

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA
RECUPERACIÓN DE MATERIALES A PARTIR DE
LLANTAS DESECHADAS**

PRESENTADO POR:

DIEGO ROBERTO SALINAS MENJÍVAR

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA
RECUPERACIÓN DE MATERIALES A PARTIR DE
LLANTAS DESECHADAS**

Presentado por :

DIEGO ROBERTO SALINAS MENJÍVAR

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, octubre de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

A mis padres Carlos Roberto Salinas Castro y Rosa María Menjívar de Salinas, por apoyarme en cada etapa y momento de mi vida, por brindarme su cariño, protección e inspiración día con día para ser alguien mejor; por cada consejo que sirvió para crecer en esta etapa universitaria.

A mi hermano Carlos Leonardo Salinas Menjívar, que empezamos la carrera juntos y que a pesar de que nuestros caminos en esta etapa tomaron rumbos distintos, cada palabra de apoyo y de ánimo siempre estuvo presente en los momentos más difíciles de esta etapa y en todas las etapas de mi vida; por ser un ejemplo y guía para mí.

A mis abuelos Leonardo (Q.E.P.D.), Cristina (Q.E.P.D.) que este logro es de ellos, que desde el cielo me brindaron todo su amor y sabiduría para lógralo, me cuidaron todo este tiempo desde arriba para ser una persona de bien y el fruto de su sabiduría está presente. Y mi abuela Ena, por su cariño incondicional brindado en toda la vida, y que gracias a Dios me ha permitido disfrutar logros y fracasos a su lado.

A todas las personas cercanas, conocidas, y no muy cercanas que confiaron en mí en todos estos años y me apoyaron en todo momento para lograr ser un profesional que era una de mis metas propuestas desde hace muchos años, y hoy es una realidad gracias a ellos.

Diego Roberto

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios todopoderoso, por la vida que me brinda, por todas sus bendiciones, por su sabiduría, que me permitió vivir esta etapa de principio a fin con altos y bajos; y a mi familia que a pesar de todas las adversidades en estos años me brindaron su apoyo incondicional.

A la Universidad de El Salvador, a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, a la Escuela de Ingeniería Mecánica y a todos sus docentes que con trabajo y sacrificio fueron parte importante de mi formación integral para ser un profesional ante la sociedad, y un excelente ser humano.

A mis compañeros que fui conociendo con el avance de la carrera, que me apoyaron a seguir adelante y ser mejor ante la adversidad con sus consejos a pesar de las adversidades.

Agradezco profundamente a mis asesores Ing. Francisco Alfredo De León Torres y al Dr. M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, que me brindaron su apoyo, dedicación, paciencia y conocimiento durante la realización del trabajo de graduación, que a pesar de las adversidades con su esfuerzo y amabilidad fue posible culminar el mismo de mejor manera.

A las asociaciones estudiantiles de Ingeniería Mecánica y de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la cuales fui miembro de junta directiva, que me permitieran crecer como ser humano y profesional, por las amistades que forme y dejo en ambas asociaciones y confió en que desarrollaran un mejor trabajo en beneficio al estudiante de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Finalmente, agradezco a todos esas personas muy cercanas a mí, que me apoyaron desde el principio hasta el final, que me motivaron a cumplir este sueño que tuve por tanto tiempo.

Diego Roberto

PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES A PARTIR DE LLANTAS DESECHADAS

Estudiante: Diego Roberto Salinas Menjívar¹

Docentes asesores: Ing. Francisco Alfredo De León Torres²

Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz³

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

RESUMEN

Se ha recopilado información bibliográfica sobre llantas y sus diferentes componentes físicos y químicos; los compuestos aditivos en la composición de las mismas; se explica brevemente como se puede obtener materia prima a partir de las dichas llantas; el impacto ambiental que producen las llantas dejadas a la intemperie, sobre el medio ambiente; e información sobre plantas de reciclaje de llantas desechadas. También, se ha desarrollado una propuesta de diseño de un sistema de recuperación de los materiales contenidos en las llantas, considerando las diferentes etapas de producción de materia prima, alternativas de diseño para la propuesta, así como también la maquinaria a utilizar en cada una de ellas. Se explica la información referente a requerimientos de producción, maquinaria, distribución de maquinaria dentro de la planta, entre otros. Al mismo tiempo se aborda aquellos impactos que generaría este estudio una vez implementado. Se aborda la información detallada acerca de los costos e inversiones a realizar para efectuar y llevar a cabo el desarrollo de la propuesta previamente explicada y diseñada, así como la información técnica de los equipos seleccionados.

Palabras claves: Recuperación, Desecho, y Llantas

1 salinasdiego_@outlook.com

2 francisco.deleon@ues.edu.sv

3 jonathan.berrios@ues.edu.sv

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Estructura y fabricación de una llanta.....	3
1.1.1. Sustancias aditivas.....	8
1.1.2. Partes de una llanta. Proceso de fabricación.....	13
1.1.3. Fabricación de una llanta.....	15
1.1.4. Ciclo de vida de una llanta y factores contaminantes del proceso de fabricación.....	18
1.2. Proceso de reciclado de llantas.....	19
1.2.1. Impacto ambiental del mal manejo de llantas desechadas.....	20
1.2.2. Proceso de reciclaje de llantas desechadas.....	21
1.2.3. Beneficios del proceso de reciclaje.....	22
1.3. Métodos de procesamiento y obtención de material recuperado.....	23
1.3.1. Procesos de molienda natural o ambiental.....	24
1.3.2. Proceso de molienda a baja temperatura (criogénico).....	26
1.3.3. Procesos térmicos y mecánicos para obtención de caucho en llantas desechadas.....	28
1.4. Ventajas y desventajas de cada uno de los procesos.....	30
1.5. Características principales de la propuesta.....	32
1.5.1. Cifras de producción y propuesta de selección de equipos.....	32
1.5.2. Factores ambientales.....	33
2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVA DE DISEÑO.....	35
2.1. Análisis de capacidad de producción.....	35
2.1.1. Cantidad de llantas no dispuestas adecuadamente.....	36
2.1.2. Capacidad de producción esperada.....	37
2.1.3. Estimación de la cantidad de producto final sobre la base de la disponibilidad de la materia prima.....	38
2.2. Análisis de localización.....	40
2.2.1. Factores de locación.....	40
2.2.2. Mano de obra.....	42

