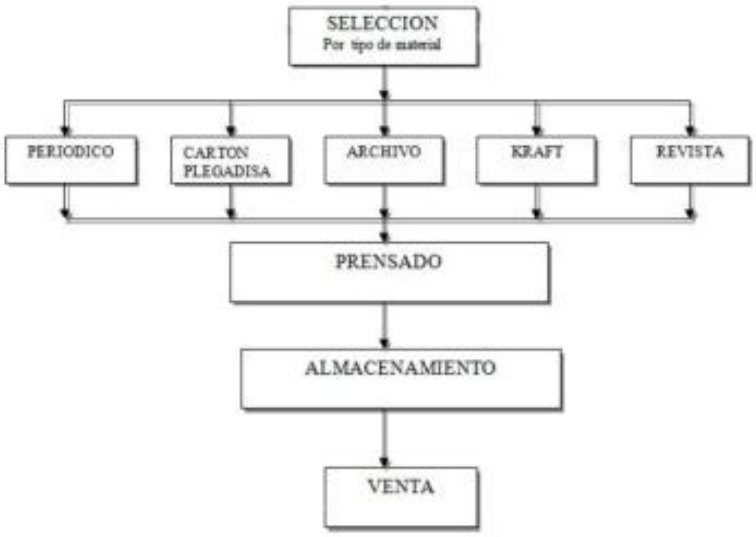
Fuente: DNP, 2018.

Imagen 3. Operación para el tratamiento de vidrio



Fuente: DNP, 2018.

Imagen 4. Operación para el tratamiento de papel/cartón



Fuente: DNP, 2018.

Los residuos sólidos aprovechables están constituidos por diferentes materiales, los cuales se clasifican en 5 grandes categorías; papel, plástico, metal, vidrio y orgánicos, los cuales a su vez son potencialmente aprovechables y se pueden reincorporar al ciclo productivo aplicando tecnologías de procesamiento, transformación o recuperación.

De acuerdo a (Quintana, 2011) los residuos sólidos aprovechables más comunes son el metal que se encuentra como materia prima de latas de cerveza, cobre, plomo, latas de hojalata y algunas bebidas. También se puede encontrar el papel, papel periódico, cartón, archivo y sus categorías que se encuentran en periódicos, material escolar, material de oficina y archivo, y mezclas de papel limpio en general. Otra categoría importante son los plásticos, existen al menos 7 categorías de plásticos aprovechables que varían de acuerdo al nivel de procesamiento para reincorporar al ciclo productivo como materia prima, algunas fuentes comunes de este tipo de material aprovechable son los residuos de envases de bebidas gaseosas, tuberías, tarjetas de crédito, utensilios de cocina, juguetes, discos compactos, entre otros. Seguido de ello se encuentra la categoría del vidrio, la composición de este material aprovechable proviene de envases de vidrio blanco, verde y ámbar, en ninguno de los casos se puede aprovechar material compuesto de cristal o sus similares. Finalmente se encuentra la categoría de residuos orgánicos, éstos provienen principalmente de actividades de consumo de alimentos, de acuerdo a la UAESP, en Bogotá se desperdician 1228000 toneladas de alimentos al año, lo cual equivale al 12,58% de la comida que se pierde al año en Colombia (UAESP, 2022).

El consumo irracional y la disposición de residuos sólidos aprovechables en rellenos sanitarios lo cual es una práctica insostenible desde el punto de vista ambiental y económico, es característica del modelo de economía lineal que ve en los residuos sólidos un desecho o

material carente de valor, esta práctica afecta la disponibilidad de recursos naturales, así como la mala gestión de energía y mano de obra asociada a la producción de cada material, objeto o sustancia.

Por su parte cada material aprovechable está sujeto a la valorización por medio de tecnologías de transformación, lo cual puede generar materias primas similares a su estado original o materiales derivados. En el caso del papel es una materia prima que puede permitir la elaboración de nuevo papel con características similares y esto genera que la dependencia de la madera sea menor, y el impacto sobre los bosques o la calidad del suelo disminuya. En el caso del plástico se tiene que por ser un material derivado del petróleo, su valor de uso ha aumentado partiendo de la escasez de este recurso no renovable, es así como cada vez se hace más necesario reincorporar esta materia prima al mercado, para la clasificación y aprovechamiento del plástico se debe hacer con base en el tipo de resina con la que se fabricaron, cada grupo de plástico está identificado con un código en forma de flecha triangular que indica el sub grupo en el cual se encuentra el plástico que puede ser aprovechado.

En cuanto al dimensionamiento de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos para la determinación de las propiedades físicas se debe estimar la densidad, la humedad, el tamaño de la partícula, la comprensibilidad y la permeabilidad. La densidad es el peso de cualquier material por unidad de volumen ($\frac{kg}{m^3}$). Este valor permite determinar con precisión la capacidad de los equipos de recolección y almacenamiento de residuos. La densidad depende de la compactación, la localización geográfica, el clima, los componentes y el tiempo de almacenamiento.

El tamaño de los compuestos de los Residuos Sólidos Aprovechables es determinante en los procesos mecánicos y físicos de recuperación, ya que con base en las características de cada compuesto se realiza el dimensionamiento de la planta y equipo necesario para la recuperación de material aprovechable.

Finalmente, existen patrones de generación de residuos sólidos los cuales son determinantes a la hora del tipo de residuos que llegan a los puntos de clasificación y aprovechamiento, tal caso se ilustra en la (imagen 5)

Imagen 5. Principales factores que influyen en la composición de Residuos Sólidos Aprovechables

Factores		**Influencia**
General	**Especifico**	
Clima	Lluvia	Aumenta el contenido de humedad
Épocas especiales	Navidad / Año nuevo	Aumento de embalajes (Papel, Cartón, Plástico, Metal) Aumento de materia orgánica Aumento de envases de bebidas (latas, botellas de vidrio, Tetrapack)
	Vacaciones escolares	Disminución de población en áreas de ciudades no turísticas Aumento de población en lugares turísticos
	Otras festividades	Aumento de envases de bebidas (latas, botellas de vidrio, Tetrapack)
Demografía	Población Urbana	A mayor población, mayor es la generación per capital
Socioeconómico	Poder adquisitivo	Más alto el poder adquisitivo de la población, la proporción de materia reciclable es más alta y la de orgánica más baja
	Poder adquisitivo (mensual)	Mayor consumo de productos superfluos en fechas cercanas al pago de sueldo
	Poder adquisitivo (semanal)	Mayor consumo de productos superfluos durante el fines de semana
	Desarrollo tecnológico	Materiales más livianos que reducen el peso específico aparentemente de residuos
	Fomento de establecimientos comerciales	Aumento de embalajes

Fuente. Ormaza, 2015.

7. METODOLOGÍA

La metodología de investigación que se va a aplicar es cuantitativa la cual consiste en obtener datos cuantitativos o medibles que permiten la recopilación de información con mediciones de variables para establecer un comportamiento o plantear una hipótesis de investigación. Para ello se requiere seguir una serie de fases, lo primero es realizar una fase conceptual en la cual se formula y delimita el problema de investigación, luego se realizará la fase de planeación y diseño, posteriormente se realiza la fase de recolección de datos, seguido de ello se realiza la fase de análisis e interpretación de datos. En este sentido, la metodología de investigación de tipo cuantitativa se caracteriza por ser un proceso sistemático y ordenado el cual se lleva a cabo siguiendo unos pasos determinados.

7.1. FASE CONCEPTUAL

En esta primera fase se realizará una etapa de documentación sobre lo relacionado con la actividad de aprovechamiento, en la cual se hará lectura del marco legal vigente de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, así como de documentos guía que permitan orientar la realización del trabajo de grado buscando la mayor eficiencia en la gestión de la información de acuerdo con la población objeto que hace parte de la asociación Verde Montaña.

Así mismo se realizará un encuentro con los integrantes de la asociación para conocer de cerca la arquitectura del proyecto Verde Montaña y diagnosticar las necesidades de acompañamiento que requiera esta Red de Personas con Discapacidad, se hará una conceptualización sobre los ejes temáticos, los resultados esperados y los procesos de fortalecimiento involucrados en el proyecto de la asociación.

7.2. FASE DE PLANEACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

La fase número 2 consiste en la planeación de la recolección de la información y dimensionamiento de la Estación de Clasificación y Aprovechamiento en adelante ECA. En la planeación se contemplan las actividades de caracterización de los Residuos Sólidos dispuestos en el centro de acopio, así como el dimensionamiento de la ECA a partir de los análisis de resultados, y con base en ello plantear las tecnologías adecuadas para la clasificación de los residuos sólidos aprovechables. Lo anterior teniendo en cuenta los requisitos mínimos que debe tener una ECA según el artículo 87 del decreto 2981 de 2013, en específico lo que contempla el numeral 5 en cuanto a las áreas de operación.

Para alcanzar la fase número 2 es necesario realizar la caracterización cuantitativa de los Residuos Sólidos Aprovechables que se acopian en la vereda Betania de la cuenca Río Blanco de la Localidad de Sumapaz, en este sentido se debe realizar una caracterización discriminando por tipo de residuo aprovechable y peso, para ello se tomarán los datos reportados por el centro de acopio de material aprovechable al cual la asociación le vende el material recuperado, y con base en ello determinar la composición del material aprovechable que se recupera de los residuos de la localidad de Sumapaz. A partir de dicha información se hará el dimensionamiento de la ECA.

7.3. FASE DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la fase de recolección de datos se hará lo previsto en la planeación acordada con la asociación, en este sentido se tiene que la actividad de clasificación de Residuos Sólidos se realiza el último martes de cada mes, fecha en la cual los Residuos Sólidos Aprovechables se disponen en el centro de acopio. En esta fase se hará la recolección de información a través

de datos cuantitativos que permitan dimensionar las necesidades de operación que requiere el espacio con base en la cantidad y tipo de residuos sólidos aprovechables que reciben.

Dicha actividad se realizará una vez al mes durante 4 meses, tiempo en el cual se podrá contar con información confiable que arrojé datos tales como: Promedio (kg) de residuos aprovechables dispuestos en el centro de acopio, porcentaje promedio de plástico, porcentaje promedio de vidrio, porcentaje promedio de cartón, porcentaje promedio de plástico.

Al final se contará con un cuadro resumen de información tabulada que permitirá dimensionar la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de acuerdo con la cantidad de Residuos Sólidos Aprovechables teniendo en cuenta la proyección de generación de residuos sólidos aprovechables y la vida útil de la ECA.

8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

8.1.DIMENSIONAR LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ECA

De acuerdo al artículo 6 del decreto 596 de 2016 y el Decreto único reglamentario 1077 de 2015 del sector Vivienda, Ciudad y Territorio las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) deben contar con las áreas de operación:

- Administración
- Recepción
- Pesaje
- Selección y clasificación
- Procesos para materiales aprovechables
- Procesos para materiales de rápida biodegradación

Con base en los reportes de PROMOAMBIENTAL (DTS, 2020 pág 207) y el reporte dado por Alcaldía Local de Sumapaz se registra que el promedio mensual de Residuos Sólidos es de 10,24 toneladas de las cuales aproximadamente 1,23 toneladas corresponden a residuos sólidos aprovechables.

En contraste con la información suministrada por la asociación Verde Montaña con base en el material recuperado se tiene que es de 1,104 $\frac{Toneladas}{mes}$ distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 1. Cantidad de Material Aprovechable al mes

Material	Cantidad $\frac{Kg}{mes}$
Papel y cartón	245
Vidrio	712
Metales	32
Plástico	115
Total	1104

Fuente. Asociación Verde Montaña.

La población de la localidad de Sumapaz es de 1796 habitantes (ALS, 2022) los cuales tienen un índice de generación per cápita de 0,021 $\frac{Kg}{hab*dia}$, estos registros sirven para el diseño y selección de los equipos necesarios para el dimensionamiento de la ECA.

Tabla 2. Porcentaje por tipo de material aprovechable recuperado

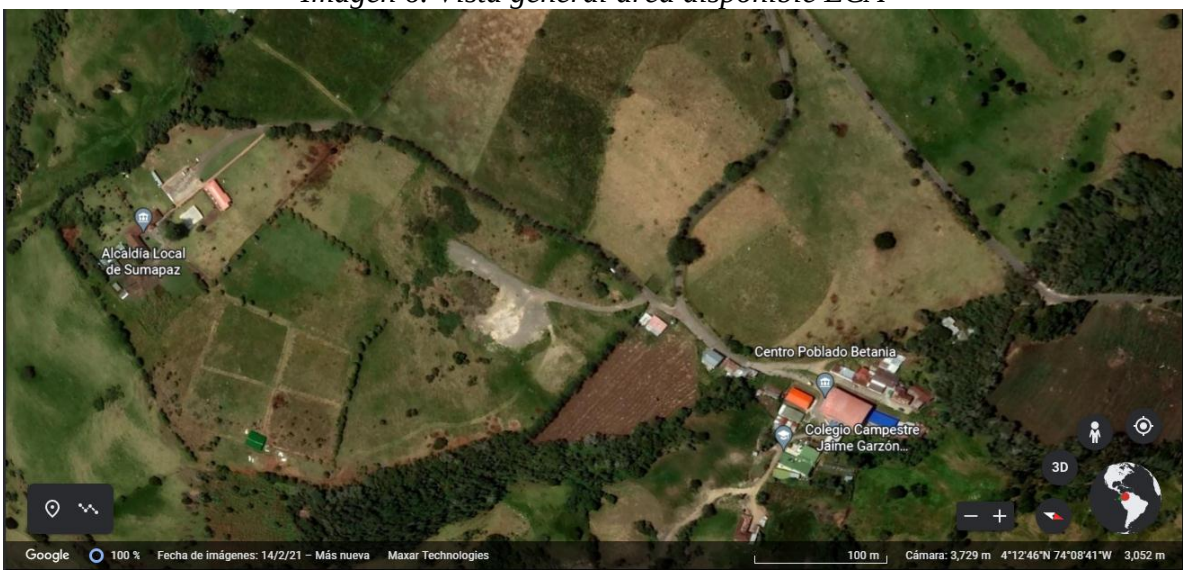
Material	Porcentaje (%)
Papel y cartón	22,19
Orgánicos	-
Madera	-

Vidrio	64,49
Metales	2,89
Plástico	10,41
Total	99,98

Fuente. Elaboración propia

- No se presentan porcentajes significativos de generación de residuos orgánicos ya que de acuerdo al análisis realizado en campo se pudo evidenciar que por hábitos culturales la población rural utiliza estos residuos como suplementos alimenticios para animales de finca. Así mismo no se evidencia porcentaje de madera ya que por el contexto rural es común que la biomasa sea utilizada como fuente de energía para la combustión en la cocción de alimentos.

