

DISEÑO DE UNA RED DE LOGÍSTICA INVERSA DE LLANTAS RESIDUALES
PARA EL ABASTECIMIENTO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ENERGÍA

GINA MARGARITA BARRAZA CANTILLO
PAOLA ANDREA FUENTES GUEVARA
ADRIANA PAOLA GUARIN DURAN
ANA MILENA SILVERA MARAÑÓN

PROYECTO FINAL

ING. RENE AMAYA MIER, PhD.
Director

UNIVERSIDAD DEL NORTE
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2016

TABLA DE CONTENIDO

1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3.1 <i>Diagrama Causa-Efecto</i>	<i>5</i>
1.3.2 <i>Diagrama Medios-Fines</i>	<i>6</i>
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 <i>Objetivo General.....</i>	<i>7</i>
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	<i>7</i>
1.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO	8
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	9
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 MARCO DE REFERENCIA	12
3. CAPÍTULO III. DESARROLLO CONCEPTUAL.....	19
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO.....	19
3.1.1. <i>Usos y especificaciones.....</i>	<i>19</i>
3.1.2. <i>Atributos diferenciadores.....</i>	<i>20</i>
3.1.3. <i>Mercado Objetivo.....</i>	<i>20</i>
3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y OFERTA	20
3.3. DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO DE TRITURACIÓN DE LLANTAS OTR.....	25
3.3.1. <i>Maquinaria.....</i>	<i>26</i>
3.3.2. <i>Especificaciones de máquinas trituradoras</i>	<i>28</i>
3.3.3. <i>Subprocesos.....</i>	<i>28</i>
3.3.3.1. <i>Destalonamiento.....</i>	<i>28</i>
3.3.3.2. <i>Corte longitudinal.....</i>	<i>29</i>
3.3.3.3. <i>Corte en secciones</i>	<i>30</i>
4. CAPITULO IV. ANÁLISIS TÉCNICO DE METODOS DE RECOLECCIÓN	31
4.1. ANÁLISIS DE UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	32
4.1.1. <i>Disponibilidad de llantas transportadas desde las mina A, D, B y C.....</i>	<i>32</i>
4.1.2. <i>Porcentaje de disponibilidad de llantas por zona</i>	<i>34</i>
4.2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA	36
4.2.1. <i>Localización Planta método centro de gravedad.....</i>	<i>37</i>
4.3. LOGÍSTICA DE TRANSPORTE	41
4.3.1. <i>Logística de transporte de llantas trituradas de la mina A hasta la planta generadora de energía.....</i>	<i>43</i>
4.3.1.1. <i>Transporte terrestre de llanta triturada desde la mina A hasta la planta generadora de energía</i>	<i>44</i>
4.3.2. <i>Logística de transporte de llantas cortadas de la mina C hasta la posible planta generadora de energía.....</i>	<i>44</i>
4.3.2.1. <i>Transporte terrestre de llanta cortada desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía</i>	<i>45</i>
4.3.2.2. <i>Transporte férreo de llanta cortada desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía</i>	<i>46</i>
4.3.3. <i>Logística de transporte de llantas cortadas de la mina B hasta la planta generadora de energía.....</i>	<i>47</i>

4.3.3.1.	Transporte terrestre de llanta cortada desde la mina B hasta la planta generadora de energía	48
4.3.3.2.	Transporte férreo de llanta cortada desde la mina B hasta la planta generadora de energía	49
5.	CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL DISEÑO PROPUESTO.....	50
5.1.	FORMULACIÓN DEL MODELO	50
5.1.1.	<i>Supuestos</i>	50
5.1.2.	<i>Subíndices</i>	50
5.1.3.	<i>Parámetros</i>	51
5.1.4.	<i>Variables de decisión</i>	52
5.1.5.	<i>Función Objetivo</i>	52
5.1.6.	<i>Restricciones</i>	53
5.2.	DATOS DE ENTRADA DEL MODELO	57
5.3.	RESULTADOS.....	59
6.	CAPITULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO	65
6.1.	ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO	65
6.1.1.	<i>Inversión</i>	66
6.1.1.1.	Alternativas de transporte	67
6.1.2.	<i>Estructura de financiamiento</i>	70
6.2.	FLUJO DE CAJA PROYECTADO.....	71
6.2.1.	<i>Estructura del flujo de caja</i>	71
6.2.1.1.	Ingresos.....	71
6.2.1.2.	Egresos	71
6.2.1.3.	Utilidad o pérdida neta	72
6.3.	RENTABILIDAD DEL PROYECTO	73
6.3.1.	<i>Calculo de tasa de descuento</i>	74
6.3.2.	<i>Tasa interna de retorno</i>	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
	ANEXOS	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.2-1 TIPO DE VEHÍCULOS DE PROPIETARIOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ILUSTRACIÓN 1.2-2 DESTINO DE LAS LLANTA QUE CAMBIAN LO PROPIETARIO DE VEHÍCULOS	¡ERROR! MARCADOR
NO DEFINIDO.	
ILUSTRACIÓN 1.2-3 PROMEDIO DEL CAMBIO DE LLANTAS POR EL USUARIO.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ILUSTRACIÓN 1.3.1-1 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO	5
ILUSTRACIÓN 1.3.2-1 DIAGRAMA DE FINES	6
ILUSTRACIÓN 2.1-1 FUENTE CANTANHEDE & MONGE TALAVERA 2002 Y ELABORACIÓN PROPIA	13
ILUSTRACIÓN 3.3-1 PROCESO DE CORTE	26
ILUSTRACIÓN 3.3.1-1 EAGLE DEBEADER	27
ILUSTRACIÓN 3.3.1-2 EAGLE PUNCH CUTTER	27
ILUSTRACIÓN 3.3.1-3 EAGLE TITAN II	27
ILUSTRACIÓN 3.3.2-1 EAGLE DEBEADER EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	29
ILUSTRACIÓN 3.3.2-2 EAGLE PUNCH CUTTER	29
ILUSTRACIÓN 3.3.2-3 EAGLE PUNCH CUTTER EN FUNCIONAMIENTO	30
ILUSTRACIÓN 4.1.2-1 PORCENTAJE DE LLANTAS RESIDUALES SUMINISTRADAS POR LAS MINAS DEL CESAR	34
ILUSTRACIÓN 4.1.2-2 MAPA DE LAS ZONAS DE ACOPIO LLANTAS RESIDUALES EN LAS MINAS DEL CESAR	¡ERROR!
MARCADOR NO DEFINIDO.	
ILUSTRACIÓN 4.2-1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA GENERADORA DE	
ENERGÍA	36
ILUSTRACIÓN 4.2.1-1 COORDENADA CARTESIANAS ÓPTIMAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	39
ILUSTRACIÓN 4.2.1-2 DISTANCIAS DE LAS ZONAS A LA UBICACIÓN DE LA PLANTA	40
ILUSTRACIÓN 4.2.1-3 LOTE URBANO DE 1000M ² ESQUINERO 34X30 LOMA DE CALENTURITAS (EL PASO,	
CESAR)	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ILUSTRACIÓN 4.3-1 TRANSPORTE LOGÍSTICO DESDE LA MINA GUAJIRA HASTA LA PLANTA GENERADORA	42
ILUSTRACIÓN 4.3-2 TRANSPORTE LOGÍSTICO DESDE LA MINA LA JAGUA HASTA LA PLANTA GENERADORA. .	42
ILUSTRACIÓN 4.3-3 TRANSPORTE LOGÍSTICO DESDE LA MINA LA LOMA CESAR HASTA LA PLANTA	
GENERADORA	42
ILUSTRACIÓN 4.3.1-1 MAPA DEL RECORRIDO POR TRANSPORTE TERRESTRE DESDE LA MINA GUAJIRA	
HASTA LA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA.	43
ILUSTRACIÓN 4.3.2-1 UNIDAD DE LLANTAS CORTADAS OTR	45
ILUSTRACIÓN 4.3.2.1-1 MAPA DEL RECORRIDO POR TRANSPORTE TERRESTRE DESDE LA MINA LA JAGUA	
HASTA LA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA.	46
ILUSTRACIÓN 4.3.2.2-1 MAPA DE LA RED FÉRREA DEL ATLÁNTICO	47
ILUSTRACIÓN 4.3.3.1-1 MAPA DEL RECORRIDO POR TRANSPORTE TERRESTRE DESDE LA MINA LA LOMA	
CESAR HASTA LA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE TABLAS

<i>TABLA 1.5-1 CRONOGRAMA</i>	8
<i>TABLA 3.2-1 DATOS PARA LA TASA DE TRITURACIÓN</i>	21
<i>TABLA 3.2-2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEPENDIENDO LA CANTIDAD A OFERTAR</i>	23
<i>TABLA 4.1.1-1 MINAS DE CARBÓN PARA SUPLIR LA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA</i>	33
<i>TABLA 4.1.1-2 TIPOS DE CAMIÓN DE EMPRESAS MINERAS DE EXPLOTACIÓN DE CARBÓN EN EL CESAR</i>	33
<i>TABLA 4.1.2-1 CANTIDAD DE LLANTAS POR ZONAS</i>	35
<i>TABLA 4.2.1-1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS (CARTESIANAS) Y CANTIDAD DE LLANTA POR MES DE CADA ZONA</i>	37
<i>TABLA 4.21-2 SUMATORIA DE LOS PRODUCTOS DE CADA ZONA POR EL MÉTODO CENTRO DE GRAVEDAD</i> ...	38

1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El siguiente proyecto consiste en diseñar una red de logística inversa de llantas residuales que logre abastecer a una planta productora de energía con el fin de entregarles a un mínimo costo la cantidad de llantas que ellos requieren por unidad.

Estos sectores han venido acumulando llantas durante generaciones, debido a que carecen de valor comercial de reciclaje, el costo de transporte y trituración es muy elevada y a que no se tenían identificadas las técnicas ya comerciales, de trituración de llantas, así como del desarrollo de productos a base de llanta usada. (Esparza, 2012). Razón por la cual se procedió a estructurar un mapa detallado de las causas y efectos de esta problemática y las distintas alternativas por las que se puede encaminar el proyecto.

La alternativa escogida es diseñar una red de logística inversa de llantas usadas provenientes de la zona minera A, D, B y C que por medio de un modelo matemático se conocerá el lugar de la trituración y el tipo de medio de transporte (Terrestre o férreo) por el cual se llevara la llanta triturada a la generadora de energía. Otra parte del proyecto importante del proyecto es definir la ubicación de dicha planta en un sitio estratégico entre proveedores y clientes que contemple el costo óptimo y la viabilidad desde el punto financiero.

1.2 Antecedentes

A medida que transcurre el tiempo el uso de llantas en vehículos de áreas urbanas y mineras esta producción efectos negativos en nuestra sociedad, sin embargo se conoce que anteriormente se realizó una investigación de proyecto de grado de la facultad de ingeniería industrial de la universidad del norte. En esta investigación se contempló la idea de diseñar una propuesta enfocada en el proceso logístico inverso para la gestión de llantas usadas, que contribuya a la disminución de la

contaminación ambiental a causa de la generación masiva de estas, que se está presentando en la Región Caribe de Colombia por ausencia o ineficiente manejo de este residuo. En esta investigación entraron en juego muchos factores como lo fueron la cantidad de llantas usadas que se desperdician, el uso que se les da a estas y la forma en que debe transportarse hasta el lugar de la planta de procesamiento. Al realizar el respectivo análisis económico pudieron concluir que como se ha demostrado, el proyecto económicamente presenta un perfil favorable para su inversión. Las tres herramientas aplicadas para su análisis han resultado positivas en cuanto a la factibilidad de ejecutar el proyecto. (Edgardo correa, 2015)

Por otro lado también es importante resaltar la investigación realizada en la universidad tecnológica de Pereira, donde se propuso diseñar un proceso de logística reversiva de llantas usadas en la ciudad de Pereira, analizando la posibilidad de abrir una empresa que se dedique a transformar el caucho en materia prima y así darle un buen manejo a las llantas todo esto mirándolo desde el punto de vista económico dando solución al impacto ambiental y cumpliendo un requisito del gobierno la cual menciona en la resolución 1457. En la investigación se analizó la población de 102.925 vehículos matriculados, 17 centros especializados (servitecas) y 27 monta llantas especializados estos dos últimos registrados en la cámara de comercio de la ciudad de Pereira, se aplicó muestreo estadístico y censo poblacional para mirar los hábitos de uso y reemplazo de las llantas, se estudió el proceso de producción definiendo las características del producto, tamaño óptimo de la planta, capacidad de producción (real – instalada y potencial), se analizó la proyección de la demanda de llantas usadas con la técnica pronóstico de análisis de regresión esta nos arrojó resultados muy significativos y por último se evaluó el proyecto con un estudio financiero para mirar la viabilidad de implementarlo y se convirtiendo esta idea en una oportunidad de negocio para la región. (Quintero & Ramírez, 2012)

1.3 Planteamiento del problema

El periodo de tiempo del ciclo de vida de la gran mayoría de objetos que se utilizan en el día a día pueden ser considerado como cortos frente a su periodo de degradación, por tal razón las compañías productoras y consumidores han generado campañas como las 4R (rechazar, reducir, reutilizar y reciclar) con la finalidad de evitar el exceso de desecho generado por el consumismo. Sin embargo estas actividades no han sido suficientes para alcanzar el objetivo en su totalidad, siguen siendo innumerables los desechos de todo tipo que se generan alrededor del mundo. Para el caso específico que se quiere tratar en este proyecto se consideran las llantas buscando aportar soluciones al sistema de 4R.

La composición típica de las llantas es el caucho natural, caucho sintético, negro de humo, acero, antioxidantes y rellenos, cada una de estas composiciones son útiles como materia prima para aprovechamientos energéticos mediante termoeléctricos, producción de pavimento asfáltico, suministro de caucho y combustible. La fabricación de llantas acude a las distintas demandas del mercado, desde llantas de tamaño pequeño para prototipos de ciclas hasta grandes camiones industriales. De acuerdo a estudios realizados se tiene que las llantas usadas que se generan anualmente rondan alrededor de 2.059.555 para una ciudad como Santa Fe de Bogotá en las que se contabilizan tipos de vehículos particulares y públicos. Ahora bien, para el estimado de otras ciudades en las que se utilizan llantas de gran magnitud esta cantidad de llantas puede incrementar hasta 3 y 4 veces lo que genera normalmente una ciudad súper poblada como la mencionada anteriormente.

De acuerdo a la UPME el 90% de los recursos y reservas geológicas localizadas hacen parte de la Costa Atlántica, lo que representa un alto porcentaje de llantas usadas como desecho que constituyen un punto central para el reciclaje de tales productos. Dentro de las minas ubicadas en el territorio colombiano se conocen las de la Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. Además de esto se conoce que las llantas que son utilizadas para el sector minero tienen un peso estimado entre 4 y 6 toneladas y miden 3.2 metros aproximadamente, mensualmente una mina hace cambio de

llantas entre 70 y 100 unidades y se conoce también que el tratado de estas llantas para estos lugares es escaso por lo que se estima que el material acumulado en estas minas es una fuente promotora del proyecto. Toda esta problemática nos conlleva a proponer el diseño de una red de logística inversa de llantas residuales para el abastecimiento de una planta productora de energía que permita reducir los costos de transporte para el acopio de llantas, aumente la producción de energía y garantice viabilidad en el uso de llantas residuales.