	Pág.
2.2.3. Políticas y normas de control ambiental.....	42
2.2.4. Sensibilidad de la población.....	42
2.2.5. Selección por el método de los puntos.....	43
2.3 Selección de equipos y maquinaria.....	44
2.3.1. Selección del proveedor.....	46
2.3.2. Criterios a considerar para la selección de equipos.....	47
2.3.3. Selección de alternativa de provisión de maquinaria.....	47
3. PROPUESTA DE DISEÑO.....	49
3.1. Descripción de fases del proceso productivo.....	49
3.1.1. Primera etapa: abastecimiento de materia prima.....	49
3.1.2. Segunda etapa: alimentación primaria de trituración.....	51
3.1.3. Tercera fase: trituración, granulación y pulverización.....	53
3.1.4. Cuarta etapa: empaque del producto terminado.....	56
3.2. Análisis de distribución en planta.....	58
3.2.1. Método de Guerchet.....	58
3.2.2. Método de distribución SLP.....	61
3.3. Producción y control.....	64
3.3.1. Sistema de producción.....	65
3.3.2. Seguridad industrial.....	66
3.3.3. Control de producción.....	67
3.3.4. Control de inventarios.....	68
4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	71
4.1. Determinación de costos.....	71
4.1.1. Costos de producción.....	71
4.1.2. Costos administrativos.....	73
4.1.3. Costos de financiamiento.....	74
4.2. Determinación de inversiones.....	75
4.2.1. Inversión fija.....	75
4.2.2. Inversión diferida.....	75
4.2.3. Inversión total inicial.....	76

	Pág.
CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.....	80
Anexo 1: Cotizaciones.....	80
Anexo 2: Especificaciones de los productos de la empresa Eco Green.....	86
Anexo 3: Clasificación del coeficiente K de acuerdo a cada sector y calificaciones de la matriz de relaciones.....	88
Anexo 4: Estados y pronósticos de producción de producto final (caucho).....	89
Anexo 5: Descripción del personal operativo requerido en el proceso.....	93
Anexo 6: Planos auxiliares de la propuesta.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Composición química de una llanta.....	6
Tabla 1.2. Propiedades mecánicas de distintos materiales sintéticos y natural... ..	7
Tabla 1.3. Acelerantes de vulcanización y sus propiedades.....	10
Tabla 1.4. Otros tipos de aditivos acelerantes.....	13
Tabla 1.5. Comparación de ventajas y desventajas entre los diferentes métodos de reciclaje de llantas desechadas.....	31
Tabla 2.1. Estimaciones de cantidad de llantas a aprovechar.....	38
Tabla 2.2. Composición de llantas de acuerdo al RIN.....	39
Tabla 2.3. Porcentaje de acero, caucho y fibra textil para el año 2022.....	39
Tabla 2.4. Costo de transporte de acuerdo al lugar de destino.....	41
Tabla 2.5. Características de las zonas.....	41
Tabla 2.6. Vías de acceso.....	41
Tabla 2.7. Ponderación de los factores locacionales.....	43
Tabla 2.8. Calificación de los factores.....	44
Tabla 2.9. Método de calificación por puntos.....	44
Tabla 2.10. Ponderaciones de cotizaciones.....	48
Tabla 3.1 Área requerida en cada proceso.....	60
Tabla 3.2 Nomenclatura de las áreas del proceso de trituración mecánica.....	63
Tabla 3.3 Producción basada en turnos de la jornada laboral.....	64
Tabla 3.4 Cálculo de cantidad de materia prima requerida para producción.....	67
Tabla 3.5 Cálculo del tiempo requerido de producción.....	67
Tabla 3.6 Plantilla de disponibilidad de espacio en bodega de materia prima.....	68
Tabla 3.7 Plantilla ingreso de materia prima.....	69
Tabla 3.8 Plantilla salida de materia prima.....	69
Tabla 3.9 Plantilla inventario disponible.....	70
Tabla 4.1 Costos de producción por materia prima indirecta para el primer año ..	72
Tabla 4.2 Costos de producción por materia prima directa para el primer año... ..	72

	Pág.
Tabla 4.3 Costos de producción por parte de mano de obra directa en el proceso.....	..72
Tabla 4.4 Costos de producción indirectos.....	..72
Tabla 4.5 Costos de producción totales.....	..73
Tabla 4.6 Costos administrativos del proyecto.....	..73
Tabla 4.7 Inversión diferida del proyecto.....	..75
Tabla 4.8 Detalle de inversión total inicial.....	..76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Segmento de una cadena de polímeros de caucho natural (gutapercha) ...	4
Fig. 1.2. Curva Esfuerzo-Deformación de un material elastómero sin y con proceso de vulcanización.....	5
Fig. 1.3. Formación de cadena de polímero estireno butadieno.....	8
Fig. 1.4. Diferentes componentes de una llanta.....	14
Fig. 1.5. Diagrama de flujo presentando el proceso de fabricación de una llanta ..	17
Fig. 1.6. Etapas del proceso ambiental (proceso a temperatura ambiente).....	25
Fig. 1.7. Etapas del proceso criogénico (proceso a baja temperatura).....	27
Fig. 1.8. Reacción termolítica.....	28
Fig. 1.9. Equipo para el desarrollo de pirólisis de materiales sintéticos.....	29
Fig. 2.1. Porcentaje de llantas desechadas entre los años 2000-2014 en El Salvador.....	38
Fig. 3.1. Diagrama de flujo del proceso de abastecimiento de materias primas.....	50
Fig. 3.2. Diagrama de flujo del proceso de alimentación primaria de trituración.....	52
Fig. 3.3. Diagrama de flujo del proceso de trituración, granulación y pulverización.....	55
Fig. 3.4. Diagrama de flujo del proceso de empaque de producto terminado.....	57
Fig. 3.5 Matriz de relaciones de áreas involucradas en el proceso de trituración mecánica.....	62
Fig. 3.6 Diagrama de hilos para el proceso productivo.....	63