Imagen 6. Vista general área disponible ECA



Coordenadas. 4°12’56’’ N 74°08’45’’ W
Fuente. Google Earth Pro

Imagen 7. Área disponible para construcción ECA



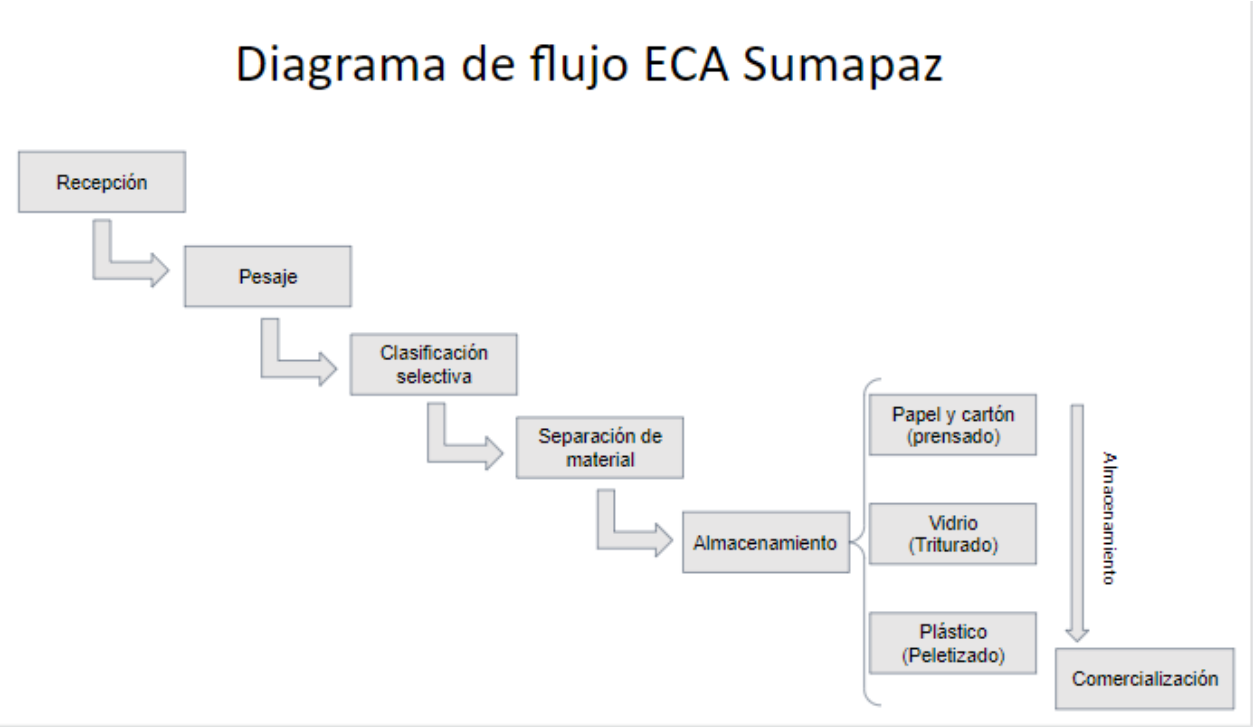
Coordenadas. 4°12’58’’ N 74°08’46’’ W
Fuente. Google Earth Pro

Imagen 8. Área disponible ECA - Lineamiento DNP



Fuente. Google Earth Pro

Imagen 9. Diagrama de flujo del proceso



Fuente. Elaboración propia

El flujograma permite ilustrar el recorrido que deben realizar los residuos para ser tratados, con base en la tabla 2 se puede obtener que el porcentaje de materiales potencialmente aprovechables es del 12,01 %, lo cual indica que de las 10,24 toneladas generadas al mes alrededor de 1,23 toneladas son trasladadas a la Estación de Clasificación y Aprovechamiento.

El dimensionamiento de la ECA contempla una tolva de recepción, seguido de un tromel separador (tamiz) y luego de ello pasa a una bandeja de clasificación manual, donde se realiza la clasificación de los residuos sólidos aprovechables.

Zona de recepción (Tolva de recepción)

Dimensionamiento del área de recepción

Cantidad de RSA descargados en 1 mes: 1,23 $toneladas$

Altura promedio de las bolsas: 40 cm

Densidad promedio de los RSA: 205 $\frac{Kg}{m^3}$

La forma del área de descarga es en V con la punta en dirección hacia la planta de reciclaje

Una inclinación del 2% para facilitar la manipulación de los residuos

Profundidad de 1 metro para inhibir la generación de aguas lixiviadas o malos olores.

Ya que el área de recepción recibe alrededor de 1.23 $\frac{ton}{mes}$ con una densidad aproximada de 205 $\frac{Kg}{m^3}$, el volumen V ocupado por esa cantidad se calcula a partir de:

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ [1]}$$

Reemplazando se tiene que

$$205\ \frac{Kg}{m^3} = 1230\ \frac{Kg}{v}$$

$$V = \frac{1230\ kg}{205\ \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 6\ m^3$$

Se muestra una tolva de recepción para un volumen de 6 m^3

Con base en el cálculo se realiza el siguiente dimensionamiento:

Imagen 10. Esquema genérico de una tolva de recepción



Fuente. Imágenes Google

La tolva de recepción permite que los vehículos recolectores realicen el descargue de una manera adecuada y segura. Posterior a ello se realiza el dimensionamiento del tamiz separador.

Tamiz separador

Existen técnicas de separación mecánica de sustancias sólidas, las cuales aplican para mezclas heterogéneas, dichas técnicas se basan en las propiedades físicas de las partículas tales como el tamaño, la forma y la densidad. Dos métodos comunes son: El uso de una criba, separador o membrana porosa que retiene un componente y permite que pase el otro, también existe la utilización de diferencia en velocidades de sedimentación cuando las partículas se mueven a través de un gas o un líquido (*SINNOTT RAY,* 2012).

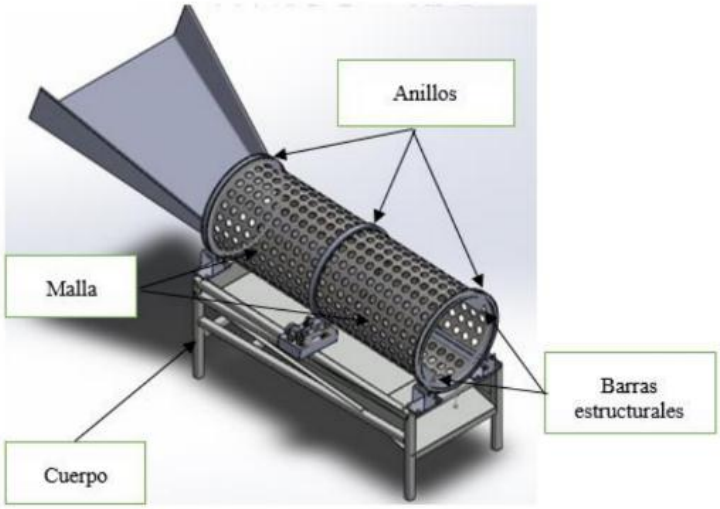
El tamizado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas. En el tamizado industrial, los sólidos se colocan sobre la superficie del tamiz. Las partículas de menor tamaño, *o finos*, pasan a través de las aberturas del tamiz mientras

que las de mayor tamaño, *o colas*, no pasan. Un solo tamiz puede realizar una separación en dos fracciones. Se les llama fracciones no clasificadas, ya que aunque se conozca el límite superior o inferior de los tamaños de partícula de cada una de las fracciones, no se conoce el otro límite. El material que se hace pasar a través de una serie de tamices de diferentes tamaños que se separan en fracciones clasificadas por tamaños, es decir; fracciones cuyas partículas se conocen por su tamaño máximo y mínimo (*SINNOTT RAY*, 2012).

En la (imagen 11) se ilustra un tamiz separador con sus diferentes partes, con el fin de facilitar su comprensión a medida que se calcula sus diferentes componentes.

Para el dimensionamiento es necesario contar con la tasa de ya que facilita determinar el diámetro y la velocidad de operación.

Imagen 11. Esquema general de un tamiz



Fuente. Ormaza, 2015.

Tasa de carga

La tasa de carga de la ECA se calcula con:

La variable se determina en toneladas/mes debido a la particularidad del manejo de la recepción de Residuos Sólidos Aprovechables que tiene la asociación.

$$Tasa\ de\ carga, \frac{t}{h} = \frac{Numero\ de \frac{t}{año}\ o\ (\frac{t}{d})}{1.820\ \frac{h}{año}\ u\ (\frac{h}{d}) de\ procesamiento} [2]$$

Los operarios que se encuentran en la zona de clasificación deben destinar tiempo para la separación manual por tipo de residuos, así como pesarlos, prensarlos y almacenarlos. Lo anterior, luego de haber separado por grupos en la bandeja de clasificación. A razón de esto, el tiempo de trabajo en la bandeja de clasificación y el tamiz debe ser aproximadamente de 2 horas.

Lo anterior significa que las 1,23 toneladas de residuos deben ser procesadas en 2 horas, reemplazando estos datos en la ecuación [2] se tiene que:

$$Tasa\ de\ carga, \frac{t}{m} = \frac{1{,}23\ \frac{ton}{mes}}{2\ \frac{horas}{mes}}$$

$$Tasa\ de\ carga, \frac{ton}{mes} = 0{,}615\ \frac{t}{mes}$$

La tasa de carga se debe incrementar entre un 10% y 15% para tomar en cuenta los tiempos muertos, partiendo de la hipótesis anterior se tiene que:

$$Tasa\ de\ carga, \frac{ton}{mes} = 0{,}615\ \frac{ton}{mes} + 15\% = 0{,}707\ \frac{ton}{mes}$$

La tasa de carga es el flujo másico de los Residuos Sólidos que ingresarán al tamiz, el flujo másico para el dimensionamiento es:

$$Q_t = 0{,}707\ \frac{ton}{mes} = 2{,}727 * 10^{-4}\ \frac{Kg}{seg}$$

Diámetro interno del tamiz

El diámetro se establece con la siguiente relación

$$D_{teórico} = [\frac{11{,}36 * Q_t}{d_b * F * K_v * g^{0{,}5} * tan_{\propto}}]^{-\ 0{,}4}\ [3]$$

La ecuación [3] permite determinar el diámetro interno del tamiz, donde se ingresa el peso específico de los residuos que es igual a 205 $\frac{Kg}{m^3}$. Se asigna un ángulo de inclinación del 3º para facilitar la separación, así como se emplea un factor de relleno del tamiz de 0,33.

K_v = 1,35 factor de corrección de velocidad que depende del ángulo de inclinación

Reemplazando los valores se tienes que:

$$D_{teórico} = [\frac{11{,}36 * (2{,}727 * 10^{-4})}{205 * 0{,}33 * 1{,}35 * 9{,}81^{0{,}5} * \tan(3)}]^{-\ 0{,}4}$$

$$D_{teórico} = 0{,}033\ m$$

Se asume un diámetro, teniendo en cuenta las condiciones comerciales.

El diámetro que se usará para el dimensionamiento del tamiz es de **1 metro**, debido a las siguientes consideraciones:

- A menor diámetro mayor longitud, lo cual aumenta los costos de fabricación
- A menor diámetro existe mayor velocidad de rotación del tamiz lo cual puede generar vibraciones en la estructura y disminuir la eficiencia del cribado.

Velocidad de rotación

La velocidad de rotación se determina con la ecuación, en la cual se ingresa en el radio de diseño que es 0,5 m, reemplazando el valor se tiene que:

$$n_c = \frac{1}{2*\pi} * \sqrt{\frac{g}{r}} \text{ [4]}$$

$$n_c = \frac{1}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{9{,}81\ \frac{m}{seg^2}}{0{,}5}} = 0{,}7 \text{ RPS} = \ 42 \text{ RPM}$$

La velocidad óptima se produce cuando los materiales se voltean en un movimiento, esto es cuando los residuos sólidos se conducen parcialmente por la pared interior del tambor para luego caer sobre sí mismos. Para un tamiz con elevadores la velocidad de rotación debería ser el 50% de la velocidad crítica. Con base a esto se obtiene la siguiente velocidad óptima de rotación:

$$w_{op} = 0{,}5 * n_c \text{ [5]}$$

$$w_{op} = 0{,}5 * \ 42\ rpm$$

$$w_{op} = 21\ rpm$$

Cálculo del peso de los Residuos depositados en el tamiz

Las separaciones por cribado casi nunca son perfectas. Existen algunas partículas de tamaño inferior que generalmente quedan en el material retenido de una determinada criba y a veces las partículas de mayor tamaño se escapan a través de la criba hasta mezclarse con las de tamaño inferior. Una medida del grado de efectividad de la separación está dada por la eficiencia de la criba, para la que se han propuesto varias fórmulas, sin embargo nunca se ha establecido un método uniforme de cálculo para la eficiencia global. *(SINNOT RAY, 2012)*

Para calcular el peso de los residuos en el tamiz se emplea la ecuación en donde se toma el factor de relleno f de 0,33.

$$W_{rsu} = d_b * g * F * V \text{ [6]}$$

Donde W_{RS} es el peso de los residuos depositados a lo largo del tamiz, d_b es la densidad de los residuos 205 $\frac{Kg}{m^3}$, g es la aceleración de la gravedad igual a 9,81 $\frac{m}{seg^2}$, F es el factor de relleno ya que el tamiz se asume no será lleno en su totalidad. Por último se tiene que V es el volumen del tamiz $V = \pi * r^2 * l$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene que:

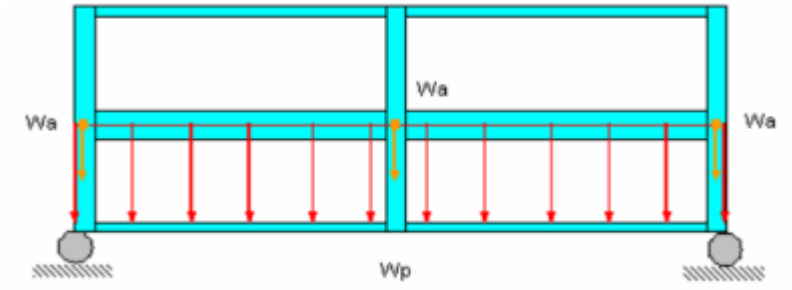
$$W_{rs} = 205\ \frac{Kg}{m^3} * 9{,}81 \frac{m}{seg^2} * 0{,}33 * \pi * 0{,}5^2 m * 3\ m$$

$$W_{rs} = 1563{,}68\ N$$

Cálculo de las barras longitudinales

Para el dimensionamiento de las barras longitudinales se asume que el soporte del tamiz funciona como una barra apoyada en sus extremos.

Imagen 12. Fuerzas que actúan sobre el tamiz



Fuente. Ormaza, 2015.

En el gráfico se aprecia una carga distribuida que está compuesta por el peso de la malla, las barras longitudinales y el peso de los residuos sólidos, lo anterior cuando el tamiz está cargado.

Éste gráfico cuenta con las cargas puntuales del peso de los anillos, para el dimensionamiento de las barras se asume un perfil inicialmente, lo anterior con el fin de determinar el peso y posteriormente validar si el perfil es el adecuado para el dimensionamiento.

Para seleccionar el perfil adecuado se toma en cuenta la función de las barras las cuales sirven también como elevadores. A partir de esta doble función, el perfil comercial asumido es de (W_t $5 * 6$) el peso por unidad longitud del perfil es de 87,59 $\frac{N}{m}$, para una longitud de las barras de 3 m, se tiene un peso total por barra de $W_b = 262{,}78\ N$

El peso de la malla es calculado posteriormente con el fin de seleccionar el perfil adecuado de las barras, toda vez que es necesario conocer esta magnitud para poder determinar la carga que actúa. Se asume que la malla tiene una magnitud de $W_m = 444{,}3\ N$

Con las magnitudes $W_b, W_m\ y\ W_p$ se puede estimar la magnitud de la carga a través de:

$$W_p = W_{rsm} + 4 * W_b + W_m \text{ [7]}$$

Donde W_p es el peso total de la carga distribuida que resiste el tamiz, W_b corresponde al peso de las barras y W_m al peso de la malla. Reemplazando los valores en la ecuación [7]

$$W_p = 1563{,}68\ N + 4 * 262{,}78\ N + 444{,}3\ N$$

$$W_p = 3059{,}1\ N$$

Los anillos generan cargas puntuales debido al peso, razón por la cual se calculan posteriormente, se asume una magnitud de $W_a = 331{,}9\ N$

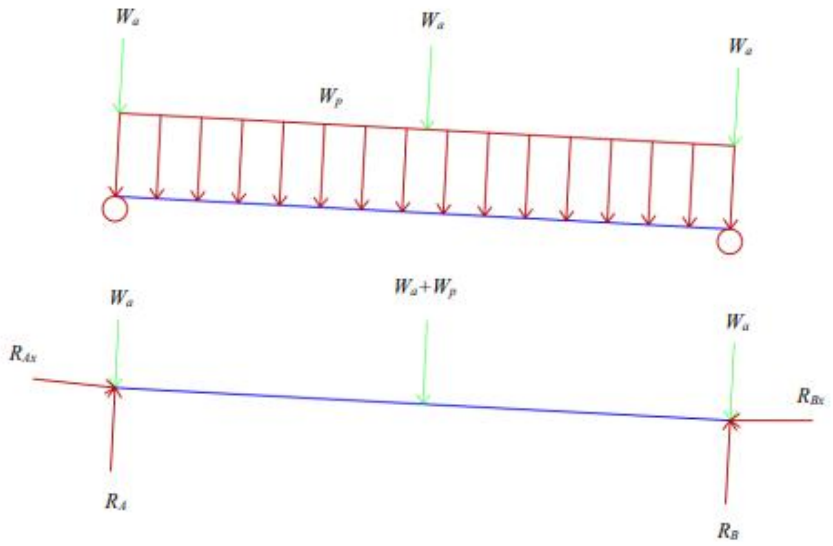
Diagramas de fuerza cortante y momento flector producido por las cargas

En la (imagen 13) se presenta el diagrama de cuerpo libre para las cargas que actúan sobre el cuerpo de la criba que tiene una inclinación asignada de 3°, la cual a su vez origina fuerzas en la componente vertical y horizontal.