1.3.1 Diagrama Causa-Efecto

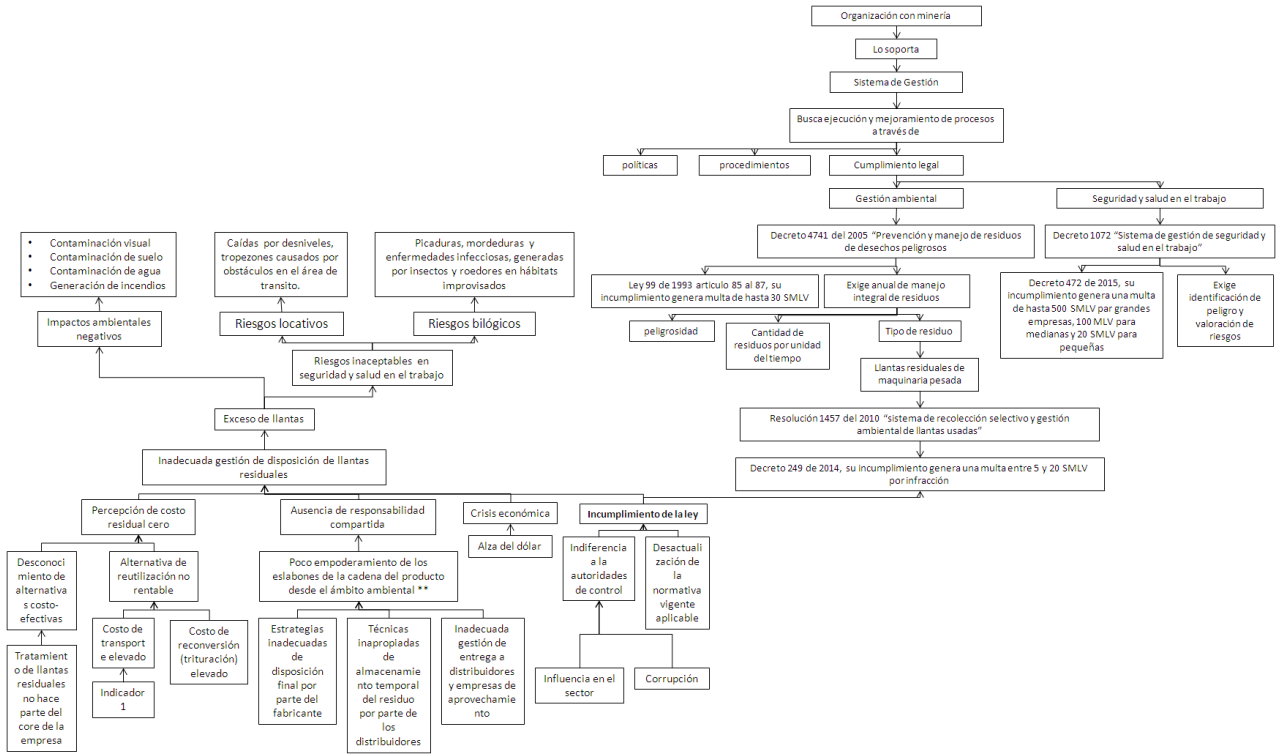


Ilustración 1.3.1-1 Diagrama causa-efecto

1.3.2 Diagrama Medios-Fines

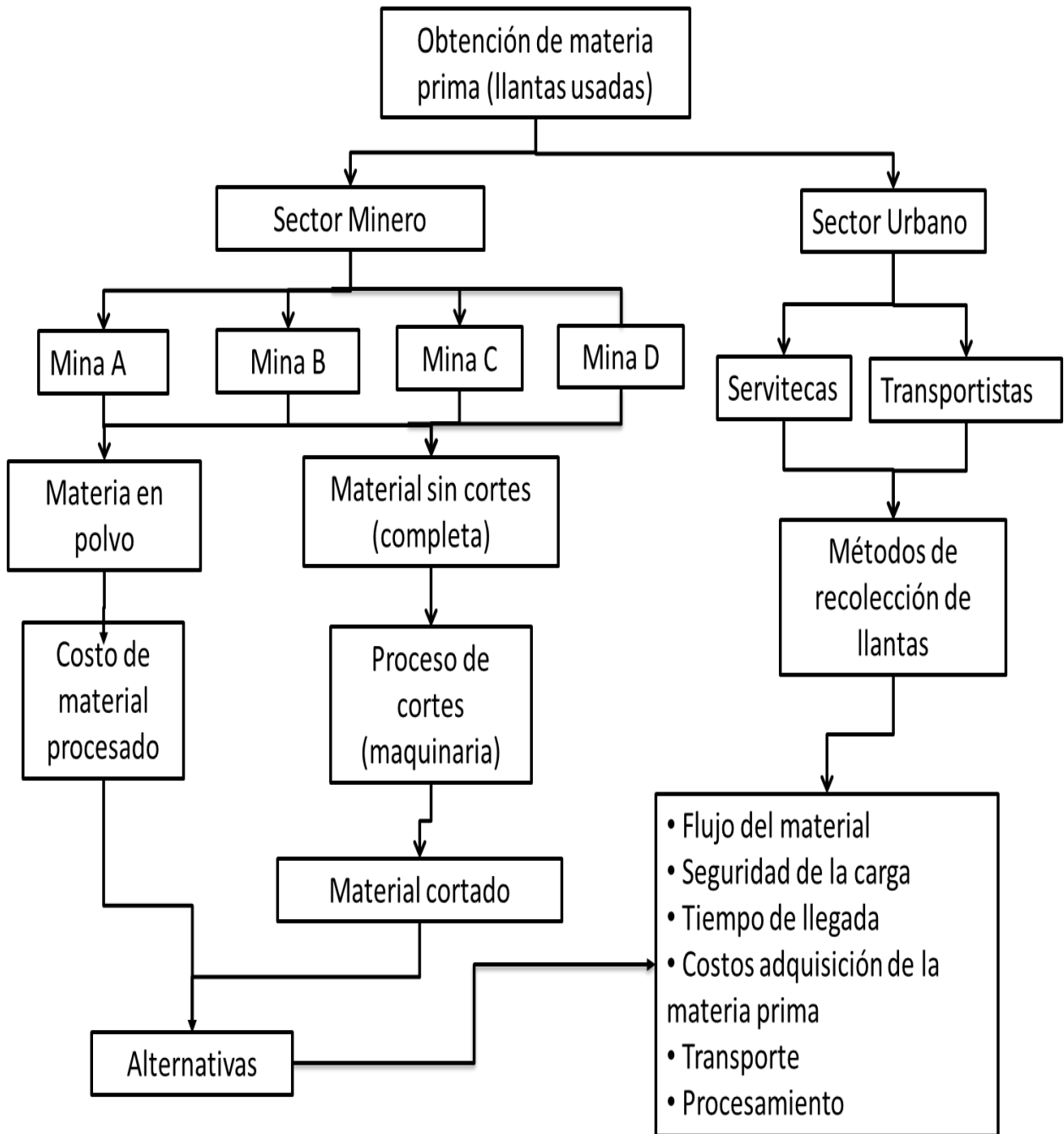


Ilustración 1.3.2-1 Diagrama de fines

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar una cadena de suministro que logre abastecer de llantas residuales a la planta de conversión de energía con el fin de optimizar costos y tiempos de entrega.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el flujo, costo y condiciones de las llantas que se suministrarán a la planta de conversión de energía.
- Determinar la localización de la planta, mediante la aplicación de métodos y algoritmos que logren establecer un punto estratégico teniendo en cuenta elementos como costos de transporte y cercanía con proveedores y clientes
- Determinar la pre factibilidad del proyecto, teniendo en cuenta el estudio financiero y económico.
- Identificar los impactos y/o consecuencias positivas y negativas de la disposición de las llantas residuales en los distintos lugares de acopio.

1.5 Cronograma de actividades del proyecto

Tabla 1.5-1 Cronograma

Actividades	ENERO		FEBRERO				MARZO				ABRIL			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Presentación del proyecto por parte del Co-director														
2. Reunión con Integrantes del proyecto de ingeniería industrial: "Diseño de una red de logística inversa para acopio de llantas residuales mediante modelación matemática" del semestre pasado.														
3. Investigación de marco teórico en las bases de datos de la universidad														
4. Reunión con el Ingeniero Lesme Caballero del departamento de Mecánica, director de proyecto de planta generadora de energía.														
5. Reunión con integrantes del proyecto de Planta Generadora de Energía del departamento de Mecánica														
6. Búsqueda de contactos para obtener información de las Minas.														
7. Definición del problema														
7.1 Delimitar el alcance del proyecto entre zonas urbanas o sector minero.														
7.2 Identificación de las causas														
7.3 Identificación de los efectos														
8. Cambio de parámetros en la alternativa de la empresa minera A por noticias de actualidad														
9. Establecer los objetivos														
10. Proponer alternativas de solución														

valdría de este insumo para llevar a cabo su actividad. Para lo anterior, el proyecto requiere pasar por las siguientes etapas:

Como primera medida se procede con la recolección de información actualizada referente a la problemática de la disposición final de llantas residuales de vehículos en Colombia, lo que implica analizar los efectos e impactos positivos o negativos que esto implica en ámbitos como la seguridad y salud en el trabajo y la gestión ambiental. Además indagar el comportamiento de las cifras, para examinar la evolución del problema al pasar de los años, validando de esta manera si los planes de acción levantados anteriormente han sido efectivos o no.

Seguidamente se aterriza el problema al sector minero en la costa caribe, dada la necesidad de encontrar una solución a la gran cantidad de llantas disponibles a disponer y la magnitud de su tamaño, lo que lo diferencia del resto de vehículos. Por lo que se contacta al personal del área pertinente en las minas más influyentes de la costa, las cuales suministrarán información en cuanto al manejo que le dan a las llantas luego de terminar su ciclo de vida, la cantidad de llantas por unidad de tiempo, los costos y los tiempos asociados a su disposición con entidades pertinentes, alternativas de solución para esta problemática, consecuencias y efectos positivos y negativos a las externalidades que les apunte, entre otros.

Simultáneamente a la gestión de información con las entidades mineras, se realiza la búsqueda de información relacionada a los procesos de conversión de llanta en polvo para usarse como insumo para la planta energética (planta trituradora), para esto se contacta al departamento de ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte para revisar fuentes primarias y secundarias de información y luego hacer un MATCH de ambos temas¹ y tomar decisiones tales como: capacidad de la planta en función del flujo de llantas en las minas, el tipo de transporte del polvo de llanta a la planta generadora de energía en función de criterios como costos, seguridad de la carga, tiempos de entrega, entre otros.

Otra etapa del proyecto es determinar la red de distribución de logística inversa de las llantas usadas, es decir cuáles de las figuras de la cadena de suministro se involucrarán en esta red y definir las características de los mismos.

Cuando se tenga la información pertinente, se procede a realizar la localización de la planta generadora de energía con técnicas como centro de gravedad, se sugiere que esta se encuentre lo más cercano a las diferentes minas ya que servirá de autoconsumo.

Por último se realiza el estudio de pre factibilidad del proyecto que involucra los análisis financiero y económico para determinar si es viable la puesta en marcha del mismo.

En cuanto a las limitaciones para que el proyecto culmine sus etapas a cabalidad, se identificaron:

- Desplazamiento hacia las Minas
- Contacto a las áreas encargadas de las llantas en las instalaciones
- Confidencialidad de la información
- Disponibilidad de tiempo
- Veracidad de la información en su totalidad.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco de Referencia

Actualmente se registra un volumen creciente en la generación de llantas usadas a nivel mundial. La disposición final de las llantas usadas ha llegado a representar un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública. En efecto, las llantas son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio. Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir. Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología de control adecuada genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera. Por otro lado, las llantas usadas almacenadas se convierten en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores que ponen en riesgo la salud de la población. (Cantanhede, 2002)

La cantidad de recursos requeridos para la fabricación de las llantas y los impactos que generan su inadecuado manejo y disposición, hacen necesario revisar la manera como se emplean las mismas, con el propósito de maximizar su tiempo de vida útil, para beneficiar al usuario al permitirle recorrer más kilómetros por el mismo dinero, y al medio ambiente, al disminuir los requerimientos de materia prima y la cantidad de llantas en uso. (Bogotá, 2006)

Las llantas presentan una estructura compleja, formada por diversos materiales como caucho, acero y tejido de poliamida o poliéster. Sin embargo las llantas pueden tener otro tipo de uso, entre las diferentes formas de manejo de las llantas usadas se encuentran su apilamiento, entierro, reusó (reencauchamiento) y reciclaje (en ingeniería civil, regeneración del caucho, generación de energía, producción de asfalto o fabricación de nuevos materiales). (Cantanhede, 2002)

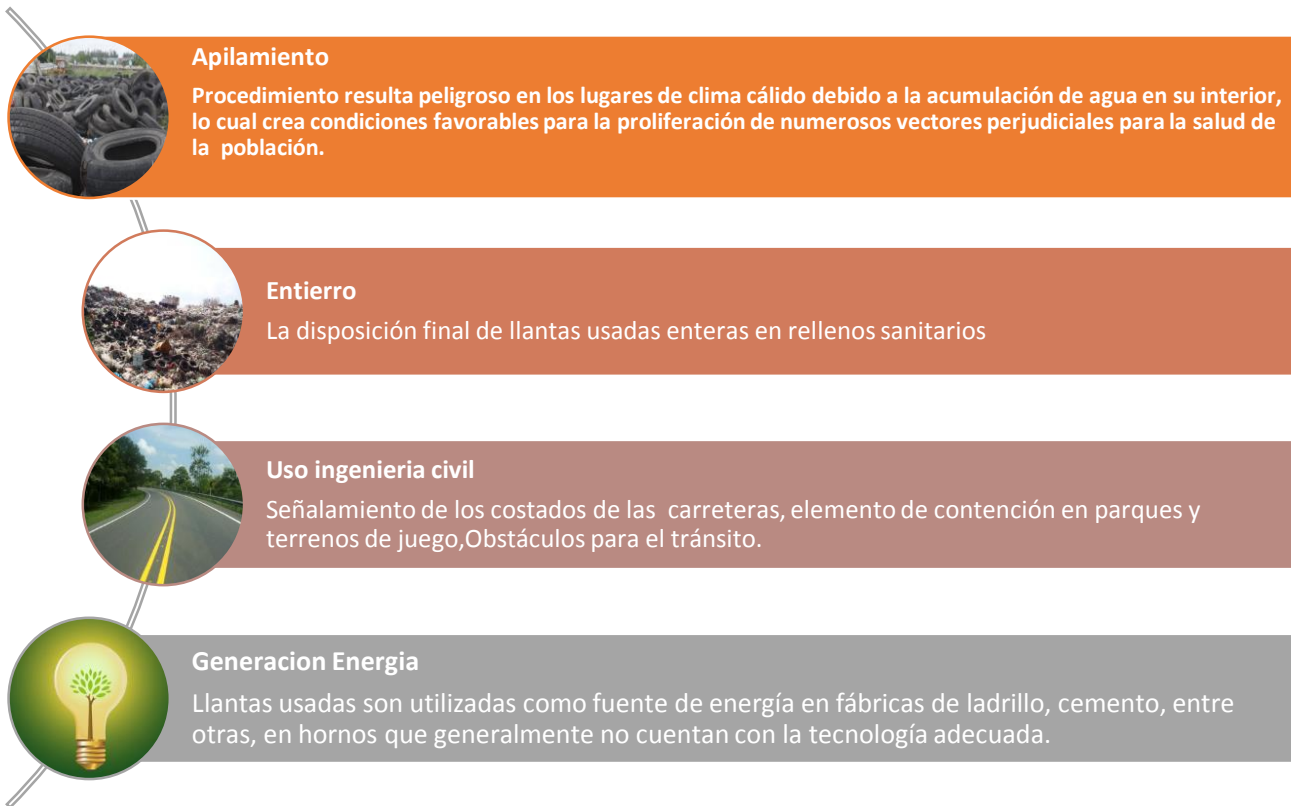


Ilustración 2.1-1 Fuente Cantanhede & Monge Talavera 2002

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado el desarrollo de la logística en las empresas durante las últimas décadas ha sido significativo debido a la posibilidad de lograr ventajas competitivas a través de ella. Hoy día existe la posibilidad de recuperar y aprovechar económicamente aquellos productos que dejan de satisfacer las necesidades del consumidor; esto genera un flujo de materiales y productos. De acuerdo con la filosofía de Porter, el desarrollo de la función logística en la empresa durante las últimas décadas ha sido significativo debido, fundamentalmente, a la posibilidad de lograr ventajas competitivas sostenibles a través de ella. Han sido muchas las definiciones que se han formulado sobre el concepto de logística, y en todas ellas se establece un único sentido para el flujo de materiales y productos que circula a través del sistema logístico desde el productor hacia el consumidor. Hoy en día existe la posibilidad de recuperar y aprovechar económicamente aquellos productos

que dejan de satisfacer las necesidades del consumidor; dicha recuperación genera un flujo de materiales y productos desde el consumidor hasta el productor, que por oposición al tradicional flujo logístico productor-consumidor se denomina Logística Inversa o Función Inversa de la Logística. (Cure Vellojín, L Meza & Amaya, 2011)

La logística determina y coordina en forma óptima producto, cliente, lugar y tiempo correctos. Sus actividades claves son las siguientes:

- Servicio al cliente.
- Transporte.
- Gestión de inventarios.
- Procesamiento de pedidos.

En conjunto estas actividades lograrán la satisfacción del cliente y a la empresa la reducción de costos, que es uno de los factores por los cuales las empresas están obligadas a enfocarse a la logística. (Groenevelt, H. y Majumder, 2001).

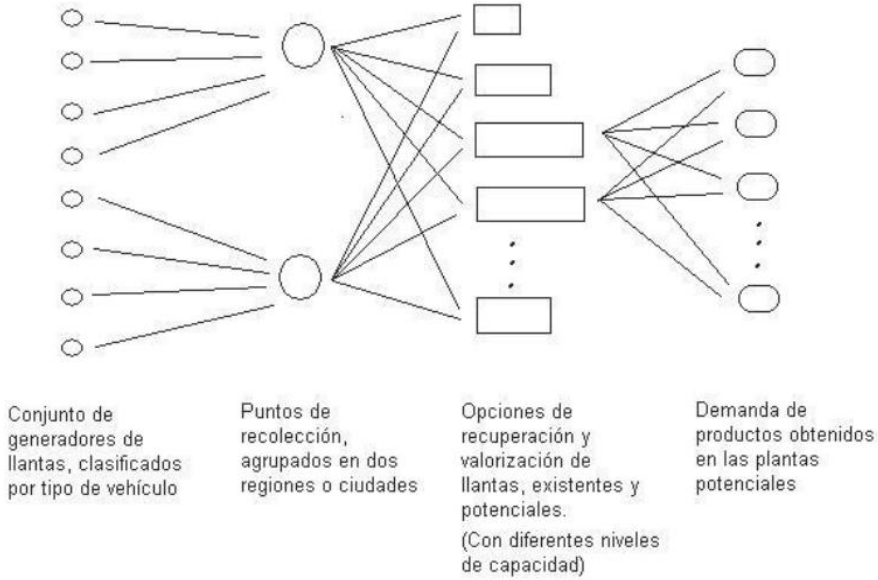
En Colombia, para la mayoría de las industrias, la logística inversa es un tema relativamente nuevo como teoría formar. Existen casos puntuales de empresas colombianas que han aplicado la logística inversa, ya sea por motivos económicos, ambientales, de responsabilidad social, recuperación de materias primas, servicio al cliente, imagen corporativa, expandir mercado y competencia. Un caso válido de nombrar es el de Michelin Colombia / Icollantas; la empresa debió implementar un sistema de logística inversa para poder ofrecer el servicio de reencauche de llantas radiales a sus clientes, proceso que consiste en recuperar las llantas de manos de los usuarios, re manufacturarlas y devolverlas a los mismos. La empresa cuenta con seis plantas de reencauche en el país. (N. Monroy & M. Ahumada, 2006).