LISTA DE SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

- CA: Costo administrativo
- CF: Costo de financiamiento
- CGC: Cantidad de grano de caucho
- CMPR: Cantidad de materia prima requerida
- CP: Costo de producción
- CPC: Cantidad de polvo de caucho
- CT: Costo total
- DCBS: Diciclohexil-2 benzotiazol sulfenamida
- DPG: Difenil Guanidina
- GCR: Grano de caucho reciclado
- K: Razón de empresa
- MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- MBTS: 2-mercaptobenzotiazol
- PCB: Policlorobifenilos
- SBR: Copolímero Estireno-Butadieno
- SE: Superficie elástica
- SG: Superficie gravitacional
- SICA: Secretaria General de Sistema de Integración Centroamericana
- SLP: Planificación sistemática de la distribución
- SV: Superficie de evolución
- TBBS: Tert-butil-2 benzotiazol sulfenamida
- TMTM: Mono sulfuro de tetrametiltiuram
- WIP: Trabajo en proceso

INTRODUCCIÓN

Las llantas desechadas representan un componente de contaminación a gran escala debido al actual crecimiento y por su utilización en la industria automotriz y de transporte, el cual es generado por su inadecuado desecho o almacenamiento luego de terminada su vida útil.

La vida útil de una llanta es de aproximadamente 18 meses y se encuentra afectada principalmente por la exposición directa al sol, el agua y el contacto prolongado con derivados del petróleo, así como también, la presión de aire de trabajo, la temperatura, la correcta pisada de operación, el estado de las vías y los diferentes tipos de pavimentos.

Las llantas son fabricadas a partir de materiales que toman mucho tiempo en descomponerse al final de su vida útil. Por su inadecuado proceso de disposición, muchas de ellas llegan a los rellenos sanitarios, donde, debido a su volumen, ocupan demasiado espacio, además de que se convierten en hábitat para la incubación de insectos transmisores de enfermedades contagiosas, mencionando también que algunas son quemadas y otras son almacenadas a cielo abierto incontroladamente lo que genera una contaminación adicional a lagos, ríos y lugares comunes.

Por lo anterior expuesto se pretende diseñar una propuesta de un sistema con la finalidad de tratar adecuadamente las llantas desechadas teniendo en consideración que representan una amenaza ambiental de gran importancia, debido a que son fabricadas con materiales no biodegradables y su descomposición tarda alrededor de 500 años.

En el presente trabajo de graduación se presenta información acerca de las llantas como tal, su composición, proceso de fabricación y procesos de obtención de materiales contenidos en las mismas, a partir de esta información, se presentará de manera efímera un poco sobre la maquinaria que se utilizará en el sistema y la materia prima que se obtendrá a partir de una serie de procesos por el cual el sistema operará. Una vez definido todo lo anteriormente expuesto, se seleccionará el tipo de aplicación que se usará

para la materia prima obtenida del procesamiento de llantas desechadas en el sistema a proponer sobre la base de las necesidades que presente el entorno.

Finalmente, se presentará información sobre requerimientos y consideraciones para la implementación del sistema de recuperación, en lo que se refiere al proceso de producción y maquinaria que se desea implementar, y de manera efímera se tratará un poco de información sobre la distribución en planta del sistema, y algunas consideraciones acerca del personal a operar en el sistema. Asimismo, como información sobre detalles de la inversión que se deberá realizar para implementar esta propuesta de diseño en un futuro a largo plazo.

1. MARCO TEÓRICO

El reciclaje es un proceso que consiste en someter un material ya utilizado para obtener una materia prima o producto que permita generar un nuevo ciclo de vida del mismo. En la industria existen diversos productos que sirven para reciclaje, tales como las llantas cuando éstas han sido utilizadas a lo largo de su vida útil [1].

Las llantas alcanzan un alto impacto ambiental debido a sus serios problemas de contaminación que genera hacia el agua, el suelo y la atmósfera, y con generación de sitios potenciales de reproducción de vectores de enfermedades, así como insectos y animales rastrosos [1].

Las llantas presentan gran potencial para el reciclaje, así mismo para su aprovechamiento luego de estar en estado de uso; están compuestas de caucho, hierro y fibra textil, los cuales son susceptibles a transformación de nuevas alternativas en lo que se refiere a procesos de producción a nivel industrial o diferentes aplicaciones comunes a nivel cotidiano.

1.1. ESTRUCTURA Y FABRICACIÓN DE UNA LLANTA

Las llantas son básicamente un elemento que permiten a los vehículos desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo [2].

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte de una llanta tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente de la llanta es el caucho, casi la mitad de su peso. La matriz de caucho más utilizada es el copolímero

estireno-butadieno (SBR), en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, una mezcla de caucho natural y SBR [2].

Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común, así una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación [2].

La combinación se realiza de modo que los cauchos naturales proporcionen elasticidad, y los sintéticos proporcionen estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito. La estructura de los cauchos naturales está formada por cis-1.4 polisopreno mezclado con pequeñas cantidades de proteínas, lípidos y sales inorgánicas, entre otros. Se encuentra así un polímero de cadena larga y enredada en forma de espiral, de peso molecular medio 5×10^5 g/mol, que a temperatura ambiente está en un estado de agitación continua [2].