Para el cálculo de las fuerzas se emplean los siguientes procedimientos:

$$\sum F_y = 0$$
$$\sum M_A = 0$$

Imagen 13. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la criba



Fuente. Ormaza, 2015.

$$\sum F_y = -2\cos a\, W_a - \cos a\,(W_a + W_p) + R_A + R_B = 0 \text{ [8]}$$

Donde:

$$a = 3°$$

$$W_a = 331{,}9\ N$$

$$W_p = 3059{,}1\ N$$

$$R_A = ?$$

$$R_B = ?$$

$$\sum F_y = -2\cos(3) * 331{,}9N - \cos(3) * (331{,}9\ N + 3059{,}1\ N) + R_A + R_B = 0$$

$$\sum F_y = -662{,}89 - 3386{,}35 + R_A + R_B = 0$$

$$\sum F_y = R_A + R_B = 4049{,}24\ N$$

Posteriormente se procede a resolver la ecuación empleando la sumatoria de cada momento desde la A:

$$\sum M_A = 1{,}5\ W_p + 1{,}5\ W_a + 3\ W_a - 3\ R_B = 0 \text{ [9]}$$

Donde:

$$W_a = 331{,}9\ N$$

$$W_p = 3059{,}1\ N$$

$$\sum M_A = 1{,}5 * 3059{,}1 + 1{,}5 * 331{,}9 + 3 * 331{,}9 - 3\ R_B = 0$$

$$3R_B = 6082{,}2 \text{ N}$$

$$R_B = \frac{6082{,}2\ N}{3}$$

$$R_B = 2027{,}4\ N$$

Finalmente se realiza el cálculo de la sumatoria de fuerzas R_A, donde:

$$\sum F_y = R_A + R_B = 4049{,}24\ N$$

$$R_B = 2027{,}4\ N$$

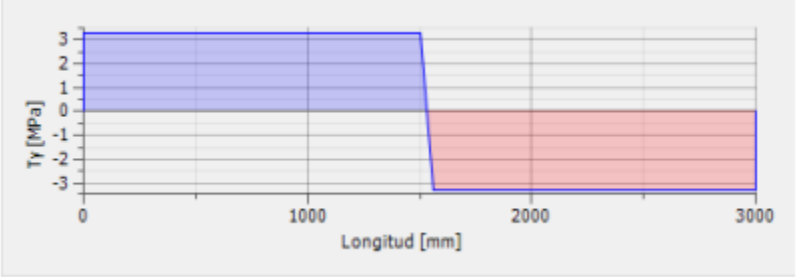
$$R_A = 4049{,}24\ N - 2027{,}4\ N$$

$$R_A = 2021.84\ N$$

El momento cortante T es:

$$T = 3{,}32\ Mpa$$

Imagen 14. Momento cortante T



Fuente. Ormaza, 2015.

El momento flector máximo M_{max} se calcula:

$$M_{max} = \frac{W*l}{4}\ [10]$$

Donde

$$W = 1563{,}68\ N$$

$$l = se\ asume\ de\ 8\ m$$

$$M_{max} = \frac{1563{,}68\ N * 8}{4\ m}$$

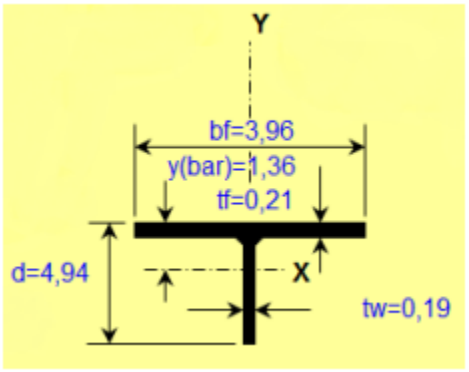
$$M_{max} = 3127{,}36\ Nm$$

Verificación del perfil de diseño

Para el perfil seleccionado se emplea el método de esfuerzo permisible para miembros de flexión. En éste método se debe revisar si el perfil de la viga es compacto o no.

A continuación se ilustra el perfil:

*Imagen 15. Medidas del perfil WT 5*6*



Fuente. Ormaza, 2015.

Para facilitar el cálculo se toman los datos de la siguiente tabla:

*Tabla 3. Medidas del perfil TW 5*6.*

Cota	Valor	Unidades
bf	*3,96*	*Pulg*
tf	*0,21*	*Pulg*
d	*4,94*	*Pulg*
tw	*0,19*	*Pulg*

Fuente: Norton, 2011.

Para un adecuado dimensionamiento se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\frac{b_f}{2*t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}} [11]$$

F_y es el límite del flujo de material. Para el acero es de $36000\ psi$ o $36\ ksi$

Posterior a ello se procede a reemplazar los valores de la (tabla 3) en la ecuación, así:

$$\frac{3{,}96}{2 * 0{,}21} \leq \frac{65}{\sqrt{36}}$$

$$9{,}42 \leq 10{,}83$$

El valor anterior cumple el criterio, razón por la cual el perfil es compacto.

De igual manera para que el (alma) del perfil sea compacta debe cumplir con la siguiente condición:

$$\frac{\boldsymbol{d}}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} [12]$$

Posteriormente se procede a reemplazar los valores de la (tabla 3), sumando el factor del límite de flujo del material, así:

$$\frac{4{,}94}{0{,}19} \leq \frac{640}{\sqrt{36}}$$

$$26 \leq 106{,}66$$

Con base en lo anterior se evidencia que es compacta ya que cumple el requisito, siempre y cuando el resultado sea menor a 106,66.

Seguido de ello se calcula si la barra debe tener o no un soporte lateral. Para el alma de perfil compacto, se emplea la ecuación [13] y si se cumple la relación, se dice que la barra tiene soporte lateral.

$$\boldsymbol{L_{real}} \leq \frac{76*br}{\sqrt{F_y}} \text{ [13]}$$

Con una longitud real de 3 m (L_{real}) de ($118\,pulg$) y un límite de flujo F_y de $36\,psi$, corresponde al acero estructural A_{36}, se reemplazan los valores y se obtiene:

$$B_R = 3{,}96$$

$$118 > 50{,}16$$

Lo anterior indica que no existe soporte lateral.

Seguido de ello se emplea la ecuación para calcular el esfuerzo máximo admisible F_y de la sección:

$$F_b = \frac{170*10^3*C_b}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2} \leq 0{,}6 * F_y \text{ [14]}$$

Donde:

$$C_b = constante.\, C_b = 1$$

$$R_T = radio\ de\ giro\ de\ la\ sección.\, R_T = 1{,}57 pulg$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$f_b = 39{,}12\ ksi = 269 * 10^6\ ksi$$

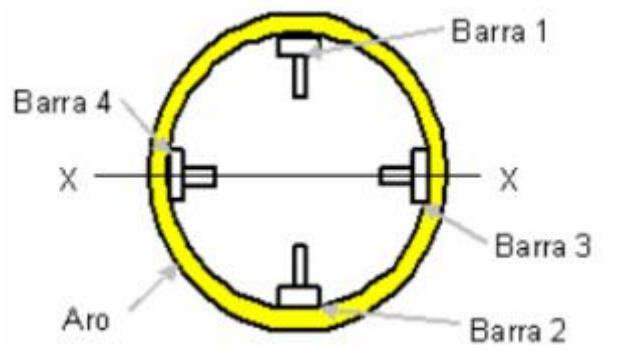
Teniendo f_b se puede determinar el módulo elástico de la sección x-x necesario para soportar la carga que exista sobre la barra, donde se puede aplicar la ecuación que relaciona la inercia total geométrica de las barras y la distancia del centro a la fibra más alejada.

$$S_{x-x} = \frac{I_T}{C} \text{ [15]}$$

Donde I_T es la inercia geométrica de las barras longitudinales con relación al eje x del tamiz y C es la distancia del centro a la fibra más alejada. ($C = 0{,}5\ m$)

Es necesario saber la inercia de las barras longitudinales con relación al $eje\ x$, lo anterior se esquematiza a continuación.

Imagen 16. Disposición de las barras dentro del anillo del tamiz



Fuente. Fuente. Ormaza, 2015.

La inercia total corresponde a la suma de la inercia de cada barra respecto al eje x - x.

Donde:

$$I_{barra1} = I_{barra2}$$

$$I_{barra3} = I_{barra4}$$

Razón por la cual;

$$I_t = 2 * I_{barra1} + 2 * I_{barra2}$$

Se aplica el teorema de ejes paralelos para determinar la inercia de la barra 1, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$I_{barra1} = I_{x-x} + A * d^2 \text{ [16]}$$

Donde:

$$I_{x-x} = Inercia\ del\ perfil\ respecto\ al\ eje\ x - x, m^4$$

$$A = \text{ área de la sección del perfil}, m^4$$

$$d = \text{ distancia del centro del conjunto al eje neutro}_{x-x} \text{ de la barra}, m * d = 0{,}46\ m$$

A partir de ello se calcula la inercia total:

$$I_t = 2 * I_{barra1} + 2 * I_{barra3} = 4 * 10^{-4}, m^4 [17]$$

Éste valor se asume con base en el dimensionamiento de proyectos similares.

Finalmente se puede determinar el módulo elástico de la sección x-x:

$$S_{x-x} = \frac{I_T}{C} [15]$$

Donde:
$I_T = 4 * 10^{-4}\ m^4$
C= 0,5 m

$$S_{x-x} = \frac{4 * 10^{-4}\ m^4}{0{,}5\ m}$$
$$S_{x-x} = 8 * 10^{-4}\ m^3$$

El esfuerzo real al que se somete el tamiz se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{real} = \frac{M_{max}}{S_{x-x}} [18]$$

Donde

$$M_{max} = 3127{,}36\ Nm$$
$$S_{x-x} = 8 * 10^{-4}\ m^3$$

$$\sigma_{real} = \frac{3127{,}36\ \text{Nm}}{8 * 10^{-4}\ m^3}$$

$$\sigma_{real} = 3{,}90 * 10^6\ Pa$$

El esfuerzo de la flexión admisible del material se calcula donde el límite de influencia del material A-36 es $F_y = 248{,}21 * 10^6\ Pa$.

$$\sigma_{adm_flexión} = 0{,}6 * F_y [19]$$

$$F_y = 0{,}6 * 248{,}21 * 10^6\ Pa$$

$$F_y = 148{,}92 * 10^6\ Pa$$

El factor de seguridad se calcula como:

$$F_S = \frac{\sigma_{adm_flexión}}{\sigma_{real}}\ [20]$$

$$F_S = \frac{148{,}92 * 10^6\ Pa}{3{,}90 * 10^6\ Pa}$$

$$F_S = 38{,}18$$

Con base en el dimensionamiento realizado se puede apreciar que el esfuerzo real es menor que el admisible, además se cuenta con un factor de seguridad alto lo cual significa que el larguero del perfil está dimensionado sin que se haya estimado el cálculo a la fatiga de las barras.

CÁLCULO A LA FATIGA DE LAS BARRAS LONGITUDINALES

En la realización de éste cálculo se aplica el procedimiento planteado por Norton en el análisis de teorías de fallas por fatiga. El cálculo de la fatiga de las barras consiste en la determinación del límite de la resistencia a la fatiga del perfil que haya sido seleccionado.

Para lo anterior es importante contar con datos sobre la potencia total necesaria para que el tamiz funcione correctamente P_{Total}, así como la geometría de los anillos del radio donde se hace la transmisión de la potencia R_0

$$P_{Total} = 579{,}11\ W$$

$$R_0 = 0{,}5\ m$$

Los datos son tomados de valores típicos de proyectos de Estaciones de Clasificación con características similares, donde se da lugar al cálculo de la fuerza cortante producida por el momento entregado por el motor, para ellos se aplica la relación entre el momento suministrado por el motor y el radio en el cual se realiza la transmisión de la potencia.

$$F_{c-total} = \frac{M_{motor}}{R_0} \text{ [21]}$$

Donde:

$F_{c-total} =$ fuerza cortante total producida por el momento aportado por motor, N

$M_{motor} =$ momento entregado por el motor, J.

$R_0 =$ radio donde se hace la transmisión de potencia, m.

El momento entregado por el motor se calcula con la expresión que relaciona el momento entregado por el motor y el radio donde se hace la transmisión de potencia.

$$M_{motor} = \frac{P_{total}}{w} \text{ [22]}$$

Donde:

$w =$ velocidad del tamiz, $\frac{rad}{seg}$

$$w = 0{,}7 \frac{rad}{seg}$$

Reemplazando valores en la ecuación [22] se tiene que:

$$M_{motor} = \frac{579{,}11\ w}{0{,}7 \frac{rad}{seg}}$$

$$M_{motor} = 827.3\ J$$

Posteriormente se procede a determinar la fuerza cortante total producida por el momento aportado por el motor, N.

$$F_{c-total} = \frac{827{,}3\ J}{0{,}51\ m}$$

$$F_{c-total} = 1622{,}15\ N$$

La fuerza anterior se distribuye en las cuatro barras longitudinales que conforman el tamiz, razón por la cual la fuerza que actúa sobre cada barra resulta de la división de la fuerza cortante total en las 4 barras, así:

$$F_{c-barra} = \frac{1622{,}15\ N}{4}$$

$$F_{c-barra} = 405{,}53\ N$$

Con dicha fuerza que se divide entre esta área transversal del perfil de la barra, se obtiene el esfuerzo cortante T_{xy} al que está sometida la barra.

$$T_{xy} = \frac{\text{Fc_Barra}}{\text{Área transversal}}\ [23]$$

Se asume un área transversal $1{,}141 * 10^{-3} m^2$

$$T_{xy} = \frac{405{,}53\ \text{N}}{1{,}141 * 10^{-3}\ m^2}$$

$$T_{xy} = 355416{,}30\ Pa$$

El esfuerzo por flexión calculado en la sesión anterior, es:

$$\sigma_{real} = 3{,}90 * 10^{6}\ Pa$$

El esfuerzo cortante máximo (t_{max}) se calcula con la ecuación:

$$t_{max} = \sqrt{(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2})^2 + t_{xy^2}}\ [24]$$

Donde:

$$\sigma_{real\ en\ x} = 3{,}90 * 10^{6}\ Pa$$

$$T_{xy} = 355416{,}30\ Pa$$

Reemplazando valores en la ecuación se tiene que sigma $y = 0$, se obtiene:

$$t_{max} = \sqrt{(\frac{3{,}90 * 10^{6}\ Pa}{2})^2 + 355416{,}30^{\,2}\ Pa}$$

$$t_{max} = 1{,}982 * 10^{6}\ Pa$$

Con las magnitudes de cada esfuerzo determinado, se procede a calcular cada esfuerzo

principal (σ_a, σ_b)donde se aplica la ecuación:

$$(\sigma_a, \sigma_b) = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm t_{max} \text{ [25]}$$

Se procede a calcular cada variable, así:

$$\sigma_a = \frac{3{,}90 * 10^6\ Pa}{2} + 1{,}982 * 10^6\ Pa$$

$$\sigma_a = 3{,}93 * 10^6\ Pa$$

$$\sigma_b = \frac{3{,}90 * 10^6\ Pa}{2} - 1{,}982 * 10^6\ Pa$$

$$\sigma_b = -0{,}032 * 10^6 Pa$$

Al realizar el cálculo de la magnitud de los esfuerzos principales se procede a determinar el esfuerzo efectivo de Von Mises (σ'), con la siguiente ecuación;

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_{a^2} - \sigma_a * \sigma_b + \sigma_{b^2}} \text{ [26]}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene que;

$$\sigma' = \sqrt{(3{,}93 * 10^6)^2 - 3{,}93 * 10^6 * -0{,}032 * 10^6 + (-0{,}032 * 10^6)^2} = 3{,}94 * 10^6 Pa$$

Este esfuerzo efectivo se compara más adelante con el límite de resistencia a la fatiga sin corregir, lo cual quiere decir, que sin aplicar factores de corrección donde se consideran las diferencias físicas. Con la ecuación siguiente se calcula el límite de resistencia a la fatiga a corregir:

$$S_e{}' = 0{,}5 * S_{ut} \text{ [27]}$$

Donde $S_e{}'$ es límite de resistencia a la fatiga sin corregir, S_{ut} es la resistencia máxima a la tensión del material. Para el material $A_{36} S_{ut}$ es de $227{,}523 * 10^6 Pa$

Reemplazando se obtiene que:

$$S_e{}' = 0{,}5 * 227{,}523 * 10^6 Pa$$

$$S_e{}' = 113{,}76 * 10^6 Pa$$

Para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga corregido se emplea la siguiente ecuación:

$$S_e = S_e{}' * C_{carga} * C_{tamb} * C_{sup} * C_{temp} * C_{confiabi}$$ [28]

Donde:

$Carga$ = Factor de carga de reducción de resistencia

C_{tamb} = Factor de tamaño de reducción de esfuerzos

$C_{sup=}$ Factor superficial de reducción de resistencia

$C_{temp=}$ Factor de temperatura

$C_{confiabi}$ =Factor de confiabilidad de reducción de resistencia

El factor de carga de reducción de resistencia para carga axial es:

$$C_{carga} = 0{,}7$$

El factor de tamaño de reducción de esfuerzo se obtiene de una de las siguientes relaciones;

Tabla 4. Factor de tamaño de reducción de esfuerzo.