También es importante mencionar que las leyes colombianas hoy en día rigen nuevas normas con respecto al uso de las llantas residuales como es el caso de la Resolución 1457 de 2010 “Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección

Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones” con el fin de organizar la recolección y la gestión ambiental de las llantas usadas. La cual en los artículos 1 y 2 establece que los productores de llantas en el país, la obligación de formular, presentar e implementar y mantener actualizados los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente. También se deberá privilegiar y potenciar por encima de cualquier otra estrategia, la minimización y la reducción de la generación de residuos fomentando como primera opción la actividad de reencauche técnico de llantas. Como segunda prioridad se fomentará el aprovechamiento y la valorización de llantas usadas, considerándolos como recursos, para la construcción de vías, mobiliario urbano y rural, elementos de construcción, generación de energía y demás opciones técnica y ambientalmente viables. En la parte inferior de la jerarquía deberá considerarse la disposición final adecuada de los residuos de llantas usadas sin factibilidad de aprovechamiento ni valorización. (Ministerio, 2014)

Un claro ejemplo del manejo de las llantas según la resolución colombiana mencionada anteriormente fue la asociación nacional de empresarios de Colombia (ANDI), la cual se sometió a un análisis del sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de las llantas usadas y se pudo encontrar que el sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas no incluye en su ámbito de aplicación las llantas de bicicletas y motocicletas, y no tiene en cuenta que año tras año el uso de estos medios de transporte está tendiendo a aumentar, lo que podría generar una problemática importante ya que no hay medios para llevar a cabo la gestión de este tipo de llantas usadas, las cuales terminarían dispuestas inadecuadamente en el espacio público de Bogotá. Se concluyó que el Distrito Capital genera estrategias para que se lleve a cabo el aprovechamiento de llantas usadas, como lo es el grano de caucho, mediante la Resolución 6981 de 2011 de la Secretaría Distrital de Movilidad y la Secretaría Distrital de Ambiente "Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital". (Muñoz, 2015)

Debido a las nuevas normativas para el uso de las llantas se han realizados investigaciones, modelos de programación lineal y técnicas en búsqueda de soluciones viables para la disminución del acopio de llantas residuales. En la ciudad de Pereira y Dosquebradas se llevó a cabo una aplicación al caso específico de la gestión de llantas fuera de uso en las ciudades, evaluando las alternativas que existen en la recuperación y valorización de este tipo de residuo, con el fin de incurrir en el menor costo posible y/o generar beneficios para la Región.



*Ilustración 2.1-2 Red de logística inversa para la gestión de llantas y neumáticos fuera de uso.
Fuente: Calderón, 2012*

Siguiendo el modelo expuesto en la ciudad de Pereira y de acuerdo al análisis el modelo de programación lineal realizado, con el fin de obtener una maximización en la recuperación de las llantas que no se encontraban en uso en las ciudad. En la investigación se tenía como función objetivo la ilustración 2.1 – 3.

$$\begin{aligned}
& \text{Maximizar } \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 \sum_{h=1}^5 \sum_{o=1}^5 X_{ijh} A_{ih} v_{oj} F_{ojh} + \sum_{i=1}^5 \sum_{m=1}^3 \sum_{h=1}^5 Y_{imh} R_{mh} \\
& - \left[\sum_{j=1}^3 CA_j N_j + \sum_{j=1}^3 \sum_{h=1}^5 CF_{jh} Z_{jh} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 \sum_{h=1}^5 CV_{jh} X_{ijh} A_{ih} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 \sum_{h=1}^5 B_{ijh} X_{ijh} A_{ih} \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^2 \sum_{h=1}^5 C_{ikh} W_{ikh} A_{ih} + \sum_{i=1}^5 \sum_{m=1}^3 \sum_{h=1}^5 Y_{imh} G_{imh} \right]
\end{aligned}$$

Ilustración 2.1 -3 Función Objetivo Modelo matemático

Fuente: Calderón, 2012

En la cual la función objetivo buscaba maximizar el beneficio obtenido en la recuperación de las llantas fuera de uso, definido como la diferencia entre los ingresos (derivados de la venta de los productos, obtenidos de la trituración de llanta y venta de neumáticos), y la sumatoria de los costos de apertura de una potencial planta de tratamiento j, los costos fijos y variables de operación de la potencial planta en un período de cinco años, así como los costos de recolección y transporte de las llantas de los tipos de vehículo i a las plantas de tratamiento potencial j y/o a las plantas existentes k, y los costos de la gestión de neumáticos. Se tuvieron en cuenta restricciones de acuerdo a las capacidades de las ciudades y los costos.

De acuerdo al modelo pudieron obtener resultados con un amplio espectro de posibilidades y variantes, acerca de los modelos de programación matemática y las técnicas de solución aplicadas. Se encontró que los modelos empleados han presentado una evolución, desde cuando se formularon modelos de programación lineal entera mixta, con la consideración de la capacidad de las instalaciones, pasando por modelos que consideraron el retorno de múltiples productos, y/o múltiples períodos (localización dinámica). Así mismo, aplicaciones en diferentes contextos, han dado lugar a nuevos planteamientos, y se encontraron modelos que consideran la incertidumbre en el retorno de productos (con carácter estocástico), así como análisis complejos que buscan tomar decisiones, bajo el análisis de otros

criterios que influyen en las mejores alternativas por implementar, como es el caso de los modelos de programación multi-objetivo que involucran no sólo el análisis de costos, sino también el análisis costo-beneficio y el impacto ambiental y social, involucrando análisis de ciclo de vida (LCA), y análisis jerárquico. (Calderón, 2012)

3. CAPÍTULO III. DESARROLLO CONCEPTUAL

3.1. Descripción del producto o servicio

La principal función de la empresa es generar energía eléctrica ya sea para autoconsumo o para la venta sirviéndose de llantas desechadas como materia prima, por lo que se requiere del diseño de una red logística para la recolección y entrega de la materia prima, partiendo de los puntos de acopio de llantas hasta la planta generadora de energía. Para alimentar el análisis del producto terminado (energía) se detallan los usos y especificaciones de la red logística, así como el detalle de los procesos.

3.1.1. Usos y especificaciones

El producto que se utilizará como materia prima es el caucho vulcanizado granulado, tiene densidad de 1.109 gr/cm^3 a 25°C y su forma física es en Gránulos de forma irregular, los cuales son intervenidos mediante tratamientos térmicos como combustión (Incineración), pirolisis y gasificación. Una vez las llantas pasen por el proceso de trituración son depositadas al inventario de la planta para la generación de la energía eléctrica y para su aprovechamiento en el sector minero.

En el margen industrial las llantas desechadas adquieren valor residual nulo por lo que cualquier uso posteriori para este material generará valor agregado a la empresa, por esta razón en los últimos años se han hecho investigaciones y creado proyectos para aprovechar el material sin generar efectos ambientales, tales como emisiones, deterioro a cielo abierto, entre otros. En la actualidad el proyecto más reciente es la trituración en polvo de las llantas para fabricar mezcla asfáltica y se ha registrado en países como Brasil y en ciudades como Bogotá en los cuales ya ha hecho uso de este asfalto (Infante, 2007). Sin embargo en la mina A desarrolla una planta para la producción de caucho molido con la finalidad del uso mencionado anteriormente.

3.1.2. Atributos diferenciadores

Como atributo diferenciador la empresa ha desarrollado un modelo de red logística basado en el transporte de recolección en minas y entrega en planta de las llantas para su uso como materia prima, estableciendo puntos claves para la organización y desarrollo del proyecto tales como localización de planta, modelo de corte, empaquetado para envío y distribución de energía eléctrica por medio de un modelo matemático de programación lineal. Para el diseño de la red logística se implementó un modelo basado en la logística inversa, teniendo en cuenta que a nivel local y regional no existe una empresa que recicle llantas para generar energía. Además de esto se precisa como valor agregado el uso adecuado según lo indican las normativas del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y leyes nacionales para estos tipos de desechos, generando un producto con alta utilización en el mercado sin dejar residuos o emisiones al medio ambiente, adicionalmente la empresa garantiza procesos optimizados con mano de obra calificada, calidad y eficiencia en la prestación del servicio eléctrico. (RETIE, 2005)

3.1.3. Mercado Objetivo

El mercado base para la distribución de la energía generada por la planta son en principio las empresas proveedoras de la materia prima, es decir, las minas con grandes volúmenes de caucho que de acuerdo a estudios de investigación se dice que el estimado de inventario para cada una de ellas es suficiente para cubrir la demanda de la planta durante 20 años aproximadamente y que lo generado en llantas desechadas anualmente sería suficiente para cubrir la capacidad de la empresa en el mismo periodo, por lo que a grandes rasgos se dice que la planta sirve como suministro parcial de energía para las minas y total para la propia planta, esto se debe a la localización de la planta.

3.2. Análisis de la demanda y oferta

El análisis de la oferta permitirá determinar la cantidad anual de llanta triturada que se va a ofrecer a la planta generadora para su abastecimiento, con lo que se

tomarán decisiones en base a los límites que se han especificado previamente para el desarrollo de su actividad, los cuales oscilan entre 2.400 y 28.000 toneladas anuales. Con los resultados que arroje el análisis, se tendrá un acercamiento de la posibilidad de satisfacer su requerimiento como mercado. La cantidad tentativa a ofrecer se obtiene en base al horario laboral de los operarios, quienes lograrán conseguir la llanta desechada en estado final de polvo como materia prima para la generación de energía. Para esto se ha determinado que la mano de obra tendrá un horario laboral de dos turnos que suman 16 horas diarias de Lunes a Sábado con dos turnos de 8 horas, excluyendo los días domingos y festivos, con este tiempo se podrá determinar la cantidad de llantas a producir diarias teniendo en cuenta que el proceso de trituración de llanta en estado final de polvo demora aproximadamente 35 minutos, y con esto la cantidad anual teniendo en cuenta que se trabajarán aproximadamente 291 días. Los resultados de estos cálculos se muestran en la tabla 3.2-1.

Tabla 3.2-1 Datos para la tasa de trituración

Datos para la tasa de trituración	
Tiempo de ciclo de corte/llanta (minutos)	35
Horas diarias	12
Min/día	720
Llantas trituradas por día	21
Días laborales al año(excluyendo domingos y festivos)	291
Llantas trituradas al año	5986
Toneladas a ofertar	17.300

Es importante resaltar que las 3 máquinas que permitirán el triturado de la llanta podrán estar en una sola mina al tiempo, por lo que su desplazamiento entre ellas será alternado anualmente, de esta manera no se ven afectados los costos por el transporte terrestre para movilizar las máquinas de una mina a otra. Con esta decisión, conviene analizar la tasa de desecho de llantas de cada una de ellas más su inventario inicial, para posteriormente compararlo con las toneladas que se pueden triturar anualmente e ir actualizando el inventario que se encuentra

almacenado en los cementerios que las albergan, y con esta información determinar si es posible cumplir con los requerimientos anuales de la planta generadora para llevar a cabo su actividad. Además, con este análisis se concluirá en qué año se acaba completamente el inventario y por cuánto tiempo se podrá abastecer la planta.

La actualización del inventario que queda en el cementerio de llantas, se ve afectada porque no todos los años las máquinas trituradoras llegan a las minas, en este caso la tasa de desecho se duplica ya que no hay salida de material. Esta decisión se tomó para ahorrar costos de transporte de las máquinas trituradoras, sin embargo esta tasa de producción anual no afecta al envío de la materia prima obtenida a la planta generadora, puesto que no se dará espera a fin de año para enviar esta cantidad específica si no que se irá enviando haciendo uso del transporte férreo con los cuales cuentan cada Mina, adaptándose a la capacidad de cada una. Éstas son:

- Mina B: 12 Locomotoras de 130 vagones con capacidad 100ton c/u
- Mina C: 16 Locomotoras de 700 Vagones con capacidad 66 ton c/u

En la tabla siguiente, se presentan los datos iniciales de los inventarios actuales de los cementerios de llantas de las minas B y C, además la capacidad en toneladas de llantas anuales que se pueden triturar. Con esta información se actualizó el inventario año a año, restándoles la cantidad a triturar a aquella mina donde llegaba las máquinas trituradoras, las cuales era transportadas a la generadora por medio transporte ferroviario , con los que cada Mina cuenta con una capacidad específica mencionada anteriormente. Se eligió este medio de transporte por que el almacenamiento de llantas es un problema que afecta a las minas directamente y tienen los medios con los cuales solucionarlo, además la capacidad de sus vagones es mayor a las toneladas que puede transportar un camión tipo patineta o tractomula, que como máximo puede transportar 34 toneladas, por el contrario los vagones pueden soportar entre 61 y 100 toneladas y el número de vagones de cada línea férrea es significativo para transportar la carga. Otro punto a favor es que el

número de viajes con la vía férrea será menor que con el terrestre, el cual tendrá que aumentar este último para lograr obtener la capacidad a transportar.

Tabla 3.2-2 Análisis de inventario dependiendo la cantidad a ofertar

	Mina B	Mina C
Inventario inicial de llantas (ton)	58.956	183.804
Tasa de desecho anual (ton)	2.948	9190
Inventario año 1	61.904	192.994
Cantidad anual a triturar año 1	17.300	-
Inventario disponible Fin año 1	44.603	192.994
Inventario año 2	47.551	202.184
Cantidad anual a triturar año 2	-	17.300
Inventario fin año 2	47.551	184.884
Inventario año 3	50.499	194.074
Cantidad anual a triturar año 3	17.300	-
Inventario fin año 3	33.199	194.074
Inventario año 4	36.146	203.264
Cantidad anual a triturar año 4	-	17.300
Inventario fin año 4	36.146	185.964
Inventario año 5	39.094	195.154
Cantidad anual a triturar año 5	17.300	-
Inventario fin año 5	21.794	195.154
Inventario año 6	24.742	204.344
Cantidad anual a triturar año 6	-	17.300
Inventario fin año 6	24.742	187.044
Inventario año 7	27.690	196.234
Cantidad anual a triturar año 7	17.300	-
Inventario fin año 7	10.389	196.234
Inventario año 8	20.248	205.425
Cantidad anual a triturar año 8	-	17.300
Inventario fin año 8	20.248	188.124
Inventario año 9	23.196	197.314
Cantidad anual a triturar año 9	17.300	-
Inventario fin año 9	5.896	197.314
Inventario año 10	8.843	206.505
Cantidad anual a triturar año 10	-	17.300
Inventario fin año 10	8.843	189.204
Inventario año 11	11.791	198.394
Cantidad anual a triturar año 11	11.791	-
Inventario fin año 11	-	198.394

Inventario año 12	-	207.585
Cantidad anual a triturar año 12	-	17.300
Inventario fin año 12	-	190.284

Luego de hacer el ejercicio por doce años, se llegó a la conclusión que la Mina B empezó con un inventario el año 1 de 61.940 toneladas de llantas y concluyó el año 12 sin inventario disponible para triturar, este disminuyó drásticamente hasta el año 11 con 11.791 toneladas, cantidad menor a la que se tritura anualmente por lo que se decide hacer el proceso por esta cantidad y ofrecer una menor a la que se había estado ofreciendo antes, lo que implica ahorro de costos de operación ya que se requieren menos horas y días laborales. Con lo anterior se concluye, que con la Mina B se logra abastecer la planta generadora durante 11 años con 6 viajes anuales y con una cantidad total de 98.291 toneladas. Para el caso de la mina C, se empezó con un inventario en el año 1 de 192.994 toneladas de llantas y concluyó el año 12 con 190.284 toneladas, lo que demuestra que el inventario disminuyó en 2710 toneladas durante los doce años. Además, esta mina logró abastecer a la planta generadora durante todo este tiempo proyectado, por medio de 6 viajes anuales ofreciéndole 103.802 toneladas y con inventario disponible para seguir abasteciendo con su materia prima.

En cuanto a los niveles de inventario para la mina C no fue tan ventajoso que para la mina B porque en aquellos meses en los que la trituradora no llegaba a su Mina, su tasa de desecho anual más su inventario inicial lo afectaba drásticamente, al ser 3 veces mayor que el de la mina B.

Para finalizar cabe concluir que en los doce años se logra abastecer a la planta generadora en una cantidad de 202.093 toneladas, con lo que anualmente se abastecía con 17.300, cifra con la que se alcanza un porcentaje de satisfacción de requerimientos de la generadora en un 40%, tomando de referencia las 14000 toneladas de llanta triturada con los cuales ellos necesitan abastecer, sin embargo logramos cumplir con los límites 1200-14000.

Sin embargo después de realizar el análisis de oferta con respecto a los inventarios que manejarían las diferentes minas con respecto a su tasa de desecho en toneladas mensuales, se decidió que para obtener mayor precisión en la cantidad a ofertar por cada mina se utilizara un modelo de programación lineal que permitirá conocer por medio de una variable de decisión la cantidad óptima.

3.3. Documentación del proceso de trituración de llantas OTR

En el transcurso de la producción de energía el proceso requiere de técnicas y métodos para los cortes seccionados de las llantas desechadas por lo que se hace necesario utilizar herramientas y maquinas especializadas en procesos de cortes para luego entregar la materia prima a los procesos de pirolisis, gasificación, lavado y secado de los granos de llantas. Es importante recalcar que las llantas requieren de un prelavado antes de comenzar el proceso de triturado por lo que se aclara que el agua de lavado será utilizada tantas veces sea necesario, garantizando así que durante cada sección del proceso se aproveche al máximo cada uno de los recursos en uso. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se plantea el tratamiento de la llanta mediante el siguiente gráfico.