Este comportamiento general es debido en parte al impedimento estérico del grupo metilo y el átomo de hidrógeno, en el mismo lado del doble enlace carbono-carbono. Esta cadena se complementa con otro isómero estructural llamado gutapercha [2]. En la Fig. 1.1 se presenta la estructura orgánica de la cadena de polímeros que forman la gutapercha

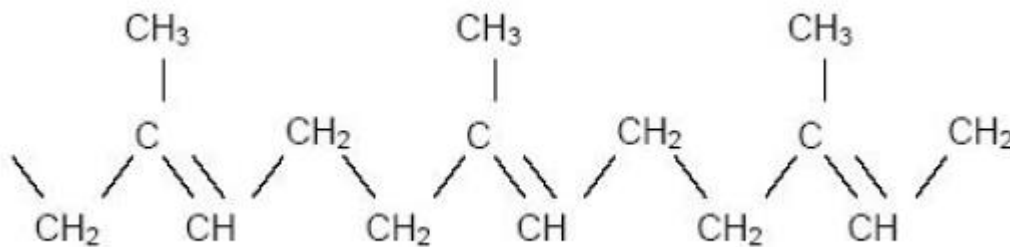


Fig. 1.1. Segmento de una cadena de polímeros de caucho natural (gutapercha).

El proceso de vulcanización a que se someten los neumáticos es un entrelazamiento de cadenas de polímeros con moléculas de azufre, a alta presión y temperatura. En el proceso de vulcanización el caucho pasa de ser

un material termoplástico a ser uno elastomérico. Las posibilidades de deformación son muy diferentes, como se ilustra en la Fig. 1.2.

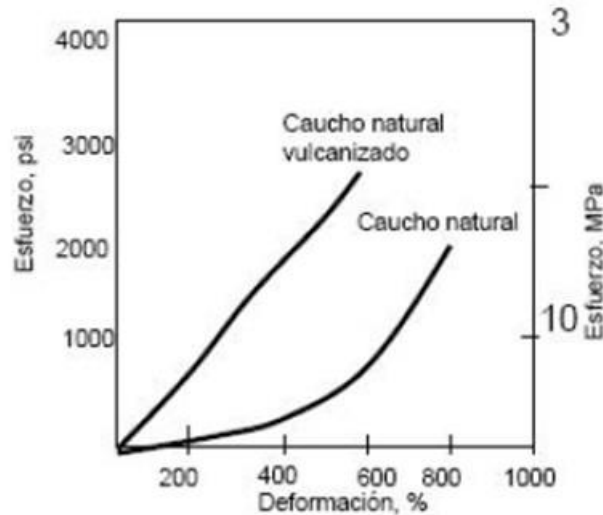


Fig. 1.2. Curva esfuerzo-deformación de un material elastómero sin y con proceso de vulcanización.

La adición de cargas hace abaratar el valor del neumático, dándole cuerpo y rigidez, se utilizan negro de humo y arcillas modificadas. Se agregan, además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como:

- ✓ Suavizantes. Que aumentan la trabajabilidad del caucho, antes de la vulcanización.
- ✓ Óxido de Zinc y de Magnesio. Comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias a horas a pocos minutos.
- ✓ Antioxidantes. Para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono.
- ✓ Negro de humo. Especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión [2].

Además de caucho, las llantas están compuestas por:

- ✓ Rellenos reforzantes. El negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- ✓ Fibras reforzantes. Textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos: algodón, nylon y poliéster. La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante.
- ✓ Plastificantes. Se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto: aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.
- ✓ Agentes vulcanizantes. El azufre se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho.
- ✓ Acelerantes. Compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.
- ✓ Retardantes. N-nitroso difenil amina.
- ✓ Otros componentes (antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos) [2].

En la Tabla 1.1 se presenta intervalos de composición química de elementos que contiene una llanta, que puede variar según el uso que se le dé a la misma [2].

Tabla 1.1. Composición química de una llanta.

Elementos	%
Carbono	70 – 83
Hidrógeno	5 - 7.5
Azufre	1.2 - 1.9
Cloro	0.1 - 0.8
Nitrógeno	1.5
Oxígeno	5
Zinc	1.2 - 2.7
Hierro	5-18
Otros	5

Algunas de las cuestiones importantes sobre la composición de los neumáticos son las siguientes:

- ✓ Los neumáticos contienen cloro en un 1% de su peso.
- ✓ Los policlorobifenilos (PCB), peligrosos productos clorados cuya fabricación está prohibida, están presentes en los neumáticos viejos, mezclados con algunos de sus componentes (aceites y plastificantes).
- ✓ Los componentes de los neumáticos contienen varios metales pesados en diferentes cantidades [2].

En la Tabla 1.2 se especifica la relación de algunas de las principales propiedades entre el caucho natural vulcanizado y otros elastómeros sintéticos. Se observa el bajo valor de resistencia a la tracción y la alta elongación que poseen.

Tabla 1.2. Propiedades mecánicas de diferentes materiales sintéticos y natural.

Elastómero	Resistencia a la tracción, Psi	Elongación, %	Densidad, g/cm ³
Caucho natural vulcanizado	2.5 – 3.5	750-850	0.93
SBR	0.2 – 3.5	400-600	0.94
Neopreno	3 – 4	800-900	1.25
Silicona	0.6 -1.3	100-500	1.1 - 1.6

Como se ha descrito, entre los cauchos sintéticos más utilizados se presentan los de tipo estireno butadieno (SBR). Después de la polimerización este material contiene entre el 20 al 23 % de estireno. En la Fig. 1.3 se observa la conformación de la cadena [2].