Para d ≤ 8 mm:	$\boldsymbol{C_{tamaño} = 1}$
Para 8 mm ≤ d ≤ 250 mm:	$\boldsymbol{C_{tamaño} = 1{,}89 * d^{-0{,}097}}$
Para d > 250 mm:	$\boldsymbol{C_{tamaño} = 0{,}6}$

Fuente. R.L.Norton, 2011

Donde:

d= diámetro de piezas cilíndricas, m.

Para las piezas con formas no cilíndricas como es el caso del perfil de la barra se calcula un diámetro equivalente ($d_{equivalente}$), para utilizarlo por d, el diámetro se determina a partir de:

$$d_{equiv} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0{,}0766}}\ [29]$$

Donde:

A_{95} es la porción transversal de una pieza no redonda que está esforzada entre el 95 y 100% de un esfuerzo máximo y se obtiene a partir de:

$$A_{95} = 0{,}5 * A\ [30]$$

Donde:

$A =$ es el área de la sección del perfil, m.

Se asume un área de $1{,}141 * 10^{-4}\ m^2$

$$A_{95} = 0{,}5 * 1{,}141 * 10^{-4}\ m^2$$

$$A_{95} = 5{,}705 * 10^{-5}\ m^2$$

Posteriormente se procede a calcular el diámetro equivalente

$$d_{equiv} = \sqrt{\frac{5{,}705 * 10^{-5}\ m^2}{0{,}0766}}$$

$$d_{equiv} = 0{,}02730\ m$$

$$d_{equiv} = 27{,}29\ mm$$

Se evidencia que el diámetro se encuentra en el rango de $8\ a\ 250\ mm$, por lo que se emplea la relación $C_{tamaño} = 1{,}89 * d^{0{,}097}$ [31].

$$C_{tamaño} = 1{,}89 * 0{,}02730^{0{,}097}$$

$$C_{tamaño} = 1{,}33$$

El factor de la superficie de reducción de la resistencia se obtiene de la gráfica de Norton donde se trabaja con la curva de corrosión del agua, lo cual provoca la humedad que representan los Residuos Sólidos inorgánicos, así como el lavado del tamiz, el factor común es:

$$C_{superficie} = 0{,}64$$

El factor de temperatura se obtiene de una de las relaciones presentadas a continuación dependiendo de las condiciones de operación del tamiz:

Tabla 5. Factor de temperatura

Para T ≤450 ºC:	$\boldsymbol{C_{temp} = 1}$
Para 450 ºC ≤ T ≤ 550 mm:	$\boldsymbol{C_{temp} = 1 - 0{,}0058 * (T - 450)}$

Fuente. R.L.Norton, 2011

Donde:

$T =$ temperatura de operación del tamiz, $°C$.

Puesto que el tamiz operará a la temperatura ambiente, el factor de temperatura es:

$$C_{temp} = 1$$

El factor de confiabilidad se asigna del 95%, es:

$$C_{conf} = 0{,}659$$

Finalmente, reemplazando todos los valores en, se obtiene:

$$S_e = S_e{}' * C_{carga} * C_{tamb} * C_{sup} * C_{temp} * C_{confiab}$$ [28]

Donde:

$$S_e{}' = 113{,}76 * 10^6 Pa$$

$$C_{carga} = 0{,}7$$

$$C_{tamb} = 1{,}33$$

$$C_{sup} = 0{,}64$$

$$C_{temp} = 1$$

$$C_{confiab} = 0{,}659$$

$$S_e = 113{,}76 * 10^6 * 0{,}7 * 1{,}33 * 0{,}64 * 1 * 0{,}659$$

$$S_e = 44{,}66 * 10^6\ Pa$$

Se tiene que si se compara el esfuerzo efectivo con el límite a la fatiga corregido se observa que el esfuerzo efectivo es menor que el límite a la fatiga corregido, razón por la cual con base en el principio del método se establece que el perfil seleccionado para las barras cumple con las solicitaciones de carga por fatiga.

El factor de seguridad para el cálculo de la barra de fatiga es:

$$N_r = \frac{S_e}{\sigma'} \text{ [32]}$$

$$N_r = \frac{44{,}66 * 10^6\ Pa}{5{,}02 * 10^6\ Pa}$$

$$N_r = 8$$

CÁLCULO DE LAS BARRAS LONGITUDINALES A FLEXIÓN EN EL MOMENTO DE ARRANQUE

En el arranque del tamiz, durante el primer momento en que el motor genera movimiento sobre el anillo de transmisión se presenta una deflexión máxima, debido al estado inercial de los otros dos anillos apoyados sobre las ruedas; esta flexión se presenta hasta que el tamiz alcanza la máxima velocidad angular y pasa del estado transitorio a un estado estacionario.

Los anillos extremos funcionan como soporte para la viga y la fuerza generada por el motor de la transmisión se distribuye en las barras bajo el punto medio de la longitud de cada barra. Inicialmente se determina el momento necesario aportado por el motor para vencer la inercia de los elementos del tamiz, lo cual significa que parte del vacío sin la carga que producen los residuos sólidos.

Los cálculos de inercia de los elementos que son puestos en movimiento por la potencia dada por el motor que se presenta posteriormente en la sección donde se determina la potencia necesaria para alimentar el motor.

La inercia respecto al centro 0 del cuerpo rotatorio del tamiz, cada parte a moverse se calcula como:

Los valores para la estimación de la inercia se asumen con base en datos comunes para este tipo de cálculos.

Para cuatro barras longitudinales;

$$I_{b-0} = 23\ kg * m^2$$

Para los tres anillos:

$$I_{a-0} = 5\ kg * m^2$$

Para la malla:

$$I_{m-0} = 2\ kg * m^2$$

La inercia total es el resultado de las tres inercias:

$$I_T = I_{b-0} + I_{a-0} + I_{m-0}$$ [33]

$$I_T = 23 + 5 + 2$$

$$I_T = 30\ kg * m^2$$

Se parte que el tamiz parte del estado de reposo ($w_0 = 0$)hasta llegar a una velocidad final ($\overline{w}_f = 2 * \pi * N$). Lo cual significa que existe una variación de la velocidad angular, representado por una aceleración angular constante (α), la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\pi * N}{30 * t} \text{ [34]}$$

Donde:

$N =$ el número de revoluciones por unidad de tiempo, rpm

$t =$ el tiempo que tarda el motor en alcanzar el estado estacionario, s.

$N = 21$ rpm

$t = 2$ seg

Reemplazando en [33] se obtiene:

$$\alpha = \frac{\pi * 21\ rpm}{30 * 2\ seg}$$

$$\alpha = 1{,}01\ \frac{rad}{seg^2}$$

El momento (M_I) necesario para vencer la inercia de los elementos a poner en movimiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_I = I_T * \alpha \text{ [35]}$$

Reemplazando en la ecuación [34]:

$$M_I = 30(\ kg * m^2) * 1{,}01\ \frac{rad}{seg^2}$$

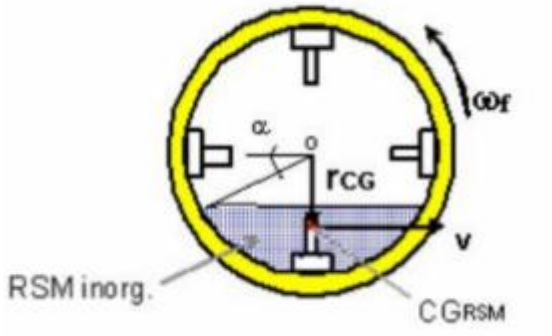
$$M_I = 30{,}3\ J$$

Aportando el motor un momento de $30{,}3\ J$ el tamiz puede arrancar en vacío, sin embargo se debe tener en cuenta que es probable que el tamiz deba arrancar cuando ya se encuentra

cargado con residuos sólidos, razón por la cual se debe incluir la potencia que se necesita para sacar del estado inercial a la cantidad máxima de masa de residuos sólidos que se pueden encontrar en el tamiz.

En la (imagen 17), se puede apreciar la vista frontal del cuerpo del tamiz cargado con un factor de relleno de 0,33.

Imagen 17. Vista frontal de la criba parcialmente llena



Fuente. Ormaza, 2015.

En la (imagen 17) se aprecia la relación con la que se calcula el momento angular de la masa de residuos con respecto al punto:

$$M_{\bar{w}} = r_{cg} * M_{rs} * v * \sin \emptyset \text{ [36]}$$

Donde:

$M_{\bar{w}} =$ momento angular de la masa de residuos sólidos, J.

M_{rs}= masa de los residuos sólidos cargados en la tolva, Kg.

$r_{cg} =$ radio desde el centro 0 al centro de gravedad de la masa de residuos, m.

$v =$ Velocidad de la masa de residuos sólidos

$\emptyset =$ ángulo conformado entre r_{cg} y v, º.

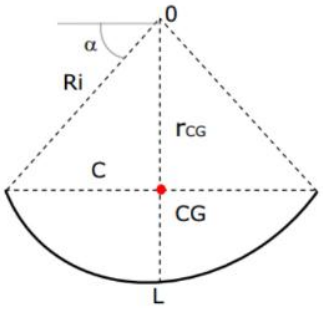
De lo anterior, se tiene que:

$$M_{rs}= 1230 \text{ Kg}$$

$$\emptyset = 90^{o}$$

El radio r_{cg} se puede determinar a partir de las relaciones geométricas de la (imagen 18).

Imagen 18. Radio del centro de gravedad del tamiz lleno



Fuente. Ormaza, 2015.

De la (imagen 18) se tiene que:

$R_i =$ radio interno del tamiz, m.

$C =$ cuerda, m.

$L =$ longitud de arco correspondiente a los residuos dentro del tamiz, m.

Para un segmento de cuerda se tiene que r_{cg} se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$r_{cg} = \frac{C^3}{12 * A_{seg}} \text{ [37]}$$

Donde:

$A_{seg} =$ área que ocupan los residuos dentro del tamiz, m^2.

El área que ocupan los residuos con el factor de relleno de $F = 0{,}33$ es:

$$A_{seg} = \pi * Ri^2 * F \text{ [38]}$$

Donde:

Radio interno del tamiz= 0,5 m

Factor de relleno= 0,33

$$A_{seg} = \pi * 0{,}5^2 m * 0{,}33$$

$$A_{seg} = 0{,}259\, m^2$$

Con A_{seg} se puede determinar el ángulo α, a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{seg} = \frac{\pi * Ri^2 * (180 - 2 * \alpha)}{360} - 2 * \frac{Ri^2 * \cos\alpha * \sin\alpha}{2}$$

Se despeja α donde:

$$\alpha = 15º$$

De la (imagen 18), con la relación trigonométrica se obtiene C:

$$C = 2 * R \cos\alpha$$

$$C = 2 * 0{,}5 * 15$$

$$C = 0{,}96\, m$$

Reemplazando valores en [36] se tiene que:

$$r_{cg} = \frac{0{,}96^3}{12 * 0{,}259}$$

$$r_{cg} = 0{,}28\, m$$

Posterior a ello se tiene que existe una relación de equivalencia entre $\overline{w}_f = w_{op}$ la velocidad lineal de la masa de residuos se calcula como:

$$v = \overline{w}_f * r_{cg} \text{ [39]}$$

Donde:

$$w_{op} = 21\ rpm$$

$$21\ rpm * \frac{\left(\frac{2\ \pi}{60}\right)\frac{rad}{seg}}{1\ rpm} = 2{,}19\ rps$$

$$v = \ \overline{w}_f * r_{cg}$$

$$v = \ 2{,}19\ rps * 0{,}28\ m$$

$$v = 0{,}61\ \frac{m}{seg}$$

Finalmente se aplica la ecuación para el cálculo del momento angular de la masa de residuos [39]

$$M_w = r_{cg} * M_{rs} * v * \sin \emptyset \text{ [40]}$$

$$M_w = 0{,}28\ m * 1230\ Kg * 0{,}61\ \frac{m}{seg} * \sin 90º$$

$$M_w = 210{,}084\ J$$

Posterior a ello se determina el momento total, el cual debe tener en cuenta el momento necesario para vencer la inercia de las partes del tamiz a rotar (M_I) y la inercia del total de residuos que se calcula sean dispuestos en el tamiz, razón por la cual la magnitud del momento total es:

$$M_T = M_I + M_w \text{ [41]}$$

Donde:

$$M_I = 30{,}3\ J$$

$$M_w = 210{,}08\ J$$

$$M_T = 30{,}3\ J + 210{,}8\ J$$

$$M_T = 241{,}1\ J$$

Luego de calcularse el momento (M_T) y el radio donde se hace la transmisión de la potencia $R_0 = 0{,}5\ m$, se procede a calcular la fuerza que ejerce el motor sobre el anillo de transmisión; dicha fuerza resultante es distribuida entre las barras longitudinales:

$$F = \frac{M_T}{R_0}\ [42]$$

$$F = \frac{241{,}1\ J}{0{,}5\ m}$$

$$F = 482{,}2\ N$$

Se estima con base en el resultado que al realizar la repartición de la fuerza en las 4 barras se tiene que:

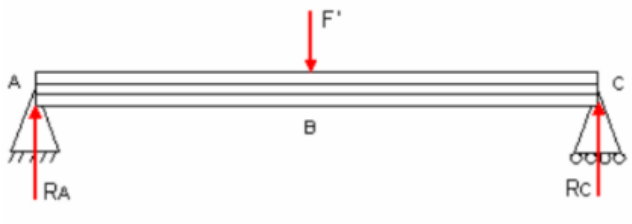
$$F = \frac{482{,}2\ N}{4\ barras}$$

$$F' = 122{,}5\ \frac{N}{barra}$$

La cifra anterior de la fuerza aplicada a cada barra es directamente proporcional a la masa de residuos que se disponen en la tolva de recepción, razón por la cual la fuerza ejercida es alta debido a que la cantidad de residuos es superior a una tonelada, de esta manera se garantiza que con el paso del tiempo en el dimensionamiento del tamiz, las barras de soporte no presenten desgaste asociado a la fuerza ejercida por la disposición de residuos.