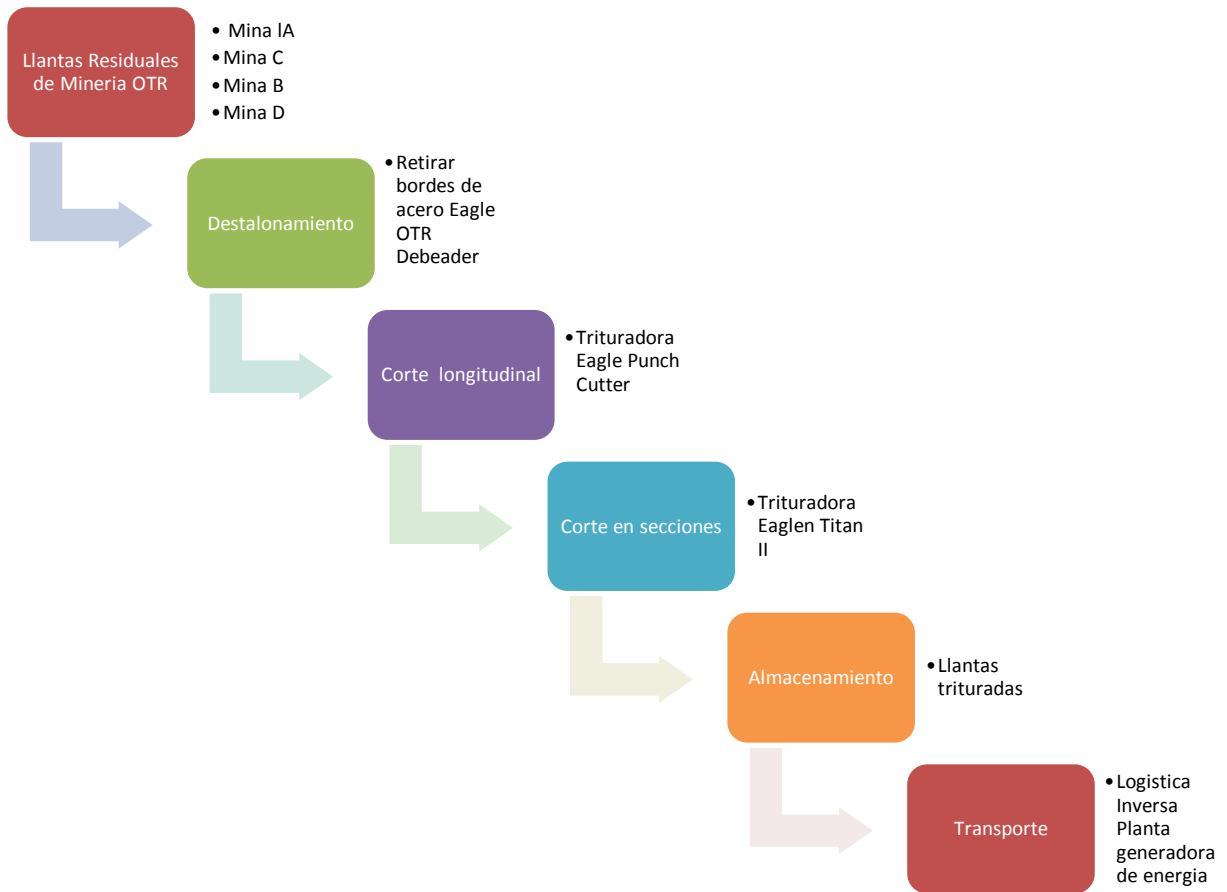


Ilustración 3.3-1 Proceso de corte

Para el proceso de destalonamiento inicial se requiere que la llanta no presente impurezas que afecten el tratamiento en la máquina o que afecten la vida útil de la máquina, de ser así se incluye cuanto sea necesario una etapa más de lavado.

3.3.1. Maquinaria

De acuerdo a los procesos planteados en el diagrama anterior se establece que el proceso de corte completo requiere de 3 máquinas básicas hasta el corte seccionado, el cual es empaquetado y enviado en el transporte hasta la planta generadora. Las máquinas de corte son las siguientes:

- Eagle Debeader



Ilustración 3.3.1-1 Eagle Debeader. Fuente: Eagle International, 2014.

- Eagle Punch Cutter



Ilustración 3.3.1-2 Eagle Punch Cutter. Fuente: Eagle International, 2014

- Eagle Titan II



Ilustración 3.3.1-3 Eagle Titan II. Fuente: Eagle International, 2014

3.3.2. Especificaciones de máquinas trituradoras

- Eagle OTR Debeader: Esta máquina cuenta con la ventaja de ser portable, trabaja con material combustible diésel, las medidas de la máquina son 11.35m, 2.58m y 4.4m de longitud, ancho y altura respectivamente, trabaja con presión de 20.684 MPa con sistema hidráulico.
- Eagle Punch Cutter: Esta máquina sirve al proceso para el corte del neumático y lo hace de forma longitudinal utilizando un punzón como herramienta para hacer los cortes en puntos clave que permiten la separación del neumático única y exclusivamente en dos partes, cortando desde el centro, la capacidad máxima de altura que permite esta máquina es de 3.9m, esta máquina puede ser manipulada manualmente o bien sea programable permitiendo que se trabaje automáticamente, la máquina corta 13cm por punzada y la hoja de corte 17cm de ancho, en promedio tarda 20 minutos por cada corte, las dimensiones de la máquina son de 3.2m, 1.61m y 2.08m de longitud, ancho y altura respectivamente, cabe resaltar que esta máquina es transportable por lo que para el proyecto es de gran ventaja por el diseño de la red.
- Eagle Titan II: En este punto la máquina recibe la llanta cortada longitudinalmente, es decir, en dos mitades para hacer los cortes seccionales, la máquina funciona con combustible diésel y sus dimensiones de longitud, ancho y altura son de 11.043m, 2.445m y 3.137m respectivamente; una vez se tiene este corte en las llantas se empaquetan los trozos por 4 partes para ser lavados, secados y llevados para trituración granular.

3.3.3. Subprocesos

3.3.3.1. Destalonamiento

Este proceso consiste en retirar los bordes de acero de las llantas, sosteniendo fuertemente el acero con el brazo y extrayendo por jalado el metal. En primer lugar las llantas son apoyadas y levantadas para garantizar

la seguridad del material, si el neumático es demasiado grande pasa por esta operación dos veces con la finalidad de retirar por completo el metal de ambas caras de la llanta. Por otro lado, para pequeñas llantas la maquina es capaz de extraer al mismo tiempo el aro de metal en una sola operación.



Ilustración 3.3.2-1 Eagle Debeader extracción del material. Fuente: Eagle International, 2014

3.3.3.2. Corte longitudinal

Este corte se da de acuerdo a la necesidad de la llanta, ya que dependiendo del tamaño de la misma es posible pasar directamente al corte seccionado sin pasar por esta etapa del corte.



Ilustración 3.3.2-2 Eagle Punch Cutter. Fuente: Eagle International, 2014

3.3.3.3. Corte en secciones

En este punto la llanta es cortada en secciones de forma vertical como se logra ver en la figura 3.3.2-3, este corte dura aproximadamente 2 min en adelante dependiendo del grosor de la llanta. Una vez se corta a esta dimensión la llanta, con ayuda de un montacargas se compilan las llantas cortadas para armar paquetes. **Ver anexo 1.**



Ilustración 3.3.2-3 Eagle Punch Cutter en funcionamiento. Fuente: Eagle International, 2014

4. CAPITULO IV. ANÁLISIS TÉCNICO DE METODOS DE RECOLECCIÓN

Generalmente la recolección de datos o en nuestro caso el proceso para obtener la información pertinente con respecto a la cantidad de materia prima (Llantas residuales Mineras) que nos pueden suministrar las tres diferentes minas de carbón para la planta generadora de energía, se convierte en la herramienta más importante para nuestra investigación ya que conociendo la cantidad que nos pueden suministrar estas minas podemos analizar las diferentes logísticas de recaudación de las llantas mineras. Sin embargo para la recolección de datos en la investigación se tuvo en cuenta muchos factores que beneficiaran la búsqueda de la información, ya que como es el caso de la mina A, esta no entraría en nuestro proceso de trituración de llantas ya que actualmente se encuentran en proceso de instalación de una planta recicladora cerca de sus instalaciones para la sostenibilidad del medio ambiente y su entorno.

Por consiguiente en nuestra recolección de datos solo entran en análisis las dos empresas mineras ubicadas en el cesar y la mina en córdoba. La primera alternativa es realizar el acopio y trituración de las llantas en la mina y enviarlo por medio terrestre hasta donde se encuentre la planta generadora de energía la cual debe estar ubicada cerca de estas minas ya que va a servir como fuente de energía tanto para las máquinas de trituración como para las propias minas es decir servirá como fuente de autoconsumo. La segunda alternativa es realizar la trituración y acopio de las llantas en la mina y enviarlo a la planta generadora de energía por transporte férreo por medio de la empresa férrea la cual serviría de intermediaria para la entrega de las llantas trituradas a la generadora de energía.

Por otro lado es importante resaltar que no se tiene en cuenta en la investigación los medios de transporte fluvial y marítimo para el transporte de la carga de las llantas trituradas porque como se mencionó anteriormente por los requisitos de la generadora de energía y para las máquinas de trituración y consumo de las minas de carbón debe encontrarse cerca de estas y en estos puntos del departamento del

Cesar no encontramos medios fluviales que permitan el transporte de la carga desde las minas hasta el lugar donde se encuentre ubicada la planta generadora de energía.

4.1. Análisis de ubicación de la planta

Para la localización de la planta es necesario analizar todos los factores que favorezcan estratégicamente el lugar en el cual se deba situar. Para analizar la ubicación de esta se debe tener en cuenta el alcance que esta tiene ya que como se mencionó anteriormente servirá de autoconsumo para las máquinas de trituración de las llantas dentro de las minas y también será una fuente de energía para las propias minas, una en mina C, otra en la mina B y la otra en la mina D. Sin embargo también es importante tener en cuenta otros factores como lo son los servicios básicos, mano de obra, las fuentes de materia prima e insumo como es el caso de las llantas mineras, la demanda en el mercado y el acceso más factible y óptimo para el transporte de la carga.

Por lo tanto para determinar la ubicación que debe tener la planta, lo más importante que se debe tener en cuenta es la cantidad de llantas que suministraran cada una de las minas que se tomaron en cuenta en la recolección de datos como es el caso de las minas en el Cesar, con el fin de disminuir costos tanto de transporte como servicios generales por la cercanía de estas a el suministro del insumo.

4.1.1. Disponibilidad de llantas transportadas desde las mina A, D, B y C.

Es muy importante recalcar y hacer énfasis en la factibilidad que se busca para poder suplir en la mayor cantidad posible a la planta generadora de energía. Es por esto que es necesario determinar cuál de las cuatro minas nos puede suministrar la mayor cantidad de llantas ya que para poder conocer el lugar más indicado para la ubicación de la generadora de energía la materia prima es el insumo más importante.

Tabla 4.1.1-1 Minas de carbón para suplir la planta generadora de energía.

Ítem	Empresas Mineras	Dirección
1	Mina A	La Guajira
2	Mina C	Cesar
3	Mina B	Cesar
4	Mina D	Córdoba

Asimismo como antes se mencionó la empresa de minería A nos suministra de las llantas en estado de trituración es por esto que en el análisis de disponibilidad de llantas no se tendrá en cuenta. Como pudimos conocer en las especificaciones de las llantas OTR de las dos minas en el cesar y la mina córdoba según el tipo de camión utilizado son los siguientes:

Tabla 4.1.1-2 Tipos de camión de empresas mineras de explotación de carbón en el Cesar

Empresa	Tipos de camión minero
Mina B	Ref. 793 B C D Caterpillar
Mina C	777, 789 y 793 Caterpillar 3500 y 4500 Hitachi
Mina D	Caterpillar, 793D

Teniendo en cuenta la información antes dicha pudimos conocer que en promedio cada llanta residual de estos tipos de camión es equivalente a 2,89 metros aproximadamente y con un peso de 4 toneladas; por esto que para la realización del transporte desde las minas hasta el sitio donde se encuentre ubicada la generadora de energía se utilizaran camiones de gran tamaño en el cual se pueda transportar la mayor cantidad de paquetes de 4 piezas de llantas triturada que como se mencionó anteriormente tendrán un peso de aproximadamente toneladas.

4.1.2. Porcentaje de disponibilidad de llantas por zona

De acuerdo a lo anteriormente dicho y analizando la factibilidad del proyecto inicialmente contaremos con una cantidad de 242.760 toneladas de llantas suministradas por las minas en el cesar y la mina en córdoba. Las cuales suministrarían la materia prima que en este caso sería la llanta completa para su siguiente proceso que corresponde a la trituración.

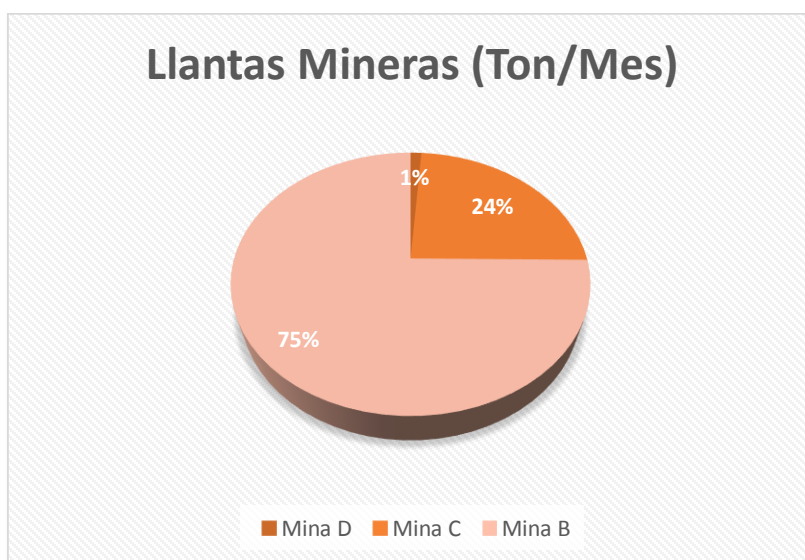


Ilustración 4.1.2-1 Porcentaje de llantas residuales suministradas por las minas B, C y D.

Como podemos observar en la figura 4.1.2-1 contamos con un 24% de toneladas por mes de la mina C y con un 76% de la mina B lo cual es un buen indicio de posibilidad para suministrar efectivamente a la planta generadora de energía ya que podríamos cumplir con la demanda que requiere la planta que es entre 1200 y 14000 toneladas por año.

Para mayor entendimiento y manejo de la información llamaremos a la mina C como zona I, la mina B como zona II y la mina D zona III en la cual se enfocara nuestra

búsqueda de la ubicación de la planta ya que como mencionamos anteriormente en su alcance lo más viable es que se encuentre cerca de las zonas.

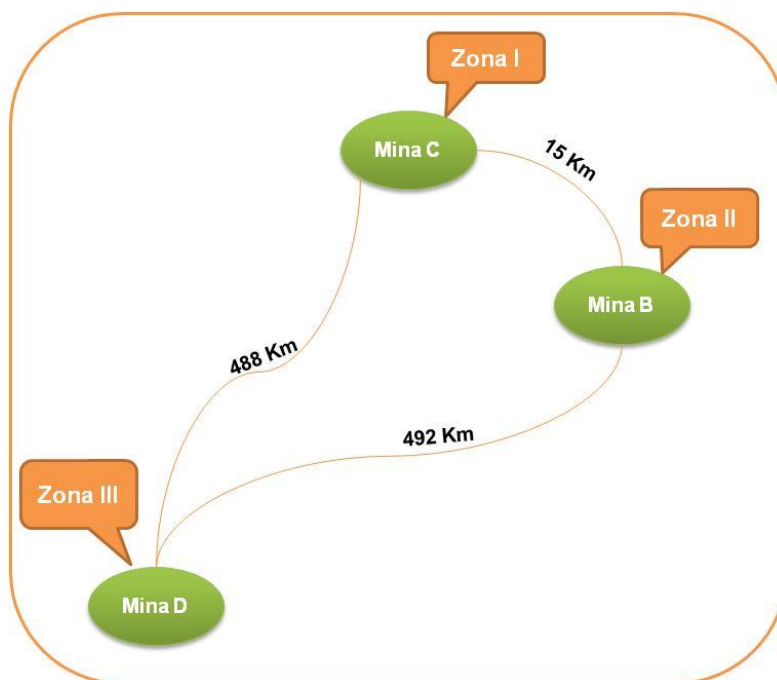


Ilustración 4.12-2 Mapa de las zonas de acopio llantas residuales en las minas del Cesar

- Zona I Mina C
- Zona II Mina B
- Zona III Mina D

Por otro lado también es importante tener claro la cantidad de toneladas por mes que pueden abastecer las dos zonas de estudio como podemos observar en la siguiente tabla 4.1.2-1. Las zonas con sus respectivas cantidades.

Tabla 4.1.2-1 Cantidad de llantas por zonas

Zona	Llantas (Ton/Mes)
I	245,65
II	765,85
III	12

4.2. Localización geográfica de la planta

Para encontrar la ubicación adecuada para la planta productora de energía es importante tener en cuenta los siguientes factores que permitirán que esta sea sostenible y autosuficiente para su producción de energía:

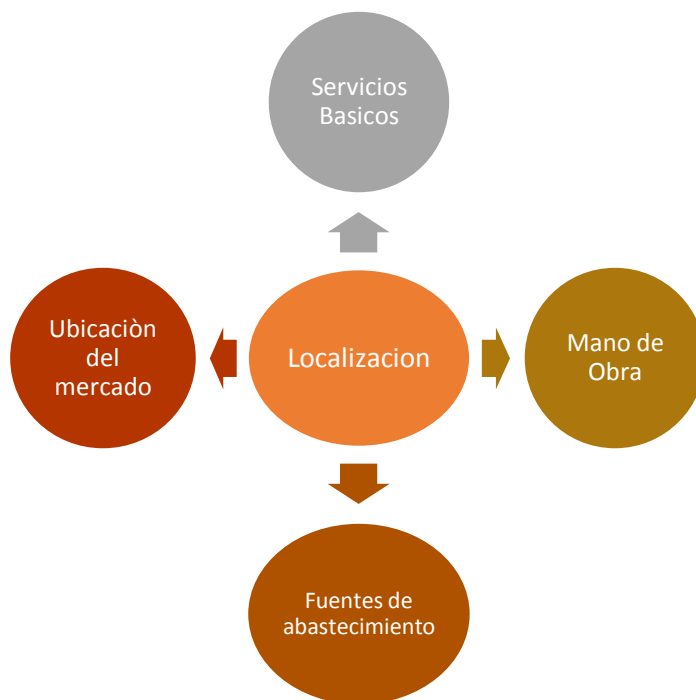


Ilustración 4.2-1 Factores que influyen en la localización de la planta generadora de energía.