La presencia del butadieno permite el entrecruzamiento con el azufre, siendo capaz de producir el isómero cis que tiene una mayor elasticidad que la del caucho natural. El estireno permite tener un caucho más duro y más tenaz, haciendo que no cristalice bajo grandes esfuerzos [2].

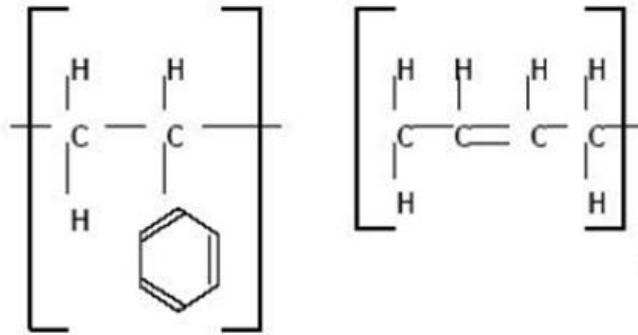


Fig. 1.3. Formación de cadena de polímero tipo estireno butadieno (SBR).

El SBR es más económico que el caucho natural, por lo que ha sido más difundido y utilizado desde hace tiempo en neumáticos, pero previamente tienen que ser tratados, pues elevan fácilmente su temperatura y absorben con facilidad aceites y naftas derramadas. Su aplicación y uso es amplio y se encuentra ubicada entre los -50 a 82 °C [2].

En el proceso de vulcanizado, en la fabricación del neumático, la goma virgen es mezclada con otros productos (cauchos sintéticos, azufre y óxidos) y llevada a temperaturas que provocan cambios en su estructura química interna y en sus propiedades físicas. Estos cambios son, en la práctica, irreversibles [2].

1.1.1. SUSTANCIAS ADITIVAS

- **Aceleradores de vulcanización.-**

Los aceleradores de la vulcanización son sustancias que, añadidas en cantidades pequeñas a la mezcla de caucho, que contiene otras materias accesorias, aumentan considerablemente la rapidez de vulcanización. Su utilidad se extiende más allá de este efecto, pues mejoran notablemente la calidad del producto. La industria moderna del caucho no podría subsistir sin el empleo de los aceleradores de la vulcanización [2].

Con anterioridad al descubrimiento de los aceleradores orgánicos, se usaban compuestos inorgánicos de carácter básico como blanco de plomo, litargiro, cal y magnesia que han sido sustituidos casi completamente por los aceleradores orgánicos. El primero de estos fue la anilina, la cual era superior a los óxidos de metales no sólo en la aceleración sino también en el mejoramiento de las propiedades del producto final. Dado que la anilina es demasiado tóxica para uso general, se experimentaron varios derivados, la tiocarbamilida, producto de la reacción de la anilina y el sulfuro de carbono, fue adoptado y usado por más de veinte años. Las aldehídoaminas y las guanidinas dieron todavía mejores resultados y tuvieron extenso uso [2].

Los tiazoles han reemplazado en gran medida a los aceleradores de otros grupos. Los sulfuros de tiouram se emplean también como aceleradores.

La aceleración se inicia por catálisis, convirtiendo el azufre elemental en una forma más activa que actúa como agente vulcanizador. Otra forma es, la descomposición térmica del acelerador proporciona radicales que quitan átomos de hidrógeno a las moléculas de isopreno e inician la reacción en cadena entre el azufre y el caucho. Según ciertas teorías, en forma activa se une a las moléculas de caucho en los dobles enlaces o sustituye átomos de hidrógeno a -metilénico durante la vulcanización formando puentes o enlaces cruzados de sulfuro y disulfuro [2].

Los aceleradores se consumen parcialmente o por completo durante la vulcanización y pueden funcionar en las etapas iniciales y terminales de la misma.

Los aceleradores se dividen en cuatro grupos químicos: mercaptotiazoles y sus derivados, diotiocarbamatos y sulfuros de bis (tiocarbamoilo), guanidinas y productos de reacción de aldehídos y aminas [2].

En la Tabla 1.3 se presenta los principales acelerantes con sus respectivas propiedades.

Tabla 1.3. Acelerantes de vulcanización y sus propiedades.

Denominación	Propiedades
Hexametoximetilmelamina	Polvo color blanco, inoloro Temperatura de inflamación >100 °C Contenido de ceniza 30% Densidad relativa 1.43-1.45
Difenil Guanidina (DPG)	Polvo color blanco, inoloro Temperatura de inflamación >150 °C Contenido de ceniza 0.5% Densidad relativa 1.2 Temperatura de fusión entre 142 y 150 °C Temperatura auto ignición >500°C
DCBS	Microgranulos blancos o marrones Contenido de ceniza 0.5% Densidad relativa 1.2 Temperatura de fusión entre 101 y 103 °C
TBBS	Pellets color blanco Punto de inflamación >100 °C Densidad relativa 1.3 Temperatura de fusión entre 105 y 109 °C
TMTM	Pellets color amarillo o polvo Contenido de ceniza 0.5% Densidad relativa 1.4 Temperatura de fusión entre 102 y 112 °C
MBTS	Pellets color amarillo o polvo Contenido de ceniza 1.0% Densidad relativa 1.42 Temperatura de fusión entre 167 y 185 °C Temperatura de ebullición 250 °C

- **Antioxidantes y antiozonizantes.-**

Los antioxidantes usados en el caucho son sustancias que retardan el deterioro del caucho natural, ya sea bruto o vulcanizado, causado por la oxidación. Algunas de las sustancias usadas para este fin son estabilizadores del caucho sintético (principalmente de los polímeros de butadieno) en el momento de la preparación, y cuando se usan de este modo se denominan estabilizadores [2].

También, se han llamado anti oxígenos. Sin embargo, el uso ha consagrado los nombres de antioxidantes y estabilizadores, antes definidos.