Con dicha fuerza se determina para cada barra la deflexión máxima junto con el momento máximo que se ejerce. A continuación se ilustra cómo actúa esta fuerza sobre una barra.

Imagen 19. Diagrama de cuerpo libre de la barra del tamiz sometida a flexión de arranque



Fuente. Ormaza, 2015.

Con este procedimiento se puede realizar la sumatoria de fuerzas en el diagrama de cuerpo libre, las cuales de acuerdo a los principios de la física mecánica de Newtoniana deben ser igual a cero, así como en la sumatoria de los momentos la fuerza resultante debe ser igual a cero.

$$\sum F_y = R_A + R_C - F' = 0 \text{ [43]}$$

$$\sum M_A = F' * \frac{L}{2} + R_C * L = 0 \text{ [44]}$$

De las ecuaciones [43] y [44] se tiene que:

$$R_C = R_A = \frac{F'}{2} = \frac{122{,}5}{2} = 61{,}25\ N$$

Luego se procede a determinar el momento flexor máximo que se ejerce sobre la barra, el cual se calcula con la expresión de momento máximo para una viga que es apoyada en sus extremos y tiene una carga puntual en el centro:

$$M_{f\ max} = \frac{F' * L}{4} \text{ [45]}$$

Reemplazando en [45] se tiene que:

Donde:

$F' = 122{,}5\ N$

$L = 3\ m$

$$M_{f\ max} = \frac{122{,}5\ N * 3\ m}{4}$$

$$M_{f\ max} = 91{,}87\ J$$

De lo anterior se obtiene que la deflexión máxima que genera la carga F'para las vigas que se apoyan con carga puntual en el centro, se representa como:

$$\Delta_{max} = \frac{F' * L^3}{48 * E * I_{perfil}}\ [46]$$

Para el acero $A_{36}, E = 199{,}9 * 10^9 Pa$

De las especificaciones para el perfil de las barras, $I_{perfil} = 4{,}54 * 10^{-7} m^4$

Reemplazando valores en la ecuación [46], se obtiene:

$$\Delta_{max} = \frac{122{,}5\ N * 3^3 m}{48 * (199{,}9 * 10^9 Pa) * (4{,}54 * 10^{-7} m^4)}$$

$$\Delta_{max} = 0{,}000759\ m\ \approx 0{,}759\ mm$$

La deflexión máxima que puede soportar4 el dimensionamiento de la ECA de la asociación verde montaña es de $0{,}759\ mm$.

CÁLCULO DE LOS ANILLOS

En la (imagen 20) se aprecia que el tamiz se dimensiona con (3) anillos que cumplen varias funciones, una de ellas es brindar soporte al cuerpo del tamiz y otra es servir de apoyo sobre los ejes extremos. El anillo central permite posicionar el sistema de la transmisión de la potencia que permite la rotación del tamiz.

El perfil de un anillo se ilustra en la (imagen 20); junto con la rueda que hace el contacto sobre una de las superficies. Las dimensiones del anillo se asumen en un primer momento, para luego validar si el perfil conformado soporta las cargas a las que se somete el anillo.

En la (imagen 20) se puede apreciar que el perfil del anillo se conforma por 4 láminas de igual espesor, para esto las dimensiones del anillo son:

$A = 50\ mm$

$h_i = 30\ mm$

$t = 5{,}20\ mm$

$a = 8\ mm$

$R_i = 400\ mm$

$R_o = 0{,}5\ m$

$R_e = 0{,}46\ m$

Con base en las dimensiones asumidas, se procede a aplicar las ecuaciones que permiten determinar las demás dimensiones, para esto se realiza en primera medida el posicionamiento sobre el eje Y del centro de gravedad del perfil (CG), donde se aplica la siguiente ecuación:

$$\bar{y} = \frac{\sum b*h*C}{\sum b*h} \text{ [47]}$$

Donde:

$b =$ base de cada lámina, mm.

$h =$ altura de cada lámina que conforma el perfil, mm.

$C =$ posición sobre el eje Y del centroide del perfil de la lámina, mm.

Se procede a reemplazar los valores en la ecuación [48], así:

$$\bar{y} = \frac{\sum b*h*C}{\sum b*h} \text{ [48]}$$

Donde:

C= 0,96 m

$h = 30\ mm$

$\sum b = 10\ mm$

$$\bar{y} = \frac{10\ mm * 30\ mm * 960\ mm}{10\ mm * 30\ mm}$$

Razón por la cual:

$$R = 960\ mm$$

La distancia desde el centro del tamiz hacia el eje neutro del perfil del anillo se calcula a partir de la siguiente expresión, la cual se deduce con base en la (imagen 20)

$$R_n = \frac{(\sqrt{R}+\sqrt{R_i})^2}{4}\ [49]$$

Reemplazando en la ecuación [49], se tiene que:

$$R_n = 649.83\ mm$$

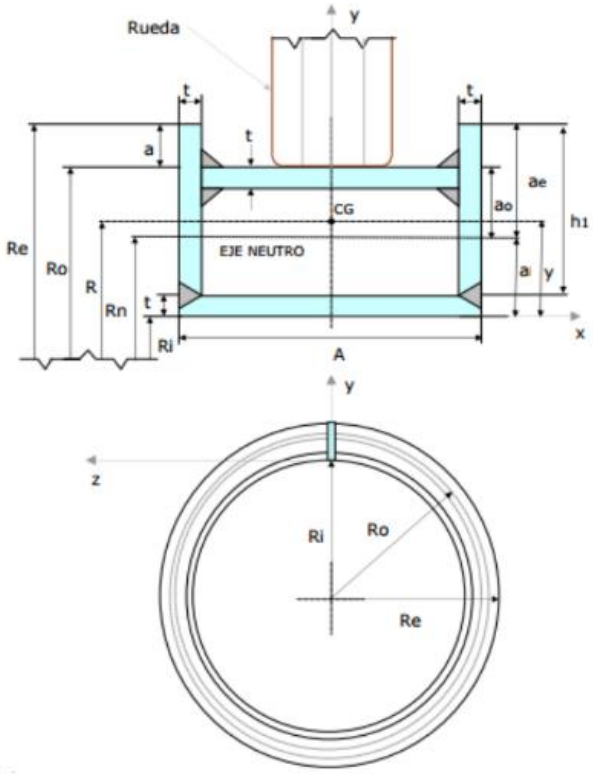
Finalmente se calcula que las dimensiones restantes del anillo son:

$a_i = 22\ mm = 0{,}022\ m$

$a_o = 13\ mm = 0{,}013\ m$

$a_e = 23\ mm = 0{,}023\ m$

Imagen 20. Perfil de los anillos exteriores



Fuente. Ormaza, 2015.

Se aplica el teorema de ejes paralelos para calcular el perfil I_{pa} del anillo, de modo tal que:

$$I_{pa} = \sum \frac{b*h^3}{12} + A * d_{cg} \text{ [50]}$$

Donde:

$A = \acute{a}rea\ transversal\ de\ cada\ l\acute{a}mina\ del\ pefil, mm\ A = b * h$

$d_{CG} = distancia\ del\ eje\ del\ centroide\ de\ cada\ l\acute{a}mina\ al\ centro\ de\ gravedad\ del\ perfil\ del\ anillo, mm$

Reemplazando en la ecuación [50], se tiene que:

$$I_{pa} = \sum \frac{10\ mm * 30^3 mm}{12} + 50\ mm * 60\ mm$$

Donde:

$b = 10\ mm$

$h = 30\ mm$

$A = 50\ mm$

$d_{cg} = 60\ mm$

$$I_{pa} = 25500\ mm^4$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL DEL TAMIZ

La potencia del tamiz debe contar con una potencia necesaria para mover los residuos sólidos en el tamiz, la potencia necesaria para el arranque del tamiz vacío y la potencia necesaria para neutralizar la fricción producida por el contacto de las ruedas de apoyo.

POTENCIA NECESARIA PARA MOVER LOS RESIDUOS EN EL TAMIZ

Los residuos que se dispongan en el tamiz ejercen resistencia a ser movidos por medio de un momento que se calcula con el peso de los residuos dentro del tamiz, y es el radio desde el centro 0 al centro de gravedad de la masa de residuos sólidos, lo cual se representa en la siguiente ecuación:

$$M_{RS} = W_{RS} * r_{CG}\ [51]$$

Donde:

$W_{RS} = 1563{,}68\ N$

$r_{CG} = 0{,}28\ m$

$$M_{RS} = 1563{,}68\ N * 0{,}28\ m$$

$$M_{RS} = 437{,}83\ J$$

Seguidamente se determina la potencia necesaria para mover la cantidad de residuos sólidos teniendo en cuenta la expresión que se requiere para neutralizar la inercia de los residuos y la velocidad angular del tamiz.

Así;

$$P_{RS} = M_{RS} * w \text{ [52]}$$

Donde:

$M_{RS} = 437{,}83\ J$

$w = 0{,}7\ \frac{rad}{seg}$

$$P_{RS} = 437{,}83\ J * 0{,}7\ RPS$$

$$P_{RS} = 306{,}48\ W$$

De lo anterior se obtiene que la potencia necesaria para mover los residuos cumpliendo con las condiciones de la planta es igual a 306,48 W.

POTENCIA NECESARIA PARA ARRANCAR EL TAMIZ EN VACÍO ($P_{vacío}$)

La resistencia al movimiento de los elementos estructurales del tamiz, la cual se representa en el momento $M_I = 30{,}3\ J$. Así como del producto entre momento necesario para neutralizar la inercia del tamiz y la velocidad angular, se calcula la potencia necesaria para arrancar el tamiz en vacío o estado de reposo.

Así:

$$P_{vacío} = M_I * w \text{ [53]}$$

Donde:

$M_I = 30{,}3\ J$

$w = 0{,}7\ \frac{rad}{seg}$

$$P_{vacío} = 30{,}3\ J * 0{,}7\ \frac{rad}{seg}$$

$$P_{vacío} = 21{,}21\ W$$

Luego de ello se procede a determinar la potencia necesaria para vencer la fricción.

POTENCIA NECESARIA PARA VENCER LA FRICCIÓN (P_f)

La potencia se calcula asumiendo un porcentaje de fricción del 4% y empleando la ecuación [54]

$$P_f = 0{,}5 * (P_{RS} + P_{Vacío})\ [54]$$

Donde:

$P_{vacío} = 21{,}21\ W$

$P_{RS} = 306{,}48\ W$

$$P_f = 0{,}5 * (306{,}48\ W + 21{,}21\ W)$$

$$P_f = 536{,}90\ W$$

Por último, la potencia total del tamiz se calcula como la suma de la potencia necesaria para desplazar los residuos dentro del tamiz, la potencia para vencer la inercia del cuerpo del tamiz y la potencia necesaria para vencer la fricción por las ruedas de apoyo, así:

$$P_{Total} = P_{RS} + P_{vacío} + P_f\ [55]$$

Reemplazando los valores en la ecuación [55], se tiene que:

Donde:

$P_{RS} = 306{,}48\ W$

$P_{vacío} = 21{,}21\ W$

$P_f = 536{,}90\ W$

$$P_{Total} = 306{,}48\ W + 21{,}21\ W + 536{,}90\ W$$

$$P_{Total} = 864{,}59\ W$$

$$P_{Total} = 1{,}17\ HP$$

CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN DE LA POTENCIA

Para la realización del cálculo de la transmisión de potencia por cadena, la cadena sostiene el anillo central tanto que el piñón engrana en la cadena, transmitiendo así la potencia entregada por el motor.

El cálculo de la potencia total P_{Total} es necesaria para el funcionamiento adecuado del tamiz, ya que es con dicha potencia y con la velocidad angular w_c con la que rota el cuerpo del tamiz, para lo cual se determina el momento de torsión (M_T) necesario en el tamiz, así:

$$M_T = \frac{P_{TOTAL}}{w_c} \text{ [56]}$$

Donde:

$P_{total} = 864{,}59\ W$

$w = 0{,}7\ \frac{rad}{seg}$

$$M_T = \frac{864{,}59\ W}{0{,}7\ \frac{rad}{seg}}$$

$$M_T = 1235{,}12\ J$$

Con el cálculo del momento de torsión se determina que el trabajo necesario para girar el sistema rotatorio es de $1235{,}12\ J$. Luego de ello se procede a calcular la fuerza que genera el motor al sistema de rotación del tamiz, así:

$$F_{real} = \frac{M_T}{0{,}5 * D_{med}} \text{ [57]}$$

El diámetro D_{med} corresponde al diámetro exterior del anillo el cual se asume como;

$$D_{med} = 1050\ mm\ \approx 1{,}05\ m$$

Luego se procede reemplazar los valores en la ecuación [58]

Donde

$M_T = 1235{,}12\ J$

$D_{med} = 1{,}05\ m$

$$F_{real} = \frac{1235{,}12\ J}{0{,}5 * 1{,}05\ m}$$

$$F_{real} = 2352{,}60\ N$$

Esta fuerza es la que actúa sobre el rodillo de la cadena, al ser una fuerza cortante se debe calcular el esfuerzo límite de la rotación. El esfuerzo al límite de la rotación cortante $(t)_{lim}$se calcula a partir de la siguiente ecuación;

$$t_{lim} = \frac{F_{lim}}{2 * A_{II}} \text{[59]}$$

Donde:

$F_{lim} =$ Límite promedio de fuerza para rotación por corte, $F_{lim} = 57\ KN\ (citar)$

$A_{II} =$Área transversal del pasador de la cadena m^2

Se asume el diámetro del pasador para una cadena de $0{,}312\ pulg$ y con dicho valor se procede a calcular el área transversal. La magnitud del diámetro es:

$$\varphi_{pas} = 0{,}312\ pulg$$

De modo tal que el área transversal del pasador se calcula como:

$$A_{II} = (\frac{\varphi_{pas}}{2})^2 * \pi \text{ [60]}$$

Donde;

$\varphi_{pas} = 0{,}312\ pulg$

$$A_{II} = (\frac{0{,}00792\ m}{2})^2 * \pi$$

$$A_{II} = 4{,}92 * 10^{-5} m^2$$

Por último se calcula la magnitud del esfuerzo al límite de rotura cortante, así;

$$t_{lim} = \frac{57000\ N}{2 * 4{,}92 * 10^{-5} m^2}$$

$$t_{lim} = 579{,}26 * 10^6\ Pa$$

Seguido de ello se calcula el esfuerzo admisible de la rotura de corte, como:

$$t_{lim} = 0{,}25 * t_{lim} \text{ [61]}$$

$$t_{lim} = 0{,}25 * 579{,}26 * 10^6\ Pa$$

$$t_{lim} = 144{,}81 * 10^6\ Pa$$

La fuerza cortante admisible del pasador se calcula como:

$$F_{adm} = t_{lim} * A_{II} \text{ [62]}$$

$$F_{adm} = 144{,}81 * 10^6\ Pa * 4{,}92 * 10^{-5}\ m^2$$

$$F_{adm} = 7124{,}65\ N$$

A partir de los cálculos realizados se procede a determinar el factor de seguridad, el cual resulta de la comparación entre la fuerza cortante admisible con la fuerza real, de esta manera se procede a aplicar la ecuación [61].

$$FS = \frac{F_{adm}}{F_{real}} \text{ [63]}$$

Donde:

$F_{adm} = 7124{,}65\ N$

$F_{real} = 2352{,}60\ N$

$$FS = \frac{7124{,}65\ N}{2352{,}60\ N}$$

$$FS = 3{,}02$$

BANDA TRANSPORTADORA PARA SEPARACIÓN MANUAL

Para el dimensionamiento de la banda transportadora se debe tener en cuenta el flujo de residuos sólidos, el tipo de transporte, el material a manejar, la velocidad y el espesor de los residuos sobre la bandeja y el largo de la misma.