Después de conocer y tener claro los factores a tener en cuenta para la ubicación de la planta generadora de energía, inicialmente debemos conocer que método nos puede permitir conocer la ubicación teniendo en cuenta la cantidad de llantas suministradas por las minas ya que como se mencionó anteriormente la mina A solo suministraría la materia prima es decir no se beneficiaría de la planta y tampoco utilizaría la maquinaria para la trituración de esta. Por consiguiente el método a utilizar para la ubicación es el de centro de gravedad (CG) que minimiza las distancias entre los puntos de acopio y puntos de demanda de las llantas mineras, el cual consiste en un algoritmo que contempla coordenadas de las zonas y aporte de material por cada una de ellas. Este método trabaja con coordenadas geográficas

que pueden ser altitud y longitud, coordenadas cartesianas y coordenadas de un municipio. A continuación encontraremos las formulas a utilizar para encontrar las coordenadas optimas de la planta generadora de energía.

4.2.1. Localización Planta método centro de gravedad

De acuerdo a lo mencionado anteriormente las formulas a utilizar para conocer las coordenadas óptimas de la planta son las siguientes:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n d_{ix} * V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad C_y = \frac{\sum_{i=1}^n d_{iy} * V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

En donde:

C_x = Coordenada en x

C_y = Coordenada en Y

d_{ix} = Distancia de la ubicación i en términos de la coordenada x

d_{iy} = Distancia de la ubicación i en términos de la coordenada y

V_i = Aporte de la ubicación

Conociendo los datos y la ubicación de cada una de las minas. A continuacion encontraremos las coordenadas geograficas de cada zona como anteriormente se conocio la zona I como la mina C y la zona II como la mina B y tambien la cantidad de llantas a desechar por mes respectivamente.

Tabla 4.2.1-1 Coordenadas geográficas (Cartesianas) y cantidad de llanta por mes de cada zona.

Zona	Coordenadas centro		Llantas (ton/Mes)
	X	Y	
I	9,65281	-73,469084	245,65
II	9,59088	-73,50413	765,85
III	7,9195	-75,55224	12

Despues de conocer las coordenadas de centro de cada zona respectivamente procedemos a realizar el procedimiento por medio de los calculos de la sumatoria del

producto entre las coordenadas de centro y el aporte en toneladas por mes de cada zona como se muestra a continuación en la tabla 4.2.1-2 :

Tabla 4.2.1-2 sumatoria de los productos de cada zona por el método centro de gravedad

Zona	Coordenadas centro		Llantas (ton/Mes)	$d_{ix} * Vi$	$d_{iy} * Vi$
	X	Y			
I	9,65281	-73,469084	245,65	2371,212777	-18047,68048
II	9,59088	-73,50413	765,85	7345,175448	-56293,13796
III	7,9195	-75,55224	12	19,9195	-63,55224
Total (Σ)			1011,5	9716,388225	-74340,81845

Siguiendo con el procedimiento del método del centro de gravedad, después de conocer la suma producto de cada zona procedemos a realizar los cálculos de las coordenadas óptimas para la ubicación de la planta:

$$C_x = \frac{9716,388225}{1011,5} = 9,60592014$$

$$C_y = \frac{-74340,81845}{1011,5} = -73,4956188$$

PO = (9,60592014; -73,4956188)

Conociendo estas coordenadas cartesianas procedemos a utilizar la herramienta de google Maps para la ubicación de los puntos en términos de latitud y longitud de la planta generadora de energía. Como podemos observar en la figura 4.2.1-1 la ubicación óptima para la planta generadora de energía es en el municipio del paso de la jagua de ibirico en el cesar.



Ilustración 4.2.1-1 Coordenada cartesianas óptimas para la localización de la planta en el paso cesar.

Como se observa las coordenadas cartesianas obtenidas dan como resultado que la planta como se mencionó anteriormente debe estar ubicada en el paso, la Jagua de Ibirico un municipio ubicado en el departamento del cesar el cual se encuentra a 17 minutos de la zona I, 9 minutos de la Zona II y a 6 horas de la zona III, lo cual es beneficioso y cumple con los requerimientos del alcance que tiene la planta generadora de energía. Por otro lado el municipio también cumple con los factores enunciados anteriormente para el establecimiento de la planta ya que cuenta con todos los servicios generales. A continuación podemos observar en el mapa las distancias de las minas en el cesar con respecto a la ubicación de la planta generadora de energía.

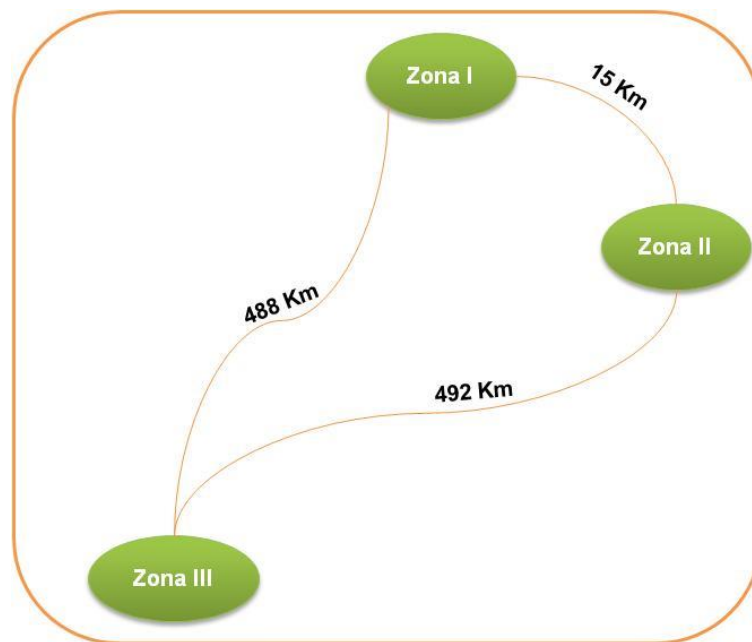


Ilustración 4.2.1-2 Distancias de las zonas a la ubicación de la planta

Por factores de cercanía y cumplimiento de los requisitos para poder llevar a cabo la planta generadora de energía y obtener un buen suministro de la materia prima para su funcionamiento se escogió el lote que a continuación se observa:



Ilustración 4.2.1-3 Lote urbano de 1000m2 esquinero 34X30 loma de calenturitas (El paso, Cesar)

El lote puede abastecer de agua, alcantarillado y se encuentra a 10 minutos de la entrada a las minas aproximadamente lo cual es de mucho beneficio para la planta ya que esta es una fuente de autoconsumo y fuente de energía para las minas de explotación de carbón.

4.3. Logística de transporte

Como se había mencionado previamente, la fuente de llantas a triturar para conversión de energía será tomada de minas en Colombia. Esto tiene sentido por dos razones, la primera es la gran cantidad de llantas almacenadas por muchos años en un solo sitio y la segunda es la dimensión de estas llantas (OTR); las cuales tienen un peso promedio de 3 toneladas. Para el presente proyecto se tomarán llantas de cuatro importantes minas, las cuales denotaremos como *mina A*, *mina B*, *mina D* y *mina C*. Es importante mencionar que la *mina A* tiene una planta trituradora de llanta OTR, lo que significa que para acceder a estas es necesario comprar la materia prima. Lo que la diferencia de las otras dos minas, las cuales no tienen ningún costo, ya que para estas empresas tener estas llantas es un problema porque no saben que hacer con ellas cuando termina su vida útil, por lo que las dejan en un “cementerio de llantas” dentro de la misma mina. Siendo esto una ventaja para el presente proyecto, ya que el costo del material sería netamente el de la logística de transporte.

De acuerdo a lo planteado en la sección 4, referente a la localización de la planta, esta debe estar lo más cercano posible a las *minas B* y *C*, esto debido a que la generación de energía es para autoconsumo de las mismas. Teniendo en cuenta esto, la planta generadora de energía estará ubicada en el Paso-La Jagua de Ibirico, Cesar. La cual se encuentra a una distancia aproximada de 6.6 kilómetros hasta la *mina C* y 13.2 km hasta la *mina B*. Por lo anterior, es preciso especificar que tendremos dos alternativas para abastecer la planta generadora de energía. La primera es comprar la materia prima a la empresa trituradora que está ubicada en la *mina A* y la segunda es tomar las llantas de los “cementérios” de las *minas C* y *B* para realizarles el proceso de corte para luego transportarlas de una forma más eficiente hasta la generadora. En los siguientes cuadros se puede observar las alternativas anteriormente planteadas.

Alternativa 1:



Ilustración 4.3-1 Transporte logístico desde la mina A hasta la posible planta generadora

Alternativa 2.1:

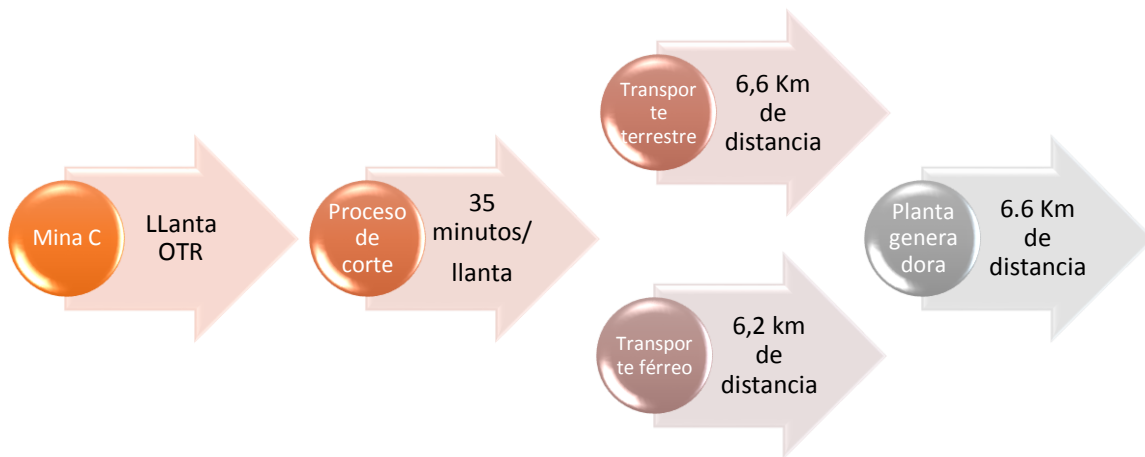


Ilustración 4.3-2 Transporte logístico desde la mina C hasta la posible planta generadora.

Alternativa 2.2:

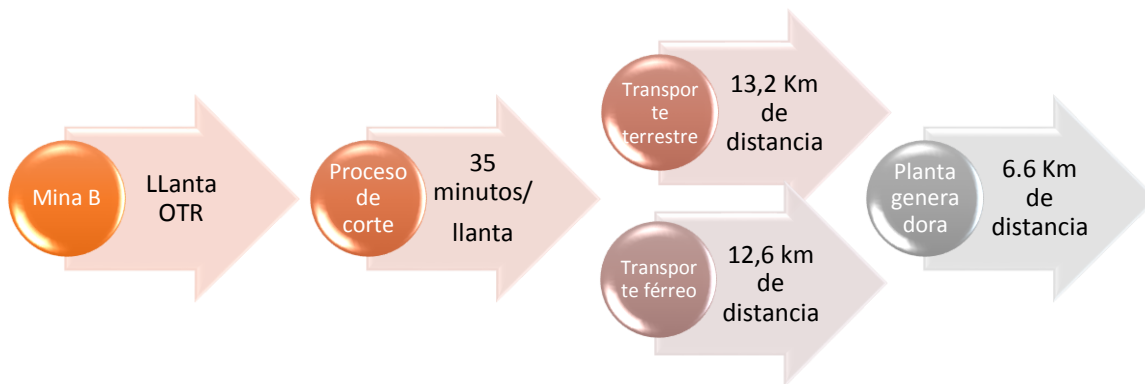


Ilustración 4.3-3 Transporte logístico desde la mina B hasta la posible planta generadora.

Alternativa 2.3:

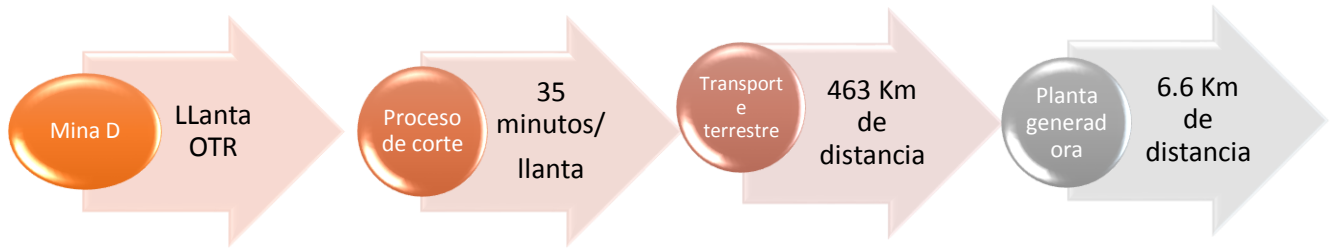


Ilustración 4.3-3 Transporte logístico desde la mina B hasta la posible planta generadora.

4.3.1. Logística de transporte de llantas trituradas de la mina A hasta la planta generadora de energía

Para abastecer a la planta generadora de energía una de las alternativas es comprar las llantas ya trituradas en la mina A. Lo que significa que todos los costos desde la mina A hasta la generadora deberán ser asumidos adicionalmente. Debido a la ubicación geográfica del proveedor de llantas trituradas la única opción viable es por medio terrestre. A continuación se puede observar en el mapa la distancia que debe recorrer la materia prima hasta llegar a la planta generadora, una distancia aproximada de 245Km.



Ilustración 4.3.1-1 Mapa del recorrido por transporte terrestre desde la mina A hasta la posible planta generadora de energía.

4.3.1.1. Transporte terrestre de llanta triturada desde la mina A hasta la planta generadora de energía

Las llantas provenientes de esta mina se encuentran trituradas en pequeñas partículas, lo que las convierte en un tipo de carga a granel sucia. Dado estas características el modo de transporte el mas adecuado es el de camion tipo volqueta- tolva, con un peso maximo permitido para transitar por las vias nacionales de 35 toneladas, lo que quiere decir que los viajes se realizaran a furgon lleno, ya que la limitante de este tipo de carga esta dada por peso, mas no por volumen. El costo de transportar un furgon lleno desde la mina A hasta la planta generadora, ubicada en el paso-la jagua de ibirico es de \$2.299.687, incluyendo los costos de cargue y descargue. Teniendo en cuenta estos datos, el costo de enviar una tonelada desde la mina A hasta la planta generadora es de \$38.571.

4.3.2. Logistica de transporte de llantas cortadas de la mina C hasta la posible planta generadora de energía

Para diseñar la logistica de transporte de las llantas pertenecientes a la C, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones, la primera es que estas llantas han sido almacenadas en un espacio a cielo abierto desde hace mas de 20 años. Por lo que se estima un inventario aproximado de 183.800 toneladas. La segunda consideracion es la tasa de desecho de llantas al mes de 265 unidades, lo que se traduce en aprox 9.190 toneladas al año.

Teniendo en cuenta la *figura 4.3-2* se puede observar que es necesario realizar un proceso de corte previo al transporte hasta la planta generadora. Este proceso de corte consta de 3 etapas: destalonamiento, corte longitudinal y corte en secciones; el cual tiene una duracion aproximada de 35 min/llanta. Es decir que si las maquinas trabajan 12 horas diarias, se tendra una tasa de produccion de 20 llantas al dia, es decir 480 llantas al mes, lo que se traduce en 1.387 toneladas al mes.

Una vez las llantas son cortadas se agruparan en paquetes de 4 unidades, equivalentes a 1 tonelada como se observa a continuacion:

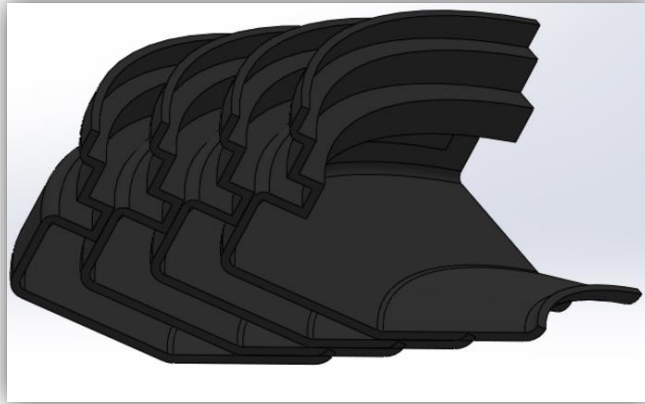


Ilustración 4.3.2-1 Unidad de llantas cortadas OTR

De esta manera se transportaran las llantas desde la mina C hasta la planta generadora. Debido a la naturaleza de estas minas, cuentan con un sistema de transporte ferreo el cual es usado para transportar el carbon hasta los puertos. Siendo esto una gran ventaja ya que puede usarse el ferrocarril como una alternativa de transporte. Sin embargo para el estudio del presente proyecto se procede a evaluar los dos modos de transporte viables, el terrestre y el ferreo.