Con el empleo de aceleradores orgánicos, se mejora la maduración de las composiciones de que formaban parte. Entonces comenzó la búsqueda de materiales retardadores del deterioro que no afectasen apreciablemente el grado de vulcanización [2].

El uso industrial de antioxidantes en escala relativamente grande comenzó hacia 1930. De los primeros que se emplearon fueron la aldol-I-naftilamina y el acetaldehído-anilina. Estas sustancias están casi libres de acción aceleradora y su aparición señala una época en el progreso de las composiciones de caucho. Actualmente el consumo anual de estos materiales en los cauchos naturales y sintéticos es de unos veintidós millones de kilogramos [2].

Para una técnica de acción antioxidante, los cambios en las propiedades físicas del caucho durante la deterioración se atribuyen a varias reacciones, principalmente la formación de enlaces cruzados y la escisión del polímero. El oxígeno ataca el caucho vulcanizado [2].

- **Activadores orgánicos.-**

Diversas sustancias orgánicas se venden en calidad de activadores de la vulcanización. Algunas no son aceleradores cuando se usan solas; pero asociadas a un acelerador primario aumentan la velocidad de vulcanización sobre el valor obtenido con el acelerador sólo. Con esta asociación se obtiene una rápida vulcanización más económicamente que si se usa mayor concentración de acelerador sin el activador. El sistema de vulcanización con azufre, acelerador y óxido metálico es sensible al pH. Un pH bajo retarda la vulcanización y un pH elevado la activa. Por esta razón, la mayoría de los activadores son sustancias que elevan el pH del sistema. Entre los principales activadores se tiene óxido de zinc y ácido esteárico [2].

- **Retardadores.-**

El retardador ideal sería una sustancia que retarda el inicio de la vulcanización y que no afectase el curso subsiguiente de la vulcanización. Frecuentemente, se afirma que los retardadores o un retardador particular reprimen el inicio de la vulcanización a las temperaturas de elaboración, pero no retarda e incluso activa el curado a las temperaturas de vulcanización [2].

Los retardadores comerciales más aceptados para las vulcanizaciones con azufre son el ácido salicílico, ácido benzoico, anhídrido ftálico, y la tricloromelamina [2].

Las sales de plomo y cadmio son retardadores de sistemas que emplean los sulfuros de bis (tiocarbamoilo) como aceleradores. Un retardador verdaderamente eficaz debe aumentar el tiempo requerido para el inicio de la vulcanización (a cualquier temperatura), pero no debe retardar la subsiguiente velocidad de vulcanización [2].

Una sustancia que retarda ambos procesos produce el mismo efecto que una reducción de la dosis de acelerador, lo que significa un consumo inútil. Un retardador debe ser capaz de dispersarse fácilmente en el caucho y por esta razón debe ser soluble en el mismo o estar en partículas sumamente finas. Conviene que sea no tóxico e inodoro; no debe teñir, y ha de ser estable en almacenamiento [2].

- **Otros aditivos.-**

A continuación, en la Tabla 1.4 se presentan otro tipo de aditivos que cumplen funciones de acelerar el proceso de vulcanización.

Tabla 1.4. Otros tipos de aditivos acelerantes.

Denominación	Propiedades
Resina fenol formaldehido	Polvo blanco ligeramente coloreado Contenido de ceniza 1.0% Densidad relativa 1,265 Insolubilidad en acetona 1.5%
Resina de resorcinol formaldehido	Pastillas marrones oscuro Temperatura de ablandamiento 105 °C Densidad relativa 1.37 Punto de fusión 107 °C Punto de ebullición >100 °C
Silano	Pastillas color naranja Temperatura de goteo 99 °C Densidad relativa 0.991 Temperatura de fusión 96 °C
Resina de hidrocarburos aromáticos	Escamas amarillentas Contenido de ceniza 0.05% Densidad relativa entre 1.09 y 1.13 Temperatura de fusión entre 212 y 250 °C
Resina de butifenol formaldehido	Pastillas color amarillo Contenido de ceniza 1.0% Densidad relativa entre 1.02 y 1.04 Temperatura de inflamabilidad >218 °C
Resorcinol	Escamas color blanco amarillento Densidad relativa 1.27 Temperatura de fusión entre 108 y 112 °C Temperatura de ebullición 110 °C

1.1.2. PARTES DE UNA LLANTA. PROCESO DE FABRICACIÓN

Las llantas son un conjunto de componentes que se fabrican y ensamblan con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. Cada uno de los componentes posee una función específica y es constituido por una mezcla particular de materias primas tal como se presenta en la Fig. 1.4 [3].

Según el fabricante de llantas Bridgestone¹⁴, las llantas están compuestas por diferentes elementos como: Banda de rodamiento, paredes (costados), hombro, talones, telas de cuerpo (carcasa), telas estabilizadoras (cinturones estabilizadores) y relleno del talón (Chafer) [3]. Los cuales se definen como:

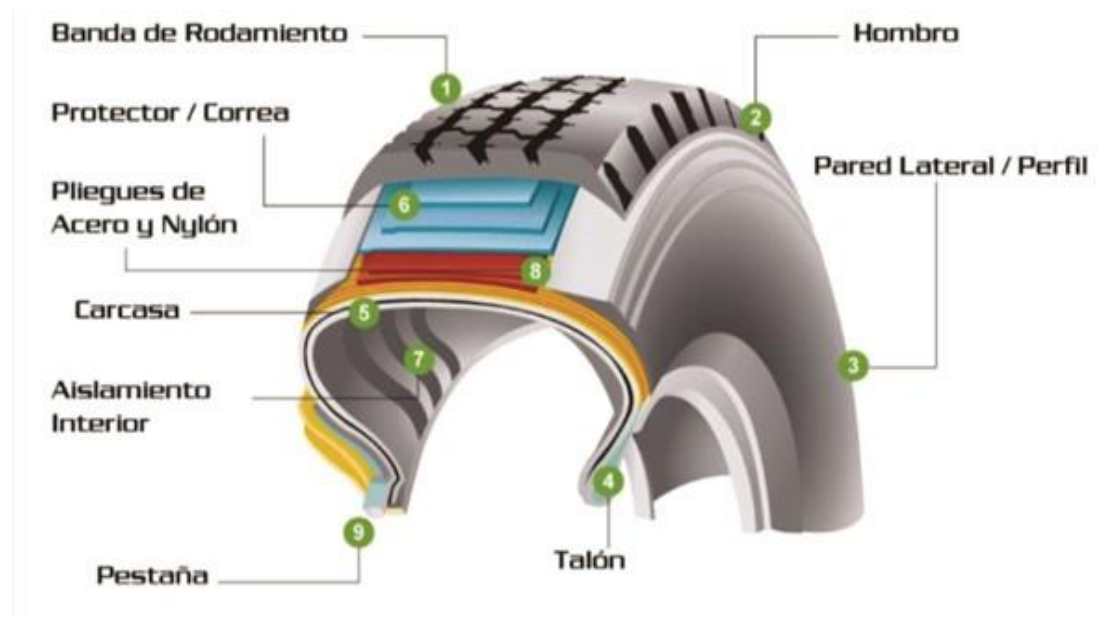


Fig. 1.4. Diferentes componentes de una llanta.

- ✓ Protector. Su función es resistir la presión ejercida por el aire cuando esta se encuentra en movimiento, así como soportar la carga del vehículo y aislar el interior de la llanta ante las irregularidades de las vías o caminos.
- ✓ Telas estabilizadoras. Le otorgan estabilidad y rigidez a la llanta, sobre todo a la banda de rodadura, y mejora el agarre o contacto entre la llanta y la superficie.
- ✓ Aislamiento interior. Básicamente es un sellador en la llanta, que permite retener el aire que comprime la llanta durante el avance.
- ✓ Banda de rodadura. Permite la adherencia entre la superficie y la llanta, le otorga resistencia a la fricción y le provee tracción a la llanta para evitar cualquier tipo de deslizamiento o derrape.
- ✓ Carcasa. Está volteada hacia arriba alrededor del talón, por lo que permite bloquear al talón en la carcasa de la llanta.
- ✓ Relleno del talón (Chafer). Cintas angostas de material colocadas alrededor del exterior del talón para proteger la carcasa contra el desgaste o cortes del aro (rim), distribuyendo la flexión sobre el aro y previenen la penetración de humedad y contaminación dentro de la llanta [3].

1.1.3. FABRICACIÓN DE UNA LLANTA

La llanta es un producto de alta ingeniería y está construida de mucho más que caucho; además de éste, fibras, telas y cables de acero son algunos de los componentes que integran el revestimiento interior, las capas del cuerpo, los cinturones, las caras y la banda de rodamiento, razón por la cual la fabricación de este producto requiere de tecnología de punta, equipos pesados, equipos especializados, instrumentos de precisión y por lo tanto mano de obra calificada [4].

La fabricación de llantas involucra muchos pasos y un alto consumo tanto de materias primas como también agua y energía; por esto es importante conocer el proceso con el fin de crear conciencia de los que involucra tanto obtenerlas como también desecharlas [4].

El proceso de fabricación está compuesto por varias etapas. En la Fig. 1.5 se presenta las principales etapas de fabricación de llantas como:

a) Formulación de los compuestos de caucho.

En esta etapa se determina la cantidad de los diversos tipos de caucho y elementos de relleno a utilizar con el fin de obtener la fórmula adecuada para el servicio (optimizar el desempeño, aumentar la tracción en condiciones tanto de suelo seco como también de suelo mojado u obtener una resistencia superior al desgaste).

Posteriormente se mezclan cada una de los compuestos en mezcladores dotados con agitadores especializados para materiales sólidos. Esta operación se realiza entre 160 y 170 °C. Posteriormente se elaboran láminas prensadas con la mezcla de los materiales [4].

b) Elaboración de los cinturones de textil y acero.-

Teniendo en consideración que las llantas deben soportar grandes esfuerzos, algunas vienen con un refuerzo textil y metálico. El refuerzo textil consiste en una lona de alta resistencia fabricada mediante el hilado de diferentes materiales. El refuerzo metálico es fabricado mediante el trenzado

e hilado de múltiples cordones de acero con alto contenido de carbono y recubiertos por cobre y zinc (latón), para evitar la corrosión prematura [4].

c) Operación de calandrado

El calandrado puede entenderse como la formación de láminas de caucho, textil-caucho y acero-caucho. Esta operación se lleva a cabo sometiendo el caucho proveniente de la operación de mezclado, a condiciones de presión y alta temperatura durante su paso a través de un juego de rodillos de superficies calentadas con vapor. Durante esta operación se lamina el caucho y se insertan los cinturones de textil o acero según necesidad de cada uno de los componentes de la llanta [4].

d) Fabricación de la ceja.-

La ceja es un anillo no extensible compuesto que ancla las capas del cuerpo y asegura el neumático a la llanta de modo que no se deslice o dañe el aro, por lo cual está compuesto por el caucho más duro de toda la pieza y acero en su interior. Para su elaboración se emplea el método de extrusión [4].

e) Operación de extrusión.-

La extrusión es básicamente el proceso de forzar una sustancia con ayuda de presión y temperatura, a través de una geometría determinada para darles forma a las piezas. Es uno de los procesos más importantes y muchos de los componentes de las llantas, tales como la banda de rodamiento, cara y vértice se preparan mediante el forzado del compuesto de caucho sin curar a través de un extrusor para darles forma a los perfiles de la banda de rodamiento o las caras de la llanta [4].