El flujo base se determina como la cantidad de residuos sólidos sobre el tiempo estimado de operación de la planta de clasificación y aprovechamiento por actividad, siendo calculada como:

Cantidad de residuos por jornada: $1230\ kg$

Tiempo estimado de clasificación y aprovechamiento: $2\ horas\ \approx 7200\ seg$

$$Q_b = \frac{1230\ Kg}{7200\ seg}$$

$$Q_b = 0{,}17\ \frac{Kg}{seg}$$

TIPO DE BANDA Y MATERIAL A MANEJAR

La bandeja dimensionada se utilizará para la separación manual de material aprovechable, toda vez que debe ser plana con canales que eviten el desbordamiento de residuos y sea apoyada sobre los rodillos. Adicional a ello, este espacio de separación y clasificación de residuos sólidos debe contar con características ergonómicas debido a que en este espacio se

contará con personal para el cumplimiento de la función de separación manual.

Así mismo, los residuos sólidos que se dispongan en esta área tendrán patrones generales tales como el tamaño, el tipo de residuos y las cantidades, lo anterior debido a que las características socio económicas del área aportante no varían con relación al tiempo, puesto que es una misma zona bajo condiciones similares que generan los residuos que llegan al punto de acopio de la asociación verde montaña.

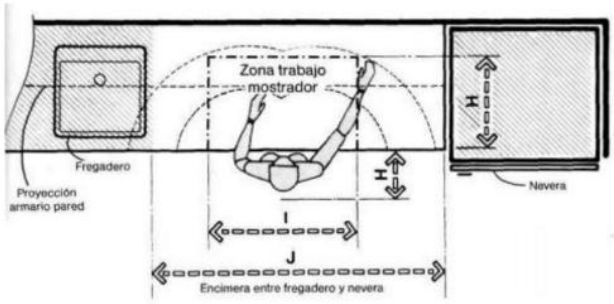
Por las características del área de separación y clasificación, así como por la baja complejidad que existe para la gestión de residuos sólidos aprovechables se determina que la bandeja de separación manual sea estática, razón por la cual no se dimensiona para que funcione con velocidad, esto, teniendo en cuenta que se ahorran gastos y se garantiza mayor vida útil de la estructura.

CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS DEL ANCHO Y LA ALTURA DE LA BANDA

El ancho y la altura de la bandeja de separación manual constan de una superficie de trabajo la cual se representa en la siguiente imagen:

Imagen 21. Esquema general de trabajo en la bandeja de clasificación manual

Esquema **Dimensiones**



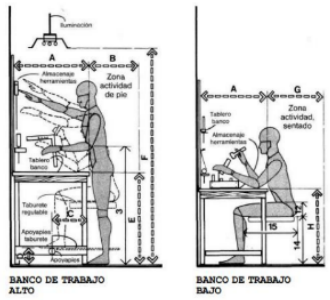
	pulg	*cm*
H	*18*	*45,7*
I	*36*	*91,4*
J	*42*	*106,7*

Fuente. Ormaza, 2015.

De igual manera se ilustran las dimensiones requeridas para determinar el ancho y la altura de la bandeja de separación manual.

Imagen 22. Distribución del espacio vertical en la bandeja de separación manual

Esquema



Dimensiones

	Pulg	*cm*
A	*18 – 36*	*45,7-91,4*
B	*18*	*45,7*
C	*6-9*	*15,2-22,9*
D	*7-9*	*17,8-22,9*
E	*34-36*	*86,4-91,4*
F	*84*	*213,4*

Fuente. Ormaza, 2015.

Con base en valores típicos para bandejas de separación manual, se tiene que el ancho efectivo de dimensionamiento de la bandeja es:

$$b_o = 600\ mm$$

El ancho máximo para el desplazamiento de residuos:

$$B = 800\ mm$$

La altura de la bandeja de separación medida desde el suelo, con base en valores típicos se asume como:

$$h_b = 880\ mm$$

La altura máxima que puede tener el sistema de transporte de residuos medida desde el suelo hasta la bandeja, se calcula como:

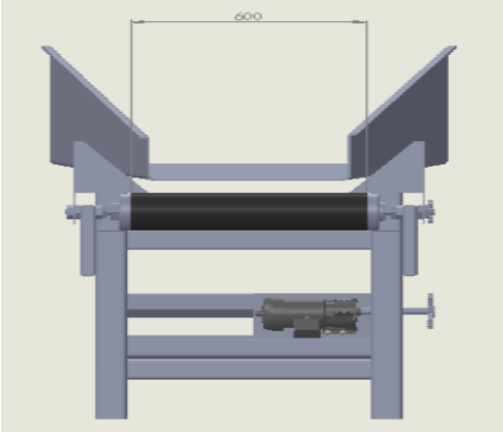
$$H = 980\ mm$$

Finalmente se dimensiona la altura mínima del sistema como:

$$h_0 = 760\ mm$$

En la (imagen 23) se muestra la bandeja dimensionada con las condiciones anteriores:

Imagen 23. Vista frontal de la bandeja de separación manual



Fuente. Ormaza, 2015.

ESPESOR DE RESIDUOS SÓLIDOS SOBRE LA BANDEJA DE SEPARACIÓN MANUAL

El espesor de la masa de residuos sólidos aprovechables sobre la bandeja se calcula con:

$$S_{wbp} = \frac{Q_b}{\rho_{RSA} * b_o}\ [64]$$

Donde:

$S_{wbp} = espesor\ de\ la\ masa\ de\ residuos\ sobre\ la\ bandeja, mm$

$Q_b = tasa\ de\ carga\ o\ flujo\ base, \frac{kg}{seg}$

$b_o = ancho\ efectivo\ de\ la\ bandeja, mm$

$\rho_{RSA} = densidad\ de\ los\ residuos, \frac{Kg}{m^3}$

$$S_{wbp} = \frac{0{,}17\ \frac{Kg}{seg}}{205\ \frac{Kg}{m^3} * 0{,}6\ m}$$

$$S_{wbp} = 0{,}000138\ m$$

$$S_{wbp} = 1{,}38\ mm$$

El espesor calculado de la masa de residuos sólidos aprovechables corresponde al promedio de la masa de residuos. Razón por la cual el espesor se ajusta al tamaño promedio de cualquier objeto que se encuentre dentro de los residuos. Se asume el espesor de la altura de los contenedores laterales como; $S_{wb} = 100\ mm$.

LARGO DE LA BANDEJA DE SEPARACIÓN MANUAL (ENTRE CENTROS

El largo de la bandeja de separación manual depende del número de operarios que se asignen para esta actividad de separación y clasificación. El largo se define de acuerdo a la cantidad de residuos por unidad de tiempo que teóricamente pueden ser seleccionados por un operario, así como de la cantidad de residuos que pueden ser recuperados por cada jornada en la que se reciba material potencialmente aprovechable.

En la siguiente tabla se presentan los valores típicos de las tasas de selección para operarios en la actividad de separación de residuos sobre la bandeja. Estas tasas ayudan a calcular el número ideal de operarios que se requieren para la bandeja de separación manual, así como las cantidades de residuos potencialmente aprovechables que deben ser recuperados.

Tabla 6. Tasas de selección y cantidades de RS a recuperar en la bandeja

Material	**Tasa de selección** $\frac{Ton}{persona*hora}$	**Cantidad de RS a recuperar** $\frac{Kg}{hora}$	**# de personas necesarias**
Papel	1,7	115,16	1
Plástico	0,7	199,53	1
Vidrio	0,4	158,7	1
Metales	0,3	68,98	1

Fuente. Ormaza, 2015.

Con base en los datos de la (tabla 1) y aplicando las recomendaciones de dimensionamiento de la (tabla 6), se calcula que para una óptima operación de la bandeja de separación se deben emplear 5 personas, y se debe dejar un espacio de 2 metros el cual ha de ser ocupado por la transmisión de la potencia. A partir de esto se determina que la distancia que debe haber entre los centros de la banda es:

$$I_o = 7\ m$$

CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Para la estimación del sistema de transporte se realiza de acuerdo al manual Transilon (Forbo, 2014), del cual se obtienen las ecuaciones empleadas en el presente dimensionamiento.

Área superficial de la bandeja:

$$A_{sb} = l_o * b_o \text{ [65]}$$

Masa de residuos sólidos por unidad de área

$$m_{RS} = \rho_{RS} * S_{wb} \text{ [66]}$$

Masa de residuos sobre la bandeja

$$m_{RS} = m_{RS} * A_{sb} * FS \text{ [67]}$$

Para el cálculo del sistema, inicialmente se selecciona el tipo de bandeja bajo las siguientes condiciones de operación:

- Objetos livianos
- Objetos abrasivos
- Objetos con superficies cortantes

Con base en datos típicos para este tipo de proyectos se establece la referencia de la bandeja seleccionada como:

Tabla 7. Referencia recomendada para la bandeja de separación

Bandeja	Características principales
Material del tejido	Poliéster
Número de capas	2
Recubrimiento de la cara de circulación	Uretano
Recubrimiento de la cara de transporte	PVC
Espesor total aproximado	2,1 mm
Peso total aproximado	2,4
Comportamiento dinámico SD	8 N/mm
Masa de la banda	18 Kg

Fuente. Ormaza, 2015.

No se realiza el dimensionamiento de equipos de rotación o transmisión de bandeja, toda vez que para las características del proyecto de asociación Verde Montaña se determina que la bandeja de separación manual será estática, razón por la cual se prescinde del dimensionamiento de equipos o motores que aumenten los costos de operación y mantenimiento afectando la viabilidad del proyecto, toda vez que la asociación por la cantidad de recursos que percibe mensualmente no cuenta con suficiencia financiera para sostener una Estación con este tipo de tecnología.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS MESAS DE SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR TIPO DE MATERIAL

Posterior a que se realiza la separación manual de residuos sólidos y se depositan en las canecas, estas canecas deben ser llevadas a mesas donde se clasifican los residuos por grupo: plástico, vidrio, papel y metales. Las características de dimensionamiento de las mesas de clasificación están sujetas a determinantes de ergonomía tal como se realizó el proceso para el dimensionamiento de la bandeja de separación manual.

Teniendo en cuenta que se realiza el dimensionamiento para 5 operarios en la bandeja de separación, se recomienda distribuir para que en la clasificación manual en las mesas de separación hallan dos operarios por cada grupo de residuos, razón por la cual se proponen las siguientes dimensiones.

$Altura$: 90 mm

$Ancho$: 1000 mm

$Largo$: 2000 mm

Con una altura de 90 mm las mesas quedan diseñadas para que los operarios puedan trabajar de pie, así como sentados. El número de mesas es equivalente al número de grupos de residuos clasificados, que para el caso de la asociación Verde Montaña, el número de grupos corresponde a: vidrio, plástico, papel y metal, siendo 4 mesas la cantidad necesaria de soporte. Se recomienda disponer de 5 mesas, toda vez que ocasionalmente pueden llegar residuos que no se clasifiquen en estos 4 grupos, pero que pueden contener características de recuperación y valoración importantes.

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA EL TRASLADO DE RESIDUOS CLASIFICADOS EN EL ÁREA DE LA ECA

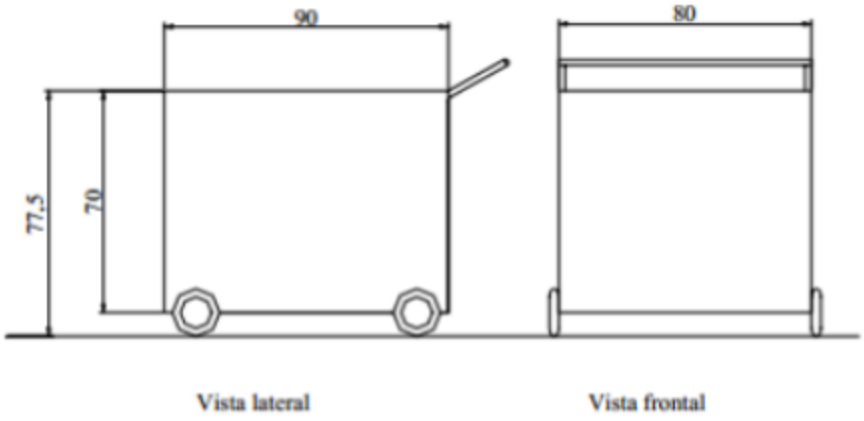
Para la escogencia del equipo requerido para el traslado de residuos sólidos clasificados, se debe escoger bajo los siguientes criterios:

- Debe ser fácil de manejar por una persona (dimensiones apropiadas)
- Debe ser aplicable para todos los materiales recuperables
- Debe ser fácil de limpiar
- Debe ser resistente contra la abrasión o la corrosión
- Debe ser fácil de vaciar y llenar

Para el caso de la ECA dimensionada para la asociación Verde Montaña y teniendo en cuenta el nivel de complejidad bajo de esta estación, se propone que el equipo suministrado sean carritos manuales tanto para el almacenamiento como para el transporte interno de los materiales.

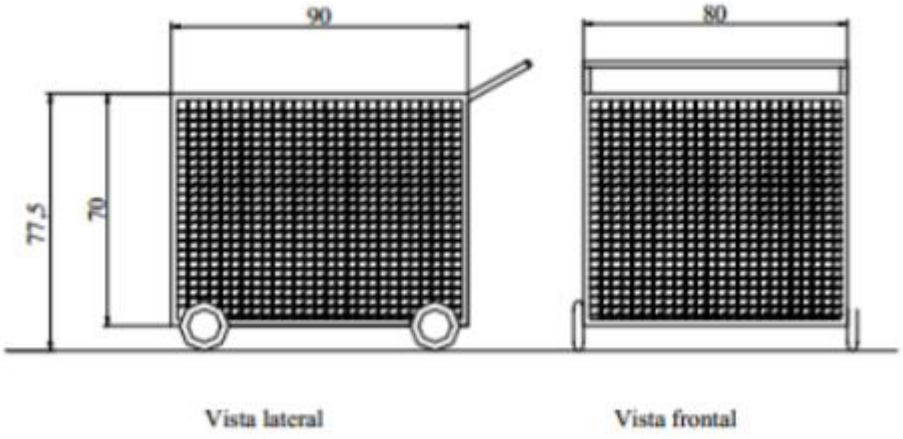
Estos carros de tracción manual se pueden conseguir en el mercado, con base en el dimensionamiento, la ECA debe contar con 5 carritos de tracción manual que cumplan con las siguientes recomendaciones para la adquisición de los equipos.

Imagen 24. Carrito para el transporte de material clasificado



Fuente. Ormaza, 2015.

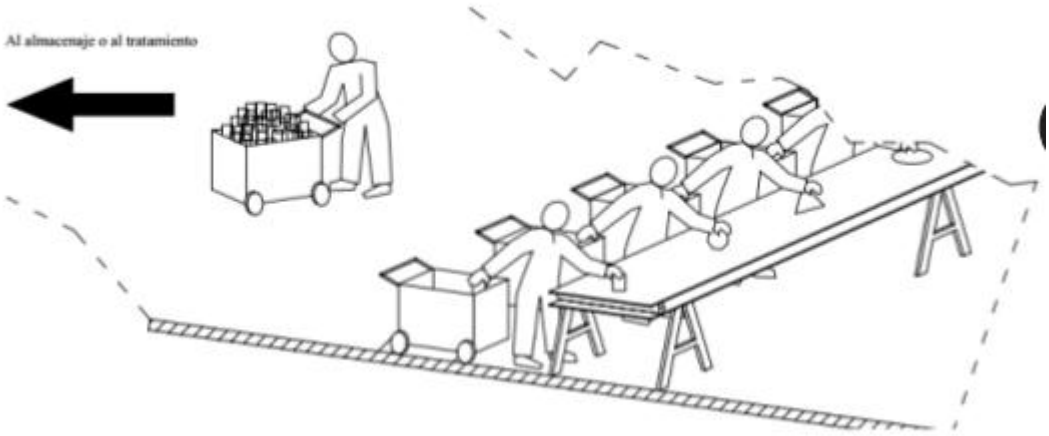
Imagen 25. Esquema de un carrito de malla para el transporte de material separado



Fuente. Ormaza, 2015.