4.3.2.1. Transporte terrestre de llanta cortada desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía

Considerando la corta distancia que hay entre la mina C hasta la planta generadora de energia, es necesario evaluar la posibilidad de enviar estas llantas por transporte terrestre. A continuacion podemos observar en el mapa el recorrido que debe hacer el camion, el cual tiene una distancia de 6,6 Km.

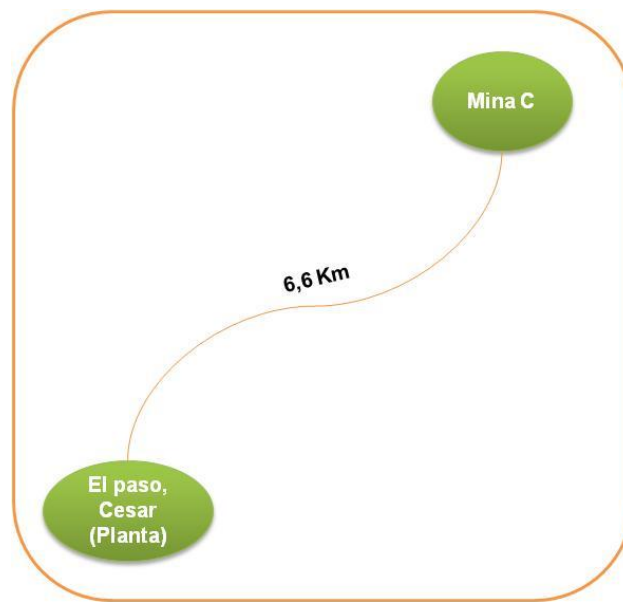


Ilustración 4.3.2.1-1 Recorrido por transporte terrestre desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía.

Debido a las características de las llantas agrupadas el tipo de camión que más se ajusta es el de tipo estaca, con una capacidad máxima permitida para transportar por las vías nacionales de 35 toneladas. Lo que significa que en cada camión se enviarían 35 paquetes de llantas. El costo de transportar un furgón lleno desde la *mina C* hasta la posible ubicación de la planta generadora es de \$394.843, incluyendo los costos de carga y descarga.

4.3.2.2. Transporte férreo de llanta cortada desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía

El transporte férreo utilizado por esta mina está a cargo de una empresa colombiana que tiene la concesión de la vía férrea en el norte de Colombia. Esta mina cuenta con 700 vagones, los cuales tienen una capacidad de 66 toneladas. A continuación se muestra en el mapa el recorrido que hace el tren y las estaciones donde se detiene.



Ilustración 4.3.2.2-1 Red férrea del norte de Colombia

La distancia que recorre el tren desde la mina C hasta la posible planta generadora de energía es de 6,2Km.

4.3.3. Logística de transporte de llantas cortadas de la mina B hasta la planta generadora de energía

El diseño de la logística de transporte de las llantas pertenecientes a la *mina B* cesar es el mismo que para el de mina C. La diferencia esta en la tasa de llantas desechadas al mes. En este orden de ideas se estima un inventario aproximado de 58.900 toneladas y una tasa tasa de desecho de llantas al mes de 85 unidades, lo que se traduce en aprox 2.948 toneladas al año.

Teniendo en cuenta la *figura 4.3-3* se puede observar que el proceso de corte de unidad agregada de llantas cortadas OTR y transporte es el mismo. Al trabajar bajo el mismo supuesto de trabajar 12 horas diarias, se tendra una tasa de produccion de 20 llantas al dia, es decir 480 llantas al mes, lo que se traduce en 1.387 toneladas al mes. Las llantas agregadas se transportaran desde la mina B hasta la planta generadora. Esta mina tambien tiene la posibilidad de transporte ferreo,

Debido a la naturaleza de estas minas, cuentan con un sistema de transporte ferreo el cual es usado para transportar el carbon hasta los puertos. Siendo esto una gran ventaja ya que puede usarse el ferrocarril como una alternativa de transporte. Sin embargo para el estudio del presente proyecto se procede a evaluar los dos modos de transporte viables, el terrestre y el ferreo.

4.3.3.1. Transporte terrestre de llanta cortada desde la mina B hasta la planta generadora de energía

Para realizar el transporte desde la mina hasta la planta generadora de energía, el tipo de camion que mas se acomoda es el de estaca de capacidad maxima de 35 toneladas. El cual debe hacer un recorrido de 13,2Km como se puede ver en el siguiente mapa:

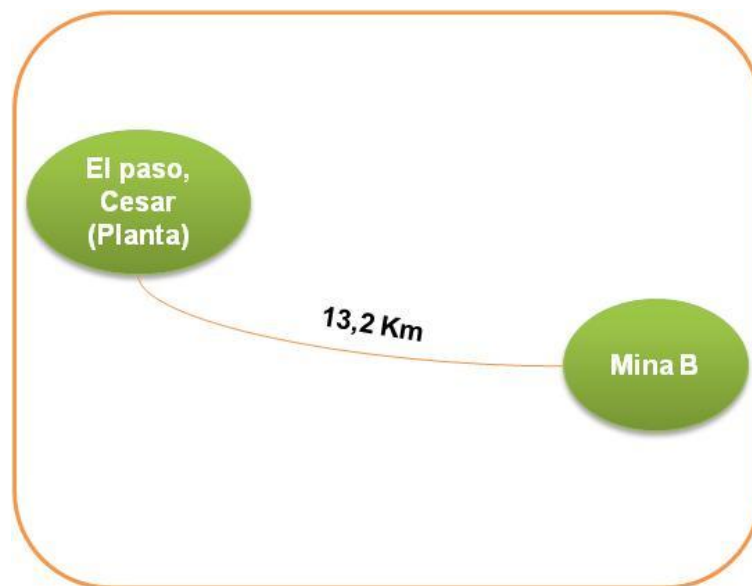


Ilustración 4.3.3.1-1 Mapa del recorrido por transporte terrestre desde la mina B hasta la posible planta generadora de energía.

En cada camion se pueden enviar 35 paquetes de llantas. El costo de transportar un furgon lleno desde la *mina B* hasta la planta generadora es de \$2'800.000,

incluyendo los costos de cargue y descargue. Teniendo en cuenta estos datos, el costo de enviar una tonelada desde la mina C hasta la planta generadora es de \$11.428.

4.3.3.2. Transporte férreo de llanta cortada desde la mina B hasta la planta generadora de energía

El transporte ferreo utilizado por esta mina esta al igual que la mina C a cargo de la empresa de transporte ferreo. Esta mina cuenta con 130 vagones, los cuales tienen un capacidad de 50 toneladas.

La distancia que debe recorrer el tren desde la mina B hasta la planta generadora de energia en el caso que esta se encuentre ubicada en el paso cesar es de 12,6Km, que se traduce en \$100.000/vagon transportado.

Como anteriormente se mencionó en el análisis de la demanda y oferta en este caso tambien se tomo la decision de realizar un medelo matematico de prgramacion lineal para conocer cual transporte era más factible y en qué lugar ubicar la planta generadora de energía con el fin que las distancias sean la mas factible y practica para la planta generadora de energia.

5. CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL DISEÑO PROPUESTO

5.1. Formulación del modelo

Cuando se tiene un solo conjunto de máquinas trituradoras

5.1.1. Supuestos

- Se asume que sólo se abrirá una generadora, la cual una vez abierta no se vuelve a cerrar. Las minas restantes abastecerán la planta generadora con sus llantas.
- Se asume que las minas ceden sus llantas a la generadora ya que la acumulación de estas en sus empresas implica un grave problema que incurre en multas con el estado.
- Se asume que la planta generadora cubrirá el costo de trituración y el resto de las minas el flete hasta la planta.
- Se sabe que la mina A será un proveedor de llanta triturada para la generación de energía.
- Se sabe que el transporte férreo solo aplica para transportar entre las minas C y B, ya que estas son las únicas que cuentan con una red férrea que las conecte entre sí.
- Se asume que todo lo que se envía a la planta generadora de energía, se procesa.
- Se asume que las unidades a enviar desde cada una de las minas hasta la generadora es el inventario inicial actual de las mismas.

5.1.2. Subíndices

i = Conjunto de minas ($i = 1, 2, 3, 4$); donde 1: Mina A, 2: Mina C, 3: Mina B, 4: Mina D

j = Plantas generadoras ubicadas en la mina tipo i ($j = 1, 2, 3, 4, 5$); Donde 1: Planta mina A, 2: Planta mina C, 3: Planta mina B, 4: Planta mina D, 5: El paso.

m = Tipo de transporte de llantas OTR ($m = 1,2$); donde 1: Férreo, 2: Terrestre.

t = Período en semestres ($t= 1, 2, 3, 4, 5...40$)

h = Conjunto de máquinas trituradoras en la mina i ($h = 1, 2, 3$); donde 1: Mina C, 2: Mina B, 3: Mina D.

5.1.3. Parámetros:

- C_{ijtm} Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte m .
- CT_{iht} Costo de transporte del conjunto de trituradoras de la mina i a la trituradora h en el período t .
- F_{jt} Costos de apertura de una planta generadora j en el período t
- FT_{ht} Costos de apertura del conjunto de máquinas trituradoras h en el período t .
- CF_{jt} Costos fijos de la instalación de la generadora j en el período t .
- CV_{jt} Costos variables de la instalación j en el período t .
- K_h Capacidad del triturador h .
- E_m Capacidad máxima del tipo de transporte m .
- IN_i Inventario inicial de la mina i .
- T_i Tasa de desecho de toneladas de llantas anual de la mina i .
- IF_{it} Inventario final de la mina i en el tiempo t .
- D_j = Demanda de llantas requeridas por la generadora.
- Z_t = Costo fijo de adecuar la trituradora en las minas.
- LI_{jt} Límite inferior de demanda de la generadora de energía en el semestre t .
- LS_{jt} Límite superior de demanda de la generadora de energía en el semestre t .

5.1.4. Variables de decisión:

X_{ijtm} Cantidad de toneladas a enviar desde la mina i hasta la planta j en el período t por el medio de transporte m .

Y_{ht} = Variable binaria que toma el valor 1 si el conjunto de máquinas trituradoras h , es abierta en el periodo de tiempo contemplado y 0 en caso contrario $\{0,1\}$ Las maquinas pueden abrirse y cerrarse en cualquier tiempo t .

Y_{jt} = Variable binaria que toma el valor 1 si la planta generadora j , es abierta en el periodo de tiempo contemplado y 0 en caso contrario $\{0,1\}$ una vez abierta no se cierra.

IF_{it} Inventario final de la mina i en el tiempo t .

5.1.5. Función Objetivo

Minimizar los costos de la red de abastecimiento de llantas residuales para la planta generadora de energía de autoconsumo.

$$\begin{aligned}
 Z(\text{Mín}) = & \sum_{h=1}^3 \sum_{t=1}^{40} FT_{ht} Y_{ht} + \sum_{j=1}^5 \sum_{t=1}^{40} F_{jt} Y_{jt} + \sum_{j=1}^5 \sum_{t=1}^{40} CF_{jt} Y_{jt} \\
 & + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 \sum_{t=1}^{40} \sum_{m=1}^2 CV_{jt} X_{ijtm} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 \sum_{t=1}^{40} \sum_{m=1}^2 \frac{C_{ijtm}}{E_m} X_{ijtm}
 \end{aligned}$$

La ecuación minimiza el costo de la red de abastecimiento de llantas residuales para la planta generadora de energía de autoconsumo, definido como la sumatoria de los costos de apertura de un potencial conjunto de máquinas trituradoras h , los costos de apertura de una potencial planta generadora de energía de autoconsumo j , los costos fijos y variables de operación de la potencial planta generadora de energía en un período de cuarenta semestres, así como los costos de recolección y transporte

de las llantas para las plantas generadoras de energía j mediante el tipo de transporte m .

5.1.6. Restricciones

1) Indica que la cantidad de toneladas de llanta que se debe recolectar entre las minas en un período t , debe cumplir con un mínimo de toneladas para que la planta generadora pueda operar, el cual corresponde a 1200 ton.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{40} X_{ijt} \geq L_{jt} Y_{jt} \quad \forall j$$

2) Indica que la cantidad de toneladas de llanta recolectadas entre las minas no puede sobrepasar la capacidad de la planta generadora. Esta capacidad corresponde a un valor de 14000 ton por semestre t .

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{40} X_{ijt} \leq LS_{jt} Y_{jt} \quad \forall j$$

3) Indica que la cantidad de llantas a enviar desde cualquier mina i en el tiempo t , no puede sobrepasar la capacidad del conjunto de máquinas trituradoras que permitirán obtener la llanta triturada.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{40} X_{iht} \leq K_h Y_{ht} \quad \forall h$$

4) Indica que las toneladas de llantas a enviar en un periodo t , deben ser menores o iguales al inventario final de esa mina en el periodo anterior $t-1$.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 X_{ijt} \leq IF_{it-1} \quad \forall t$$

5) Indica que las máquinas trituradoras pueden abrirse y cerrarse en cualquier tiempo t .

$$\sum_{h=1}^3 Y_{ht} \leq 1 \quad \forall t$$

6) Indica que sólo puede abrirse una generadora y que una vez abierta no vuelve a cerrarse.

$$\sum_{j=1}^5 Y_{jt} \leq 1 \quad \forall t$$

7) Indica el inventario final de la mina i en el tiempo $t+1$, teniendo en cuenta las toneladas de llanta que se retiran del cementerio de llantas y la tasa de desecho de cada mina i .

$$IF_{it+1} = IF_{it} - X_{ijt} + T_i$$

8) Forzar al modelo a cumplir con las metas de recolección y aprovechamiento de la llanta triturada en la mina i de acuerdo a la resolución 1457 de 2010.

$$IF_{it} \leq 0,5IN_i; t \geq 5$$

9) Las restricciones presentes en este inciso, indican los costos de de apertura y operación las máquinas trituradoras, en las 3 minas posibles dónde pueden instalarse, puesto una de ellas ya tiene una operación establecida de trituración de llantas. Cabe resaltar que los costos variables de operación de las máquinas trituradoras, tales como la mano de obra, se encuentran contemplados en los costos variables de la operación de la planta generadora.

Para la Mina 1:

Cuando $t=1$

$$FT_{1t} = Z_t; t = 1$$

Indica el costo fijo de adecuar la trituradora, lo cual incluye la infraestructura del espacio donde reposarán las máquinas y los servicios públicos para su operación, en la mina 1 en el período $t = 1$.

Cuando $t > 1$

$$FT_{1t} = Z_t + Y_{2t-1}CT_{21t} + Y_{3t-1}CT_{31t}; t \geq 1$$

Indica el costo de apertura del conjunto de máquinas trituradoras en la mina 1 para un período $t > 1$, teniendo en cuenta el costo fijo de adecuar la trituradora en el período actual y los costos de transporte de la maquinaria desde las minas predecesoras disponibles en tiempos anteriores hasta la mina actual.

Para la Mina 2:

Cuando $t = 1$

$$FT_{2t} = Z_t; t = 1$$

Indica el costo fijo de adecuar la trituradora, lo cual incluye la infraestructura del espacio donde reposarán las máquinas y los servicios públicos para su operación, en la mina 2 en el período $t = 1$.

Cuando $t > 1$

$$FT_{2t} = Z_t + Y_{1t-1}CT_{12t} + Y_{3t-1}CT_{32t}; t \geq 1$$

Indica el costo de apertura del conjunto de máquinas trituradoras en la mina 2 para un período $t > 1$, teniendo en cuenta el costo fijo de adecuar la trituradora en el período actual y los costos de transporte de la maquinaria desde las minas predecesoras disponibles en tiempos anteriores hasta la mina actual.

Para la Mina 3:

$$FT_{3t} = Z_t; t = 1$$

Indica el costo fijo de adecuar la trituradora, lo cual incluye la infraestructura del espacio donde reposarán las máquinas y los servicios públicos para su operación, en la mina 3 en el período $t= 1$.

Cuando $t>1$

$$FT_{3t} = Z_t + Y_{1t-1}CT_{13t} + Y_{2t-1}CT_{23t}; t \geq 1$$

Indica el costo de apertura del conjunto de máquinas trituradoras en la mina 3 para un período $t >1$, teniendo en cuenta el costo fijo de adecuar la trituradora en el período actual y los costos de transporte de la maquinaria desde las minas predecesoras disponibles en tiempos anteriores hasta la mina actual.