En la (imagen 26) se ilustra el flujo de proceso que deben tener estos equipos dentro de las instalaciones de la ECA Verde Montaña.

Imagen 26. Flujo de los carritos en el área de Clasificación de la ECA



Fuente. Autor.

UNIDAD COMPACTADORA DE MATERIALES RECUPERADOS

Finalmente en el dimensionamiento de la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos de la asociación Verde Montaña se procede a realizar el dimensionamiento del equipo compactador para lo cual es importante conocer la cantidad de residuos que se deben procesar por unidad de tiempo.

El equipo compactador permite optimizar el espacio de almacenamiento de residuos sólidos, así como cumplir con las pautas normativas del decreto 596 de 2016 y el decreto único reglamentario 2981 de 2013, así:

Los residuos clasificados por jornada son:

Tabla 8. Residuos sólidos aprovechables mensuales

Material	Cantidad en kg	Densidad $\frac{kg}{m^3}$
Papel	245	45,48
Metales	32	5,92
Plástico	115	21,34

Fuente. Autor.

Con base en esto se procede a calcular el volumen, tal que:

Tabla 9.Volumén de RS

Material	**Volumen m^3**
Papel	5,38
Metales	5,40
Plástico	5,38

Fuente. Autor.

Con los resultados de la (tabla 9) se calcula una presión de $6\ \frac{kg}{cm^3}$ se tienen en promedio las siguientes relaciones de reducción:

Tabla 10. Relaciones de reducción de volumen de RS por prensa hidráulica

Papel	11,92: 1
Metales	16: 1
Plásticos	20: 1

Fuente. Ormaza, 2015.

Con esto se tiene que el volumen posterior a la compactación es de:

Tabla 11. Volumen final de almacenamiento de RS

Papel	$\mathbf{0,45\ m^3}$
Metales	$\mathbf{0}, 33\ \boldsymbol{m^3}$
Plásticos	$0{,}26\ \boldsymbol{m^3}$

Fuente. Autor.

Descripción del equipo seleccionado

Teniendo en cuenta la poca cantidad de material aprovechable a compactar mensualmente, se propone la selección de una compactadora tipo embaladora vertical estática con compuerta plegable y ranuras para facilitar la actividad de compactación.

- El material a compactar es: papel, cartón, aluminio, hojalata
- Fuerza de compactación: 10 Ton
- Elementos constitutivos:
    - Estructura
    - Plancha apisonadora
    - Compuerta plegable
    - Unidad electrohidráulica
    - Panel de control
- La unidad de fuerza electrohidráulica:
    - Motor eléctrico $5\ HP\ 1750\ rpm\ 3\ F\ \frac{220}{440} VCA$
    - La unidad hidráulica debe estar compuesta mínimo por: tanque de almacenamiento de aceite, bomba hidráulica, válvula reguladora de presión, manómetro y visor de nivel.
    - Válvula direccional de doble solenoide.

- Cilindro hidráulico.

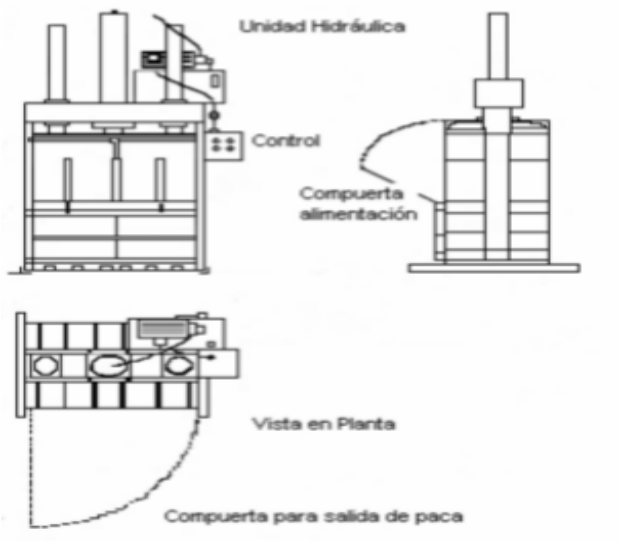
El funcionamiento de la compactadora consta del suministro del material aprovechable y con la plancha de presión que se encuentra en la parte superior, se pulsa el switch que alimenta la electroválvula lo cual provoca que baje el pisón, el cual al compactar el material regresa automáticamente a la parte superior.

Las dimensiones de la máquina son:

- Altura máxima permisible: 3 m.
- Ancho y largo: No existen restricciones.

A continuación se ilustra la prensa hidráulica.

Imagen 27. Prensa hidráulica



Fuente. Ormaza, 2015.

DIMENSIONAMIENTO DE LA BÁSCULA

La báscula permite llevar un registro de los residuos sólidos tanto al ingreso como a la salida de la ECA luego de realizada la actividad de separación y clasificación, lo cual permite una operación óptima de la ECA, ya que este equipo busca principalmente conocer la cantidad

mensual y el promedio de residuo sólidos clasificados, realizar comparaciones entre la cantidad de residuos recibidos y la cantidad de residuos vendidos, así como realizar la contabilidad de la ECA.

El pesaje se debe realizar en el momento de la recepción de residuos sólidos potencialmente aprovechables, luego de ello se debe realizar el pesaje a cada grupo de material clasificado antes de que sea entregado al comprador, esto con el fin de tener el registro histórico de venta y así poder establecer el flujo de residuos de manera ordenada.

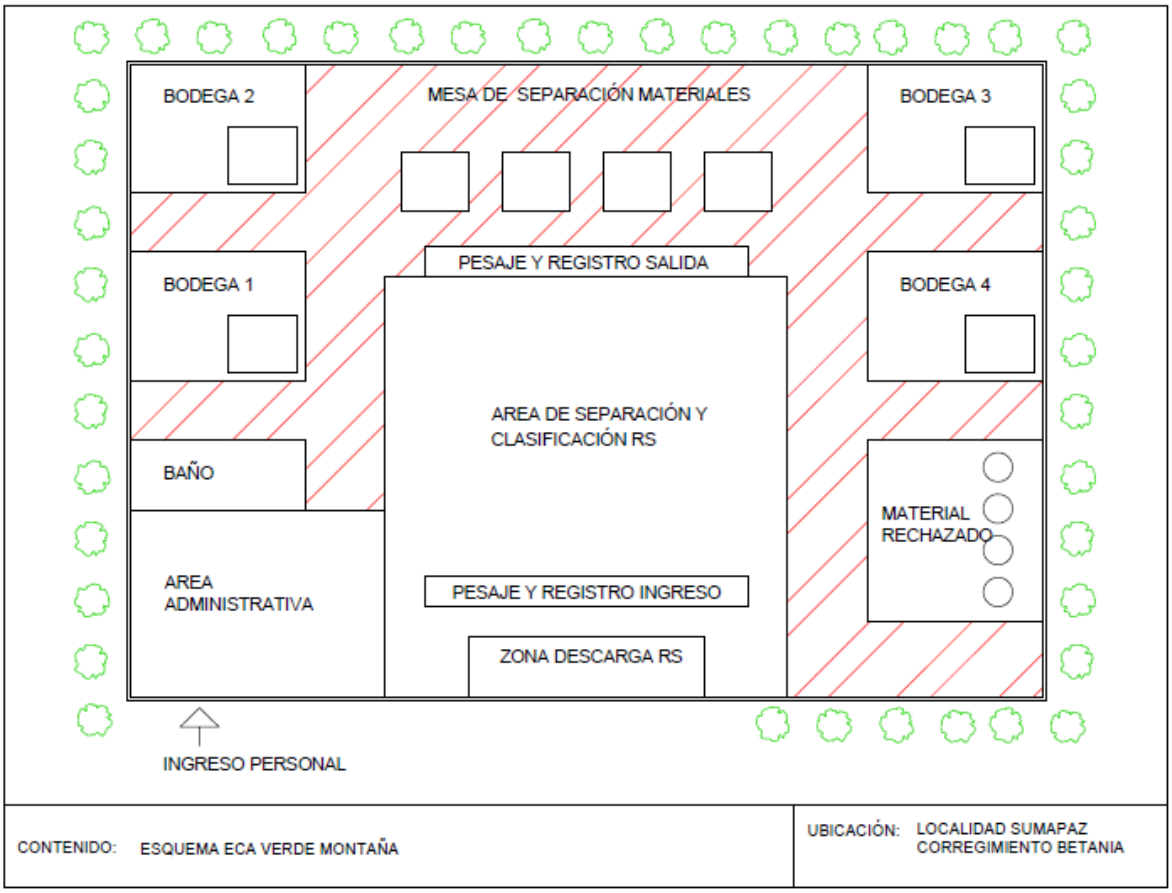
Se propone el uso de una báscula manual (analógica) ya que es fácil de usar y tiene menos costos asociados a mantenimiento, para tal fin se recomienda la compra de una báscula con capacidad de 1000 kg.

Maquinaria de la ECA

Para el procesamiento del material recuperado se seleccionan las siguientes máquinas:

- 1 prensadora- vertical
- 1 trituradora: Molino de vidrio por impacto con rejillas
- 1 peletizadora: Peletizadora de plástico

Imagen 28. Plano ECA Verde Montaña



Fuente. Autor.

8.2.DETERMINAR EL COSTO ESTIMADO DE INVERSIÓN POR MEDIO DE UN ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

En la (tabla 12) se lleva a cabo la estimación del costo de inversión para la realización del proyecto tipo de la ECA de la asociación verde montaña, dicha estimación se realiza por medio de un análisis de precios unitarios dando como resultado los siguientes valores.

Tabla 12. Costo estimado de inversión del proyecto

Ítem	Descripción	Área (m^2)	VR. Unitario	Cantidad	VR. Total
1	**Preliminares**	900	$ 1.800.000	1	$ 1.800.000
2	**Cimentación**	900	$ 140.000.000	1	$ 140.000.000
3	**Estructura ECA**	900	$ 95.000.000	1	$ 95.000.000
4	**Mampostería**	900	$ 27.000.000	1	$ 27.000.000
5	**Pañete y pintura**	900	$ 60.000.000	1	$ 60.000.000
6	**Pisos y enchapes**	900	$ 30.000.000	1	$ 30.000.000
7	**Obras exteriores**	900	$ 50.000.000	1	$ 50.000.000
8	**Carpintería**	900	$ 20.000.000	1	$ 20.000.000
9	**Instalaciones hidráulicas y sanitaria**	900	$ 70.000.000	1	$ 70.000.000
10	**Instalación eléctrica**	900	$ 30.000.000	1	$ 30.000.000
11	**Aseo**	900	$ 3.500.000	1	$ 3.500.000
12	**Dotación infraestructura**				
	Peletizadora		$ 60.000.000	1	$ 60.000.000
	Prensadora		$ 150.000.000	1	$ 150.000.000
	Báscula		$ 12.000.000	2	$ 24.000.000
	Tolva		$ 10.000.000	1	$ 10.000.000

	Tamiz		$ 15.000.000	1	$ 15.000.000
	Bandeja de separación manual		$ 5.000.000	1	$ 5.000.000
	Mesas		$ 1.000.000	4	$ 4.000.000
	Carritos		$ 1.500.000	4	$ 6.000.000
13	**Área administrativa**				
	Computador		$ 3.500.000	1	$ 3.500.000
	Silla		$ 500.000	1	$ 500.000
	Escritorio		$ 1.500.000	1	$ 1.500.000
Observaciones:				**Subtotal**	$ 806.800.000
				AIU (25%)	$ 201.700.000
				Total	$ 1.008.500.000

Fuente. Autor.

8.3.ELABORAR UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ECA

Manual de operación para la Estación de Clasificación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos Aprovechables de la Asociación Verde Montaña

Objetivo: Obtener resultados eficientes en el desarrollo de los procesos operativos de la ECA, así como en el personal alcanzando un criterio unificado y fácil de comprender.

Este manual está diseñado para el correcto funcionamiento de la ECA, así como la adecuada operación de las áreas definidas en el decreto 596 de 2016, el presente manual brindará la

información necesaria para que los operadores del sistema puedan realizar las actividades de clasificación y aprovechamiento de manera ordenada, logrando un desarrollo óptimo del proceso y un alto porcentaje en el material aprovechable recuperado por medio de la ECA.

Al final de este manual, se espera que los operadores reciban información oportuna que les facilite su labor, así como represente una mejora continua para los fines de la asociación que hace la gestión de los residuos sólidos aprovechables en el corregimiento de Betania, ubicado en la localidad de Sumapaz perteneciente a Bogotá Distrito Capital.

Para efectos de garantizar un mapa de proceso adecuado, se dividirá el manual operativo por zona de operación de la ECA, así mismo se darán las instrucciones de salud y seguridad en el trabajo necesarias para garantizar el bienestar de los operarios.

Salud y seguridad en el trabajo

Para el ingreso a la zona de recepción de la ECA los operarios deben contar con la dotación y su respectiva carnetización, deben tener completo el esquema de vacunación contra el tétano y no presentar síntomas respiratorios o gripe. Deben contar con overol, tapabocas, gafas de seguridad, bota de seguridad y guantes de carnaza.

Al ingreso a la zona de operación deben realizar el lavado y desinfección de manos, en el espacio de ingreso a la estación se deben disponer lockers para guardar los utensilios y objetos personales de los operarios.

Recepción

En esta área se debe realizar el despeje, y el retiro de objetos que puedan obstruir el tránsito seguro. El área de recepción sirve para la llegada de los Residuos Sólidos Aprovechables,

donde los operarios se encargan de ubicar las bolsas para ingreso a la zona de pesaje y clasificación selectiva.

Pesaje

El pesaje permite llevar un registro del ingreso de material potencialmente aprovechable, lo cual favorece la estimación del total de residuos recibidos con relación a la cantidad de residuos vendidos, así como realizar la contabilidad de la ECA.

Se debe registrar y pesar cada paca de material como se le presenta al comprador, tanto al inicio del proceso como al final para conocer:

Cantidad total de material recibido - en el área de recepción se debe realizar este pesaje y llevar el respectivo registro en una bitácora.

Cantidad por tipo de material - Se debe realizar el pesaje previo al almacenamiento de material aprovechable clasificado, con el fin de conocer por tipo de material la cantidad clasificada.

Cantidad de material de rechazo - se debe realizar el pesaje posterior a la actividad de clasificación selectiva con el fin de llevar el registro del material de rechazo que llega a la ECA.

Cantidad final de material aprovechable - El operario asignado debe realizar la suma de las cantidades de pesaje por tipo de material y con ello determinar el total de material aprovechable de la ECA.

Clasificación selectiva

En esta zona los operarios deben realizar la ruptura de las bolsas, apertura de lonas o empaques para vaciar los residuos sólidos sobre la bandeja de clasificación manual, en este proceso se deben separar los objetos voluminosos, así como el material que no sea aprovechable. El material aprovechable se deja sobre la bandeja para proceder a realizar la separación manual.

Es importante que a la hora de realizar la ruptura de los empaques, se tenga especial cuidado con el material vidrioso, o cortante que pueda causar daño a la integridad física de los operarios, así mismo en caso de presentarse la recepción de envases sellados con alguna característica de residuo peligroso el operario debe consultar con el encargado del área o el ingeniero asignado para monitoreo sobre este residuo para recibir las indicaciones sobre el manejo y destinación que se debe dar a este tipo de materiales extraños o peligrosos que lleguen por error a la ECA.

En todo caso, el área de clasificación selectiva debe contar con una caneca para depositar residuos sólidos peligrosos.

Separación de material

La separación de material debe clasificar los residuos de acuerdo al tipo de material (Cartón, papel y plegadiza, Plástico, Vidrio), para así poder procesar en las respectivas máquinas de prensado, peletizado o triturado, la operación de las máquinas debe ser realizada por una persona cualificada que haya recibido capacitación y ésta persona debe contar con la ayuda de operarios que le permitan trasladar el material clasificado hasta cada máquina.