10) Indica que la variable de decisión de abrir la planta generadora en el tiempo t es binaria.

$$Y_{jt} \in \{0, 1\} \quad \forall j \forall t$$

11) Indica que la variable de decisión de abrir el conjunto de máquinas trituradoras en el tiempo t es binaria.

$$Y_{ht} \in \{0, 1\} \quad \forall h \forall t$$

12) Indica que la cantidad de toneladas de llanta a enviar de las minas a la planta generadora debe ser mayor a 0.

$$X_{ijtm} \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall t \forall m$$

5.2. Datos de entrada del modelo

Los datos de entrada al modelo de programación lineal fueron obtenidos de la investigación entre diferentes proveedores de transporte y búsqueda sobre los costos del mercado. A continuación podemos ver el resumen en tablas de los diferentes datos suministrados al modelo matemático de programación lineal:

Tabla 5.2-1 Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte 2: Terrestre

C_{ijt} Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte 2: Terrestre				
Minas/generadora	j=1: Planta Mina A	j=2: Planta Mina C	j=3: Planta El paso	j=4: Planta Mina D
C_{ijt} i= 1: Mina A	-	\$ 1.931.034	\$ 2.229.467	\$ 5.538.558
i=2: Mina C	\$ 1.931.034	-	\$ 394.984	\$ 4.485.266
i=3: Mina B	\$ 2.229.467	\$ 394.984	\$ 263.323	\$ 3.993.730
i=4: Mina D	\$ 5.538.558	\$ 4.485.266	\$ 3.993.730	-

Tabla 5.3 -2 Costos de apertura de una planta generadora j en el período t

F_{jt} Costos de apertura de una planta generadora j en el período t		
F_{jt}	Planta generadora	F_{jt}
	j=1: Planta Mina A	\$ 10.091.759.019
	j=2: Planta Mina C	\$ 10.091.759.019
	j=3: Planta Mina B	\$ 14.332.034.300
	j=4: Planta Mina D	\$ 10.091.759.019

Tabla 5.3 -34 Costos de apertura del conjunto de máquinas trituradoras h en el período t

FT_{ht} Costos de apertura del conjunto de máquinas trituradoras h en el período t	
FT_{ht}	Máquina trituradora
	FT_{ht}

	h=1	\$	4.240.275.281
	h=2	\$	4.240.275.281
	h=3	\$	4.240.275.281

Tabla 5.3 -4 Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte 1: Férreo

C_{ijtm} Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte 1: Férreo					
C_{ijtm}	MINAS/GENERADOR A	j=1: Planta Mina A	j=2: Planta Mina C	j=3: Planta Mina B	j=4: Planta Mina D
i= 1: Mina A	N/A	1.009.470	1.165.479	3.416.505	
i=2: Mina C	2.220.834	N/A	206.483	2.766.774	
i=3: Mina B	2.564.054	206.483	N/A	2.463.566	
i=4: Mina D	6.369.756	2.344.724	2.087.768	N/A	

Tabla 5.3-56 Generalidades de cada mina

IN_i Inventario inicial de la mina i				
i: mina	i= 1: Mina A	i=2: Mina C	i=3: Mina B	i=4: Mina D
IN_i	50160	20400	62400	2880

T_i Tasa de desecho de toneladas de llantas anual de la mina i				
i: mina	i= 1: Mina A	i=2: Mina C	i=3: Mina B	i=4: Mina D
T_i	3624,06	1473,9	4508,4	208,08

Demanda semestral de la planta Generadora	
LI _{jt}	LS _{jt}
1200	14000

Capacidad de la máquina trituradora	
Ton/año requeridas	2400
Tiempo de ciclo de corte/llanta (minutos)	35
Horas diarias	16
Min/día	960
Días al año	365
Llantas/día	27
Llantas/año	9855
Ton/año a ofertar	28480,95
Ton/sem a ofertar	14240,475

Transporte Férreo	
Mina B	66 ton
Mina C	66 ton
Mina A	100 ton

Transporte Terrestre	
Tractomula	35 ton

5.3. Resultados

Teniendo en cuenta la complejidad del modelo y los recursos que se tenían al alcance en el momento es necesario aclarar que los resultados presentados a continuación no corresponden a la solución óptima, dado que el programa de resolución de modelo “Solver Premium Pro” no tiene la capacidad necesaria para dar respuesta al modelo completo, por lo que los resultados obtenidos hacen referencia a corridas parciales en rangos de dos periodos de tiempo. Cabe resaltar que la solución presentada a continuación son datos preliminares y no corresponden a la solución global.

Por lo descrito anteriormente, el modelo matemático de programación lineal, plantea solución a las cantidades de toneladas a enviar desde los puntos de acopio de

llantas residuales OTR, Ubicación de la planta de generación de energía, el medio de transporte a utilizar desde cada mina (Férreo o terrestre) hasta la planta de tratamiento de las llantas trituradas y el tiempo de desplazamiento de las máquinas de trituración entre las diferentes minas durante un periodo de 40 semestres; se obtuvieron los siguientes resultados:

Del modelo se obtuvo que la planta generadora de energía se abrió en el tiempo $t=1$ en la generadora $j=5$, es decir en el paso cesar lo cual favorece a los inventarios de las minas ubicadas en la misma zona de este municipio y como anteriormente se mencionó existe un lote que cuenta con todos los factores apropiados y servicios básicos para el funcionamiento de esta.

De acuerdo a las ubicaciones y la cantidad de llantas residuales suministradas por cada mina se pudo obtener que el medio de transporte óptimo para el envío de las llantas trituradas OTR hasta el paso cesar es el siguiente:

Tabla 5.3-1 Tipo de transporte según la mina.

Minas	Tipo de transporte	Capacidad (Toneladas)
Mina A	Terrestre	35
Mina C	Férreo	66
Mina B	Férreo	100
Mina D	Terrestre	35

La mina córdoba en este caso no tiene vía férrea para poder transportar las minas trituradas hasta la planta de generación de energía en el paso cesar es por esto que se utilizó el supuesto que el tipo de transporte m igual a férreo no podía estar en esta mina,

Después de conocer el medio de transporte, el modelo matemático arrojó la cantidad de toneladas a enviar hasta la generadora de energía con respecto a un inventario final de las diferentes minas en las cuales se tenía en cuenta la tasa de desecho por mes de cada una de estas. La cantidad de toneladas en algunos semestres fue

suministrada por la mina en la A ya que el inventario final de las otras minas se había disminuido hasta el punto en el cual no se podía suplir con la oferta establecida. Conociendo las toneladas a enviar y el número de semestres en el cual la minas podían suplir con la demanda se obtuvo que las maquinas trituradoras ubicadas en la mina B en el semestre 3 debía trasladarse hasta la mina C en la cual podría suplir la oferta durante 13 semestres. En los semestres del 27 al 31 se obtuvo que la planta generadora suplirse con materia prima de la mina A ya que las otras no tenían inventario suficiente.

Tabla 5.3-2 Cantidad de toneladas a enviar hasta la planta generadora de energía en el paso cesar

Semestre	Mina B	Mina C	Mina D	Mina A
1	14.240	-	-	-
2	14.240	-	-	-
3	14.240	-	-	-
4	-	14.240	-	-
5	-	14.240	-	-
6	-	14.240	-	-
7	-	14.240	-	-
8	-	14.240	-	-
9	-	14.240	-	-
10	-	14.240	-	-
11	-	14.240	-	-
12	-	14.240	-	-
13	-	14.240	-	-
14	-	14.240	-	-
15	-	14.240	-	-
16	-	14.240	-	-
17	14.240	-	-	-
18	14.240	-	-	-
19	-	-	9.734	-
20	-	14.240	-	-
21	-	14.240	-	-

	22	-	14.240	-	-	
	23	14.240	-	-	-	
	24	13.785	-	-	-	
	25	-	14.240	-	-	
	26	-	10.382	-	-	
	27	-	-	-	1200	
	28	-	-	-	1200	
	29	-	-	-	1200	
	30	-	-	-	1200	
	31	-	-	-	1200	
Por	32	8.843	-	-	-	último
y	33	-	14.240	-	-	
de	34	-	14.240	-	-	
	35	-	7.586	-	-	
	36	-	-	3.537	-	
	37	-	-	-	1200	
	38	8.843	-	-	-	
	39	-	18.034	-	1200	
	40	-	8.302	-	1200	

acuerdo a la función objetivo que buscaba minimizar los costos de operar la planta de generación de energía ubicada en el paso cesar, se obtuvo que el mínimo costo de la función objetivo es:

Tabla 5.3-3 Resultado función objetivo minimización de costos

Costo de enviar toneladas de llantas desde la mina <i>i</i> hasta la planta <i>j</i>	\$ 2.870.186.952,19
Costo de abrir y operar planta generadora (Fijos y variables)	\$ 14.332.034.300,36
Costo de abrir y operar trituradora	\$ 4.240.275.281,00
Z(Min)	\$ 21.442.496.533,55

El costo optimo se obtuvo de la resta entre los ingresos obtenidos por la venta de energía y acero adquirido de la el proceso de trituración de la llanta y los costos fijos y variables que trae consigo la apertura de la planta generadora de energía con el costo mínimo que arrojó el modelo el cual fue de \$ 21.442.496.533.

-Cuando se tienen dos conjuntos de máquinas trituradoras. Se añade el siguiente subíndice:

h' = Conjunto de máquinas trituradoras en la mina i ($h' = 1, 2, 3$); donde 1: Mina C, 2: Mina B, 3: Mina D.

Se añaden las siguientes variables:

O_{ht} = Variable binaria que toma el valor 1 si el conjunto de máquinas trituradoras h , está operando en el periodo de tiempo contemplado y 0 en caso contrario $\{0,1\}$

Y'_{ht} = Variable binaria que toma el valor 1 si el conjunto de máquinas trituradoras h' , es abierta en el periodo de tiempo contemplado y 0 en caso contrario $\{0,1\}$ Las maquinas pueden abrirse y cerrarse en cualquier tiempo t .

Se añaden las siguientes restricciones:

13)

$$\sum_{t=1}^{40} Y_{1t} + Y'_{1t} \leq 1$$

14)

$$\sum_{t=1}^{40} Y_{2t} + Y'_{2t} \leq 1$$

15)

$$\sum_{t=1}^{40} Y_{3t} + Y'_{3t} \leq 1$$

Estas restricciones (13,14 y 15) indican que en cada mina sólo se puede instalar un conjunto de máquinas trituradoras al tiempo.

16) Esta indica que el conjunto de máquinas trituradoras h' sólo puede estar en una mina al tiempo.

$$\sum_{h=1}^3 Y'_{ht} \leq 1 \quad \forall t$$

17) Esta indica que el conjunto de máquinas trituradoras h sólo puede estar en una mina al tiempo.

$$\sum_{h=1}^3 Y_{ht} \leq 1 \quad \forall t$$

18) Esta indica que una vez que la planta trituradora se abre en la mina i , ésta comienza a operar y no vuelve a cerrarse.

$$\sum_{t'=1}^t Y_{ht} = O_{ht'} \quad \forall t$$

19) Indica que la variable de decisión de abrir el conjunto de máquinas trituradoras h' en el tiempo t es binaria.

$$Y_{h't} \in \{0, 1\} \quad \forall h' \forall t$$

El modelo se corrió para dos conjuntos de máquinas trituradoras y este arrojó una solución no factible y fuera del alcance de la función objetivo, esto por las restricciones que forzan al modelo a que solo haya un conjunto de máquinas trituradoras en las minas.

6. CAPITULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO

En el presente capítulo se presenta el análisis financiero del proyecto, teniendo como finalidad evaluar la factibilidad del proyecto y su funcionamiento en el mercado industrial. Este análisis incluye información que hace énfasis en el desarrollo del modelo de programación lineal desarrollado en el capítulo anterior y agrega a la evaluación indicadores como el valor presente neto (VPN), el cual refleja el valor actual neto de un determinado número de flujos de caja futuros, que tiene como origen una inversión inicial y un movimiento en el tiempo para definir su viabilidad en un periodo de tiempo establecido. Otro de los factores determinantes para la evaluación del proyecto es la recuperación de la inversión inicial en el tiempo, así mismo como los ingresos próximos del funcionamiento del proyecto, su permanencia en el sector minero y su expansión sector urbano.

6.1. Estructura de financiamiento

Para definir la estructura de financiamiento es válido recordar los modelos de negocio que se evalúan con el proyecto. El primer modelo de negocio evalúa la ubicación de plantas generadoras de energía para cada uno de los puntos de acopio de llantas, así mismo como la obtención de la maquinaria necesaria para el corte y trituración de las llantas en sitio, todo con fin de autoconsumo. En el segundo modelo se evalúa una planta generadora de energía única que este bajo el servicio de una empresa tercera quien sea quien procese la materia prima, genere y distribuya la energía eléctrica. Por otro lado, el tratamiento de corte de llantas para este modelo de negocio ofrece un juego de máquinas que es rotado de mina a mina dependiendo de la demanda por lo que la inversión inicial para este modelo de negocio es menor en comparación con el primer modelo de negocio.

6.1.1. Inversión

La inversión inicial que requiere el proyecto para su funcionamiento parte del costo de adquirir la maquinaria para la infraestructura del proceso de corte y trituración, el lote de ubicación de la planta generadora de energía para el modelo de negocio tercerarizado e inversión pre-operativa, cabe resaltar que este costeo incluye un Motor-Reactor que hace parte de la infraestructura de la planta generadora.

Tabla 6.1.1. Inversión Inicial

Item	Máquina	Descripción	Unidad	Cantidad	IVA	Vlr. Unit.	Total
Activos Fijos Depreciables/Proceso de Corte							
1	Eaglen OTR debeader	Eléctrico 45kW, 460 Volt, 3Phase	Und	1	16%	\$ 1.150.166.325	\$ 1.334.192.937
2	Eaglen Punch Cutter II	Eléctrico 19kW, 230/460 Volt, 3Phase	Und	1	16%	\$ 820.633.275	\$ 951.934.599
3	Eaglen Titan II	Eléctrico 92kW, GE engine	Und	1	16%	\$ 1.684.610.125	\$ 1.954.147.745
4	Mini cargador	Bobcat 2011	Und	1	16%	\$ 63.706.676	\$ 73.899.744
5	Cargador frontal sobre llantas	125-155 HP 3 YARDAS3	Und	1	16%	\$ 194.096.947	\$ 225.152.459
6	Motor-Reactor	Motor alimentado con gas	Und	1	16%	\$ 7.000.000	\$ 8.120.000
		Material del reactor (láminas)	Ton	19,53	16%	\$ 1.599.675	\$ 1.855.623
Subtotal							\$ 4.547.447.484
Activos Fijos Amortizables							
1	Terreno Planta generadora	Lote Urbano esquinero 34X30 Loma de Calenturitas (El paso, Cesar)	m2	1000	16%	\$ 95.000.000	\$ 95.000.000
Subtotal							\$ 95.000.000
Inversión Pre-operativa							
1	No aplica	Arreglos Local, oficinas, documentación	gl	1	0%	\$ 35.000.000	\$ 35.000.000
2	No aplica	Capital de Operaciones	gl	1	0%	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
Subtotal							\$ 135.000.000
		TOTAL INVERSIÓN INICIAL					\$ 4.777.447.484

Como se indica en la Tabla 6.1.1. los costos de inversión para llevar a cabo el proceso de corte y trituración de las llantas residuales equivalen en un total a

\$4.547.447.484, esto es la ubicación de las maquinarias en el punto de acopio de llantas residuales, para lo cual se tuvo en cuenta no solamente las máquinas que hacen cortes, sino adicionalmente las máquinas que participan en el montaje y empaquetamiento del material triturado en el medio de transporte dirigido hacia la planta generadora. Por otro lado se tiene que los activos fijos amortizables para el lanzamiento del proyecto equivalen a \$95.000.000 y que la inversión Pre-operativa es de \$135.000.000, dando como totalidad la suma de \$4.777.447.484.

6.1.1.1. Alternativas de transporte

Para la alternativa que cumplirá con parámetros de economía y eficiencia se presenta un análisis que evalúa condiciones de transporte como cantidad de viajes por día y cantidad de toneladas a trasladar por día, para el número de viajes se tiene en cuenta el número de empresas demandantes y el volumen de llantas residuales que aloja cada uno de las empresas en cuestión. Para el caso del número de toneladas a trasladar se tiene en cuenta el tiempo de procesamiento de la llanta en el proceso de cortado y las jornadas laborales que trabaja la empresa.

Se tienen 4 tipos de camiones para transportar la llanta triturada y la variación entre los mismos depende de la capacidad de cada uno y el menor costo, en la siguiente tabla se presentan los escenarios de camiones.

Tabla 6.1.1.1-1. Costos según el tipo de transporte terrestre

Transporte	Toneladas	Precio
Camión Turbo	5	\$ 950.000
Camión Sencillo	9	\$ 1.300.000
Camión Patineta	19	\$ 2.350.000
Tractomula	34	\$ 2.800.000

Para la evaluación de los tipos de transportes se proponen 5 alternativas de uso, donde 4 de ellas trabajan a furgón lleno utilizando combinatorias entre los

transportes; cabe resaltar que para el detalle de esta operación se incluyen los modelos de negocios presentados anteriormente. Se hizo de esta manera por la variabilidad del desecho a lo largo del tiempo de cada una, como por ejemplo, la empresa A que cubre 2000 toneladas por año y la empresa B que cubre 9190 anual.

Tabla 6.1.1.1-2. Cantidad de llantas a transformar según el periodo de tiempo

Tiempo de ciclo de corte/llanta (minutos)	35 min/llanta
Horas diarias	12
Min/día	720
Días al año	365
Llantas/día	20
Peso (ton)	3,2

Ahora bien, a continuación se presentan las combinaciones hechas para el análisis:

Tabla 6.1.1.1-3. Planteamiento de alternativas de transporte

Desde las empresas hasta el paso	Costo de alquiler	Toneladas llevadas
caso 1 (camión turbo)	\$ 6.650.000	35
camión sencillo	\$ 3.900.000	27
Total	\$ 10.550.000	62
Desde las empresas hasta el paso	Costo de alquiler	Toneladas llevadas
caso 2(camion sencillo)	\$ 9.100.000	63
Total	\$ 9.100.000	63
Desde las empresas hasta el paso	Costo de alquiler	Toneladas llevadas
caso 3(camión patineta)	\$ 7.050.000	57
camión turbo	\$ 950.000	5
Total	\$ 8.000.000	62

Desde las empresas hasta el paso	Costo de alquiler	Toneladas llevadas
caso 4(tracto camión)	\$ 2.800.000	34
camión patineta	\$ 2.350.000	19
camión sencillo	\$ 1.300.000	9
Total	\$ 6.450.000	62
Desde las empresas hasta el paso	Costo de alquiler	Toneladas llevadas
caso 5(tracto camión con carga de 32 ton)	\$ 5.600.000	64
Total	\$ 5.600.000	64

De lo anterior se puede ver que la alternativa más viable por términos de eficiencia y economía es el utilizar tracto camiones con carga aproximadamente a tope. Es viable ya que los costos de alquiler con respecto a la más económica de las 4 alternativas no escogidas es un 13% menor. Por otra parte la eficiencia del proceso de transporte es mucho mejor ya que se está enfocando el envío de la materia prima en solo dos camiones, lo cual es beneficioso a la hora de hacer la carga de las 64 ton ya que disminuye los tiempos de uso de maquinaria tipo Yale o monta cargas, disminuyendo así los costos adicionales para el transporte.

En el estudio de modelos de negocios el transporte terrestre hace parte del abanico de posibilidades, sin embargo por la geografía y canales de acceso de cada una de las minas se presenta como medio de transporte viable el ferrocarril haciendo uso de una línea férrea con mas de 226 kilómetros para transportar carbón. Como se indica en la figura “Railway prices in Selected countries” el precio de transportar materia prima a traves de ferrcarriles es dado por la siguiente formula:

$$\text{Costo ferrocarril} = (\text{Peso Prom}\%)(\$Dolar)(\text{Peso de Carga})(\text{Kmts a recorrer})$$

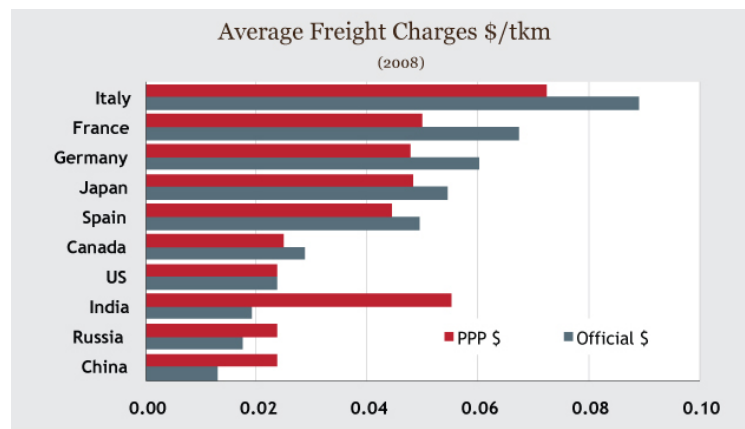


Ilustración 6.1.1.1-1. Costo envío por ferrocarril

De acuerdo a la ilustración y a los costos ingresados en la formula se tienen los siguientes costos de transportar las llantas mediante este medio de transporte desde los distintos puntos de acopio de llantas residuales.

Tabla 6.1.1.1-4. Costos de transportar en ferrocarril

Cijt1 Costo de recolección y transporte de las llantas desde la mina i a la planta j en el período t por el medio de transporte 1: Férreo.				
Minas/Generadoras	j=1: Planta Mina A	j=2: Planta Mina C	j=3: Planta Mina B	j=4: Planta Mina D
i= 1: Mina A		\$ 1.009.470	\$ 1.165.479	\$ 3.416.505
i=2: Mina C	\$ 2.220.834		\$ 206.483	\$ 2.766.774
i=3: Mina B	\$ 2.564.054	\$ 206.483		\$ 2.463.566
i=4: Mina D	\$ 6.369.756	\$ 2.344.724	\$ 2.087.768	

6.1.2. Estructura de financiamiento

La inversión inicial para desarrollar el proyecto provienen directamente de inversionistas y préstamos bancarios con porcentajes de 50% para ambos casos, los principales inversionistas son las empresas del sector minero directamente implicadas, sin embargo esto se evalúa en el desarrollo del modelo de programación lineal ya que es desarrollado según corresponda el modelo de negocio para el cual se aplique el proyecto.

Inicialmente los aportes de cada uno de los inversionistas, incluye compra de maquinaria completa para el proceso de corte, lo que corresponde en pesos a \$568.430.936 individualmente. El 50% restante se hará en modalidad de préstamo bancario bajo una tasa de interés de 14%.

6.2. Flujo de caja proyectado

Como fuente de ingresos la empresa desarrolla un plan de producción para generar ingresos y egresos durante los próximos 10 años de acuerdo con los planes de inversión y la proyección de abastecimiento de la planta generadora de energía, partiendo del inventario de llantas residuales de cada una de las minas aceptadas en el mercado.

6.2.1. Estructura del flujo de caja

La base de la estructura del flujo de caja parte del estado de resultado, el cual incluye en su esquema los ingresos, egresos y utilidades del negocio.

6.2.1.1. Ingresos

Los ingresos del negocio están basados en la comercialización de la energía a los principales proveedores de la materia prima, sin descartar la venta de energía a clientes cercanos a la planta generadora de energía. Sin embargo, cualquier otro producto derivado del proceso es también fuente de ingreso para el negocio por ejemplo, en el proceso de destalonamiento se retira de la llanta acero completo, es decir con poca pérdida de material en el proceso, por lo que este representa un fuerte ingreso para la compañía por la valorización del metal en el mercado y teniendo en cuenta que las cantidades que se obtienen son grandes volúmenes. Por otro lado, se sabe que también se obtienen productos que pertenecen al mercado del combustible por lo que la recuperación de la llanta es casi de un 90% representado en ingresos.

6.2.1.2. Egresos

Los egresos que se generan en la producción de energía son constituidos flujos de caja que representan salidas y pueden ser catalogados por su tipología, los cuales pueden ser por servicios prestados, gastos administrativos, propios de la operación y los financieros los cuales se ven reflejados en los préstamos bancarios para la inversión inicial, así mismo como las cuotas de pago que se generan periódicamente.

6.2.1.3. Utilidad o pérdida neta

El cálculo de este indicador refleja el estado actual del negocio y su rentabilidad en el mercado de energía dando paso a la evaluación de la viabilidad del proyecto, cabe resaltar que esta utilidad representa el 25% de las ganancias generadas una vez discriminan los impuestos.

Tabla 6.2.1.3 -1 Flujo de caja neto (Estado de resultados)

Item	Máquina	Descripción	Unidad	Cantidad	IVA	Vlr. Unit.	Total
Egresos Operacionales							
1	Recorrido de Mina A- El paso	km		262	16%	\$ 2.299.687	\$ 2.667.636
2	Recorrido de Mina C- El paso	km		19,8	16%	\$ 173.793	\$ 201.600
3	Recorrido de Mina B- El paso	km		19,8	16%	\$ 173.793	\$ 201.600
4	Recorrido de Mina D- El paso	km		463	16%	\$ 4.063.950	\$ 4.714.182
5	Peaje para Maquinas Trituradoras	Und		7	0%	\$ 10.200	\$ 71.400
7	Combustible Maquina de Corte	gl		80	16%	\$ 7.709	\$ 715.395
Subtotal							\$ 8.571.813
Nomina de Personal							
1	Salario Mensual tecnico operarios	Und		6	0%	\$ 1.200.000	\$ 7.200.000
2	Ingeniero a Cargo	Und		1	0%	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
3	Auxiliar Contable	Und		1	0%	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
4	Jefe de logística	Und		1	0%	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
5	Gerente	Und		1	0%	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
6	Ayudante de carga	Und		4	0%	\$ 960.000	\$ 3.840.000
7	Jefe de Mantenimiento	Und		1	0%	\$ 2.300.000	\$ 2.300.000
Total Nomina							\$ 22.340.000
Parafiscales					29%		\$ 6.478.600
Total Nomina							\$ 28.818.600
Egresos por servicios prestados productos							
1	Alquiler mini cargador	dias		15	0%	\$ 230.400.000	\$ 3.456.000.000
2	Manteniminiento mini cargador	dias		15	0%	\$ 77.952.000	\$ 1.169.280.000
3	Alquiler cargador frontal	dias		15	0%	\$ 76.800.000	\$ 1.152.000.000
4	Manteniminiento cargador frontal	dias		15	0%	\$ 87.296.000	\$ 1.309.440.000
Subtotal							\$ 7.086.720.000
Egresos Administrativos							
1	Servicio Públicos	gl		1	0%	\$ 750.000	\$ 750.000
2	Cajas menores	gl		1	0%	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
3	Gastos generales	gl		1	0%	\$ 300.000	\$ 300.000
							\$ 2.550.000
Egresos Financieros							
1	Interes préstamo bancario	gl		1	2%	\$ 2.388.723.742	\$ 2.436.498.217
Subtotal							\$ 2.436.498.217
TOTAL EGRESOS							\$ 9.563.158.630
Ingresos							
1	Venta de toneladas de llantas	ton		454659	0%	\$ 194.921	\$ 88.622.586.939
2	Venta de Combustible biodiesel	gl		6550,4	0%	\$ 7.499	\$ 49.121.450
3	Venta de metal extraido de llantas	ton		454659	0%	\$ 50.000	\$ 22.732.950.000
4	Venta de Energía Eléctrica	kWh		19320	0%	\$ 370	\$ 7.148.400
Subtotal							\$ 111.404.658.389
TOTAL INGRESOS							111.404.658.388,60
UTILIDAD BRUTA							\$ 101.841.499.759
Impuesto a la renta					25%		25460374940
UTILIDAD NETA							\$ 76.381.124.819
Amortizacion de deuda con entidad financiera					14%		\$ 10.693.357.475
GRAN TOTAL							\$ 65.687.767.344

6.3. Rentabilidad del proyecto

Para justificar y decidir si llevar a cabo un proyecto o no es importante tener en cuenta dos factores que permitan definir monetariamente la decisión. Es por esto que por medio de la tasa de descuento y la tasa interna de retorno conoceremos si el proyecto desde el punto de vista monetario es viable para su realización. Es

importante tener en cuenta que si la tasa de descuento con respecto a la tasa interna de retorno es menor, el proyecto monetariamente no sería viable ya que en el transcurso de los años no se recuperaría la inversión realizada.

6.3.1. Calculo de tasa de descuento

Con la tasa de descuento sabremos cual sería la mayor rentabilidad del proyecto es decir la preferencia en el tiempo y la sostenibilidad esperada por las empresas que estén dispuestas a invertir, como es el caso de las 4 diferentes minas. La tasa de descuento es importante ya que mide el coste de oportunidad de la inversión, es decir, cuánto deja de ganar el inversionista por colocar sus recursos en un proyecto. Esto tiene una consecuencia importante para el análisis porque cada inversionista tiene una tasa de interés o coste de capital específica, a la cual descontará los flujos relevantes. (2006, Herrera)

A continuación encontramos la fórmula para obtener la tasa de descuento:

$$\text{Tasa de descuento (WACC)} = K_c * (1 - T) * D + K_e * C_p$$

Donde:

K_c: Tasa de interés a la que presta el banco (Tasa Activa)

T: Impuesto a la renta

D: Porcentaje de la inversión financiada por deuda.

K_e: Tasa de rentabilidad esperada por el inversionista

C_p: Aporte o capital propio en unidades monetarias.

Tabla 6.3.1 -1. Cantidades de la tasa de descuento

Ítem	Valor (%)
K_c	0.146
T	0.25
D	0.5
K_e	0.15

Cp	0.5
-----------	-----

Remplazando los valores obtenidos algunos de la superintendencia financiera de Colombia en la fórmula obtuvimos lo siguiente:

$$\textit{Tasa de descuento (WACC)} = 0.145 * (1 - 0.25) * 0.5 + 0.15 * 0.5$$

$$\textit{Tasa de descuento (WACC)} = 0.1293 = 13\%$$

De acuerdo a la formulación obtuvimos una tasa de descuento del 13% lo cual nos indica que nuestra utilidad en el tiempo no puede ser menor a esta ya que si es menor el proyecto no sería rentable para las diferentes minas.

6.3.2. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) nos permite que el valor neto de los costos de inversión del proyecto sea igual al valor presente neto de los beneficios de la inversión. Es por esto que para que el proyecto sea rentable la tasa interna de retorno debe ser mayor a la tasa de descuento.

Para conocer la TIR se toma la cantidad inicial que se va a invertir y los flujos de caja de cada año y con base en eso se calculan el porcentaje de beneficios que se obtendrá al finalizar la inversión. En este caso la TIR debe ser mayor al 13% para que el proyecto sea rentable.

Tabla 6.3.2 – 1. Recuperación de la inversión con la TIR

Año

Ítem	1	2	3	4	5	6
Inversión Inicial	-\$4.777.447.484	\$81.158.572.303	\$136.198.749.393	\$93.185.780.755	\$69.393.627.838	\$250.820.997.995
Utilidades netas Anuales	\$76.381.124.819	\$55.040.177.090	\$43.012.968.639	\$162.579.408.593	\$181.427.370.157	-\$17.749.299.432
Saldo Inversión	-\$81.158.572.303	\$136.198.749.393	\$93.185.780.755	\$69.393.627.838	\$250.820.997.995	\$268.570.297.427

Como podemos observar en la tabla 6.3.2-1 recuperación de la inversión se da en el año 5 con una TIR del 21% lo cual indica que el proyecto financieramente si es viable realizar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se mencionó anteriormente, con el proyecto se pretendió encontrar una solución óptima para la disminución de acopio de llantas en las diferentes minas, sin embargo es muy importante resaltar que la solución obtenida fue resultado de un modelo programado en “Solver Premium Pro” por corridas parciales, por lo tanto la respuesta obtenida no es la solución óptima ya que no hace parte de una programación global. Por lo anterior se recomienda que en futuras investigaciones relacionadas con este proyecto se realice con un programa más avanzado y no se tengan en cuenta los resultados presentados.

Para realizar el análisis económico se tuvieron en cuenta los resultados preliminares con lo que podemos concluir que por medio del análisis de factibilidad económico es viable realizar este proyecto ya que se obtuvo una TIR del 21% el cual es mayor a cero y esto indica que en el transcurso del tiempo la inversión realizada será recuperada y las empresas empezaran a obtener ganancias. Además se puede observar que la recuperación de la inversión se da en el cuarto año, lo que es sumamente importante porque se obtiene ingresos en términos de generación de energía por medio de caucho triturado de llantas residuales.

Para finalizar y como se mencionó anteriormente es importante que las empresas se preocupen por evitar incumplir las leyes al hacer correctamente una disposición de las llantas, lo que implica ahorros en sus recursos financieros y posibles cierres de su operación económica. Se recomienda lo siguiente:

- Las empresas mineras que utilizan llantas OTR de tamaños en promedio de 4 centímetros es importante que evalúen la operación y uso de estas llantas ya que es necesario realizar un correctivo al acopio de estas durante mucho tiempo.

- También es importante que no permanezcan durante mucho tiempo con las llantas dentro de sus instalaciones, no solamente para empresas mineras si no todo tipo de negocio que recopile llantas usadas ya que tienen repercusiones legales como es el caso de la ley 2811 de 1974 la cual exige que toda empresa que tenga acopio o lugar de resguardo de llantas usadas debe tener un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de estas, Con el fin de darle un uso y disminuir la degradación del ambiente. En caso de no cumplir con esto pueden llegar a tener que cumplir con multas entre 5 y 20 salario mínimo legal vigente.
- El implementar el proyecto sería también una recomendación muy viable ya que se estaría dando una solución al problema que les acarrea tener las llantas guardadas y se estaría combatiendo el problema generando una solución de beneficio mutuo tanto para la generadora de energía con su materia prima que son las llantas como para las empresas con la energía.
- Realizar estrategias del manejo de llantas dentro de las minas ya que estas no solamente pueden ser para uso de generación de energía, es decir, crear cultura del manejo de llantas y buscarle otros fines de uso para su eliminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Calderón, L. Á. F., Ocampo, E. M. T., & Echeverry, M. G. (2012). Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2).

Cantanhede, A. L. G., & Monge Talavera, G. (2002). Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas. In *Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas*. CEPIS/OPS.

Cure Vellojín, L., Meza González, J. C., & Amaya Mier, R. (2011). Logística Inversa: una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 20(20), 184-202.

De Bogotá, C. D. C. (2006). Guía para el manejo de llantas usadas. *Bogotá: Editorial Kimpres Ltda.*

Eagle International, L. (2014). Eagle International equipment. (W. S. Drive, Editor) Obtenido de <http://eagle-equipment.com/>.

Edgardo correa, C. d. (2015). *Diseño de una red de logística inversa para acopio de llantas residuales mediante modelación matemática*. Barranquilla.

Esparza, O. M. (2012). Plan estatal de manejo reciclaje 360 de llantas usadas en Coahuila. Obtenido de <https://www.tceq.texas.gov/assets/public/border/coahuilaplan.pdf>

Groenevelt, H. y Majumder, P. (2001), "Competition in remanufacturing," en *Production and Operations Management*, No. 10, pp. 125-141.

Herrera, B. (2006). Acerca de la tasa de descuento en proyectos. *QUIPUKAMAYOC*, 102, 101-108.

Infante, A. S. F., Castillo, A. S., & Lizcano, F. A. R. (2007). Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. *Épsilon*, (9), 41-55.

Ministerio de ambiente. (2014) Republica de colombia. Resolucion 1457 " Sistemas de recolección selectiva y gestion ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones".

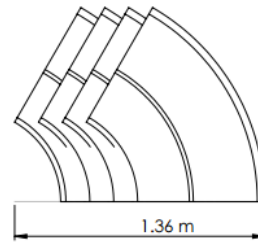
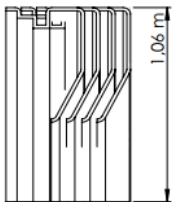
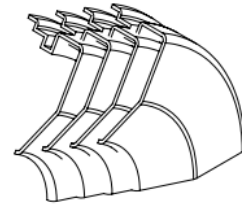
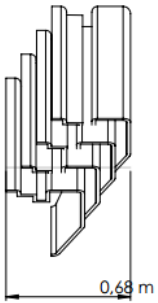
Muñoz Montana, A. M. (2015). Análisis del sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de las llantas usadas desarrollado por la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI).

N. Monroy y M. Ahumada, *Logística Reversa "Retos para la ingeniería industrial"*, Universidad de los Andes, 2006.

Quintero López, A., & Ramírez Salgado, J. (2012). Diseño de un proceso logístico reversivo de llantas usadas en la ciudad de Pereira año 2012.

RETIE, R. T. D. I. E. (2005). Ministerio de minas y Energía.

ANEXOS



Anexo 1. Corte de secciones 1