Almacenamiento

El almacenamiento debe hacerse sin dejar la zona de trabajo con residuos que puedan obstruir el tránsito del personal, o generar mal aspecto. La zona de almacenamiento debe distribuirse en el almacenamiento de papel y cartón, vidrio y plástico. Es importante que los operarios cuenten con posturas adecuadas para la realización de cargue y descargue de material, eliminando cualquier tipo de riesgo por exceso de fuerza o cortaduras con material vidrioso.

Almacenamiento de papel y cartón

El material debe estar prensado, y debe ser organizado en pilas de tal manera que se hagan columnas que faciliten el posterior traslado o venta del material recuperado.

Almacenamiento vidrio

El operador debe alojar el material recuperado en globos o recipientes destinados para tal fin, asegurándose que el empaque no presente averías o que el material del empaque esté deteriorado, en caso de evidenciar deterioro del material el operador debe informar al encargado del área administrativa con el fin de que se notifique la novedad.

Almacenamiento plástico

Se debe alojar en los globos o el empaque destinado para tal fin, clasificando por tipo de plástico, por un lado el de color blanco, y por el otro el plástico de color verde y ambar.

9. CONCLUSIONES

- El dimensionamiento de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos para la asociación Verde Montaña permite fortalecer la gestión

comunitaria de residuos sólidos que realiza la asociación conformada en su mayoría por personas con Discapacidad y sus cuidadores.

- El dimensionamiento de una ECA para el área rural disperso es un reto en materia de sostenibilidad del proyecto, sin embargo existe la posibilidad de múltiples beneficios para el área rural, iniciando por la activación económica de un sector inexplorado que beneficia a una población diferencial dándole una participación productiva y posibilitando el desarrollo de sus capacidades desde el enfoque de discapacidad.
- El costo de inversión estimado en el análisis de precios unitarios puede ser asignado a través de diferentes planes de desarrollo del Estado, estando en concordancia con las políticas progresivas de Basura Cero o con la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Las incongruencias entre los instrumentos de planeación y las políticas públicas de gestión integral de residuos sólidos afectan la implementación del modelo de economía circular, razón por la cual se evidencia que existen barreras de acceso a este modelo en tanto el decreto 596 de 2016 imposibilita que pequeñas asociaciones de reciclaje puedan ser reconocidas legalmente, lo cual afecta el acceso cierto y seguro de la asociación verde Montaña a los estímulos por gestión de residuos sólidos aprovechables.
- El dimensionamiento de la ECA se realizó para el procesamiento de 1,104 toneladas al mes durante dos horas por jornada, con una frecuencia de una vez al mes, es posible que estas condiciones iniciales varíen en el tiempo, para lo cual el tiempo de vida útil es acorde debido a que el dimensionamiento de la ECA permite que se puedan llevar estas condiciones iniciales hasta un procesamiento de 30 veces al mes.

- Con base en la realización del presente trabajo de grado se pudo hallar que el modelo de gestión de residuos sólidos aprovechables tal como está cobijado por la normatividad, privilegia el interés particular sobre el interés colectivo en tanto las exigencias para hacer parte del esquema de prestación del servicio están diseñadas para favorecer el negocio de las basuras, sin que exista reconocimiento de las múltiples soluciones que pueden existir desde pequeñas comunidades organizadas que aún no cuentan con reconocimiento del Estado.

10. RECOMENDACIONES

- El decreto 596 de 2016 debe ser actualizado en tanto es una barrera para la implementación del modelo de economía circular, así como para la implementación de esquemas diferenciales.
- Se deben armonizar los instrumentos de planeación (PGIRS), las Políticas Públicas y la normatividad correspondiente a Gestión de Residuos Sólidos ya que existe atemporalidad en la cadena de herramientas que orientan la transición hacia un modelo de economía circular, esta armonización debe ser liderada por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y acompañada por los actores y sectores involucrados en la arquitectura del modelo de gestión de residuos sólidos en Colombia.
- Se deben fortalecer los esquemas diferenciales de acceso cierto y seguro a la gestión de residuos sólidos, para ello es importante que los entes competentes faciliten el acceso a la información, formación y cualificación de las comunidades de recicladores de oficio que estén interesadas en participar en esta figura.

- Los lineamientos del DNP para el diseño de Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos deben incluir lineamientos de diseño de ECA's para áreas rurales dispersas, y ser más flexible con los criterios de implementación de proyectos tipo de los que trata la tabla 1 de dicho documento.
- Se recomienda a la administración local de Alcaldía local de Sumapaz que para la formulación del Plan de Desarrollo Local 2024-2027 se realice un concepto de gasto para financiar este proyecto tipo, ya que existe una oportunidad de gestión comunitaria de residuos sólidos que puede ser capitalizada mediante el estímulo y acompañamiento del sector gobierno.
- Se recomienda a la asociación Verde Montaña continuar en la implementación de este proyecto a través de alianzas estratégicas con entidades y con recursos de cooperación internacional. Ya que desde el punto de vista ambiental y de generación de oportunidades resulta un proyecto modelo de asociatividad que puede ser destacado en escenarios de experiencias de trabajo comunitario.

11. BIBLIOGRAFÍA

C.J.P. Bolívar, Basuras: Manejo y Transformación práctico - económico, Bogotá: Ecoe ediciones, 2003.

FORBO, Siegling Transilon bandas de transporte y procesamiento, FORBO, 2014.

G. Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Madrid: McGRAW-HILL, 1994.

L.H.F, Manual McGraw-Hill de reciclaje, Madrid: McGraw-Hill,2008.

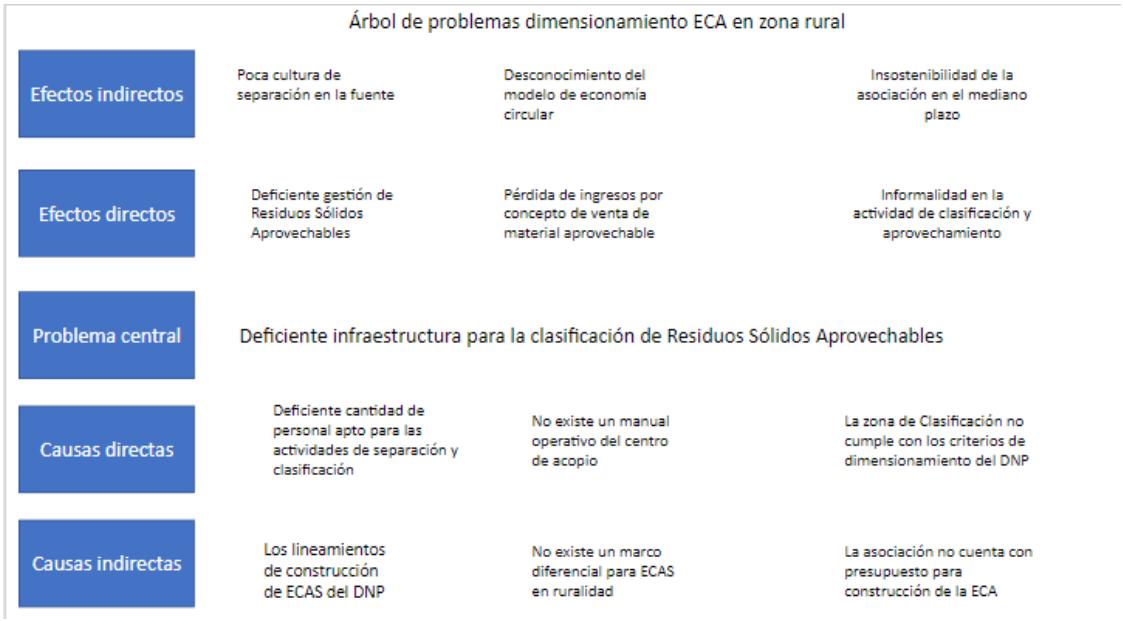
Monteiro, Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en ciudades de América Latina y el Caribe, Ríos de Janeiro: IBAM, 2006.

M. Seoánez Calvo, Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos, Mundi-Prensa, 2000.

Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, CONPES 3874 de 2016, Bogotá, 2016.

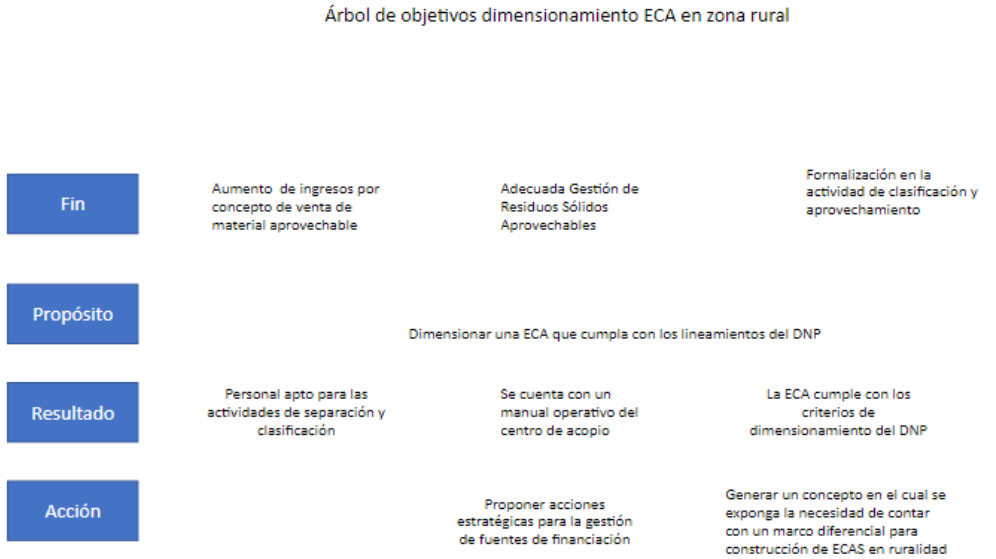
12. ANEXOS

Imagen 29. Árbol de problemas dimensionamiento de la ECA en zona rural



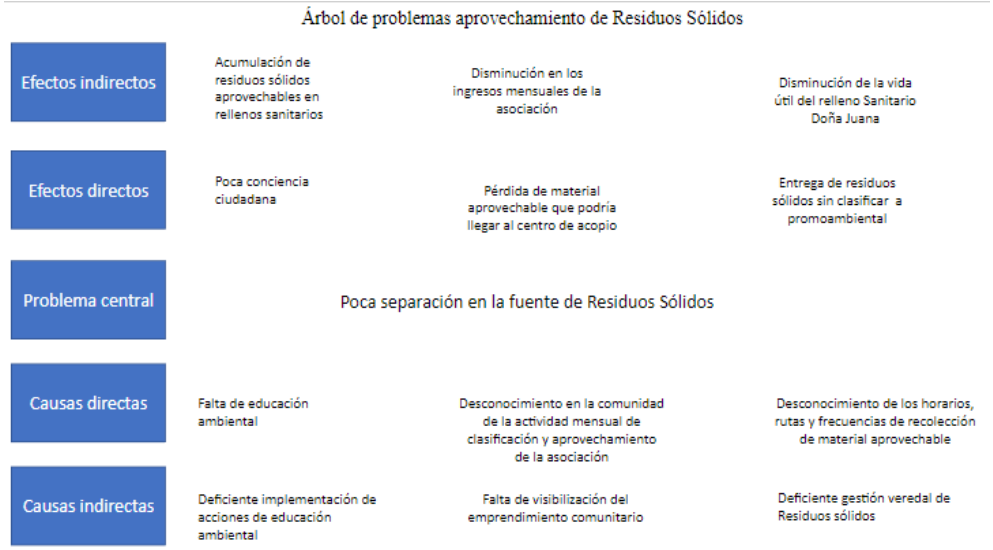
Fuente. Autor.

Imagen 30. Árbol de objetivos dimensionamiento de la ECA en zona rural



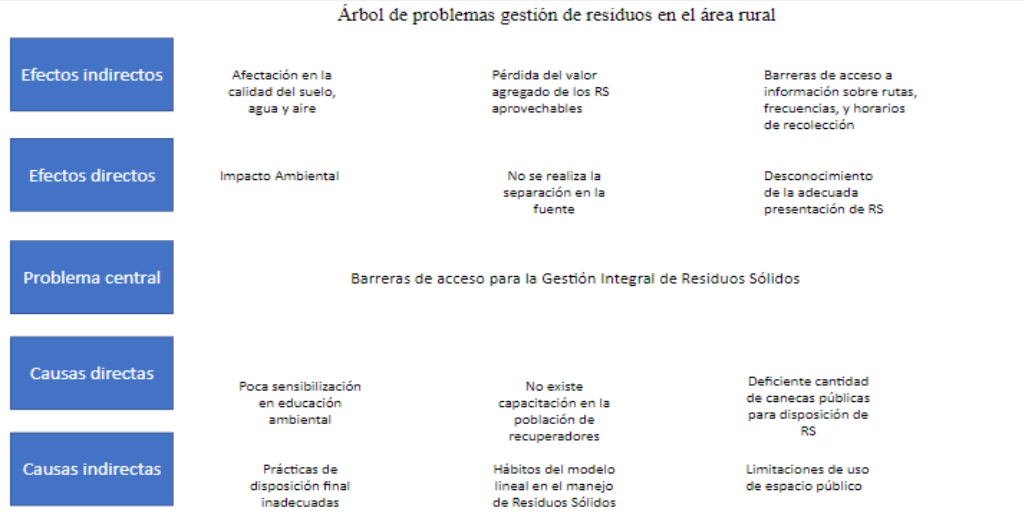
Fuente. Autor.

Imagen 31. Árbol de problemas aprovechamiento de Residuos Sólidos



Fuente. Autor

Imagen 32. Árbol de problemas gestión de residuos en el área rural



Fuente. Autor.

Imagen 33. Socialización propuesta de trabajo de grado a la asociación



Fuente. Autor.

Imagen 34.Visita técnica 1. 27/02/2023



Fuente. Autor.

Imagen 35.Visita técnica 1. 27/02/2023



Fuente. Autor.

Imagen 36.Visita técnica 1. 27/02/2023



Fuente. Autor.

Imagen 37. Visita técnica 2. 27/03/2022



Fuente. Autor.

Imagen 38. Visita técnica 2. 27/03/2022



Fuente. Autor.

Imagen 39. Visita técnica 2. 27/03/2022



Fuente. Autor.

Imagen 40. Visita técnica 3. 27/04/2023



Fuente. Autor.

Imagen 41. Visita técnica 3. 27/04/2023



Fuente. Autor.

Imagen 42. Visita técnica 3. 27/04/2023



Fuente. Autor.

Imagen 43. Visita técnica 4. 27/05/2023



Fuente. Autor.

Imagen 44. Visita técnica 4. 27/05/2023



Fuente. Autor.

Tabla 13. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos noviembre 2022

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/11/2022)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	657
Vidrio	615
Metal	26
Plástico	34
Chatarra	42

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 14. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos diciembre 2022

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/12/2022)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	236
Vidrio	560
Metal	9
Plástico	19
Chatarra	83

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 15. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos enero 2023

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/01/2023)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	245
Vidrio	712
Metal	4
Plástico	149
Chatarra	32

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 16. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos febrero 2023

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/02/2023)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	358
Vidrio	592
Metal	5
Plástico	84

Chatarra	40

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 17. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos marzo 2023

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/03/2023)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	119
Vidrio	443
Metal	4
Plástico	32
Chatarra	10

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 18. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos abril 2023

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/04/2023)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	300
Vidrio	411
Metal	11
Plástico	75
Chatarra	12

Fuente. Asociación Verde Montaña.

Tabla 19. Reporte composición y cantidad de Residuos Sólidos mayo 2023

Reporte residuos sólidos aprovechables recuperados (27/05/2023)	
Material	**Peso (Kg)**
Papel y cartón	333
Vidrio	1100
Metal	10
Plástico	128
Chatarra	17

Fuente. Asociación Verde Montaña.