f) Montaje de llanta.-

El montaje de una llanta es un proceso por etapas donde se ensambla cada una de las partes fabricadas. Se montan todos los componentes como los conjuntos de cejas, cinturones para capas y revestimiento interno calandrados, secciones de banda de rodamiento y cara entre otros. Es te proceso tiende a ser altamente automatizado [4].

g) Vulcanización (curado).-

En la prensa de vulcanización es donde la llanta adquiere su forma y patrón de banda de rodamiento final. Aquí, los moldes dan forma y vulcanizan la llanta. Los moldes tienen grabados los patrones de banda de rodamiento, las marcas de banda del fabricante y aquellas exigidas por la ley. Las llantas se vulcanizan a más de 300 °C de 12 a 25 min y se suceden una serie de reacciones químicas (donde intervienen compuestos azufrados) que le dan características de resistencia, flexibilidad y baja degradabilidad [4].

h) Inspección final.-

Después del proceso de elaboración, las llantas son sometidas a una rigurosa inspección de calidad donde se realiza, recorte de la rebaba del molde, inspección visual del aspecto y para la detección de defectos obvios. Así, mediante radiografía se verifica la estructura interna y se determina la presencia de defectos. Además, se inspecciona de la durabilidad, uniformidad y equilibrio de peso de la llanta; adicionalmente se toman llantas al azar con el fin de realizar pruebas de resistencia y estructura interna que garantice su calidad. Es así como una llanta está lista para salir al mercado [4].

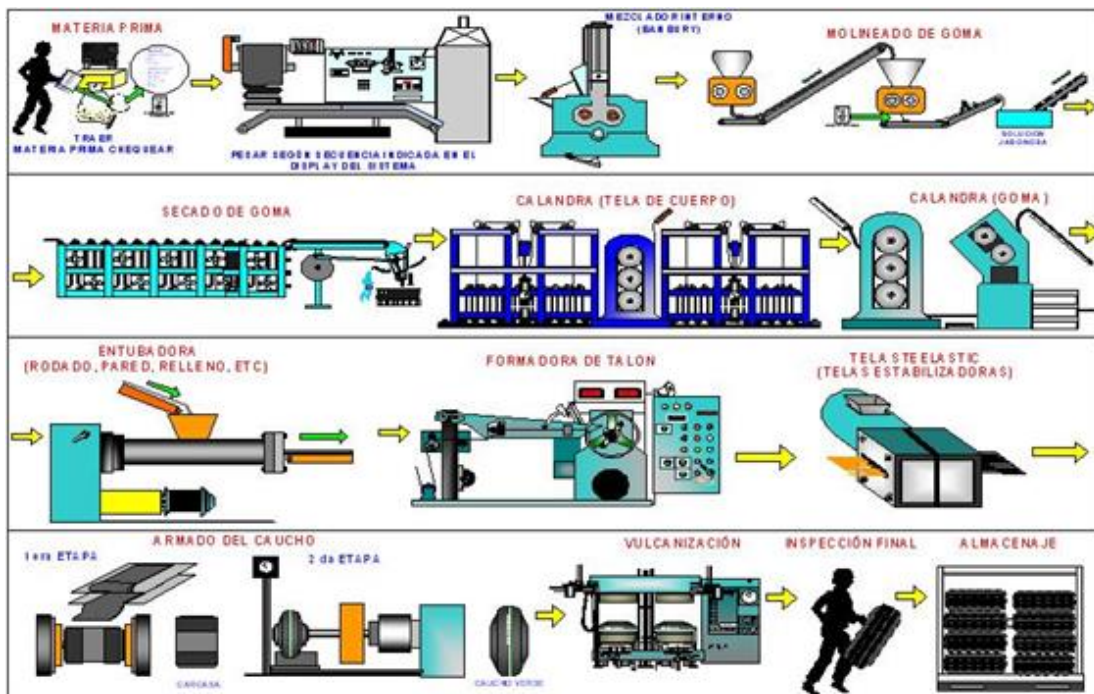


Fig. 1.5. Diagrama de flujo presentando el proceso de fabricación de una llanta.

1.1.4. CICLO DE VIDA DE UNA LLANTA Y FACTORES CONTAMINANTES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El ciclo de vida de los productos está enfocado en los procesos del sistema de producción entero, desde extraer y procesar las materias primas, hasta el uso final del producto por las personas que lo consumen, reciclan y desechan. Es posible determinar dónde y cómo se pueden reducir los impactos ambientales y el uso de recursos naturales asociados con cada etapa. Todas las etapas del ciclo de vida de las llantas requieren del uso de materias primas e insumos; del mismo modo, en todas se generan residuos, desechos o subproductos que pueden afectar negativamente el medio ambiente. Es importante hacer énfasis en que el manejo adecuado de las llantas, implica su reintegro a una cadena de gestión, con el fin de evitar que se utilicen en actividades inadecuadas como quema al aire libre o uso como combustible [4].

Toda llanta tiene como ciclo de vida las siguientes seis etapas descritas a continuación:

- a) Obtención de materia prima. Consiste en obtener caucho natural, petróleo, sílica, negro de humo, mineral de hierro, entre otros, para crear un lote de llantas [4].
- b) Procesamiento y transporte. Procesamiento de la materia prima para obtener materiales refinados aptos para uso industrial. Se considera esta como preparación de materias primas [4].
- c) Fabricación. Una vez listas las materias primas, se procede a fabricar cada uno de los componentes de la llanta y su ensamble final [4].
- d) Embalaje y distribución. El producto obtenido se empaca en diversas presentaciones para su distribución local o regional [4].
- e) Vida útil. Cada llanta elaborada está diseñada para durar cierto tiempo, dependiendo del cuidado, mantenimiento y operación de la misma. Todas esas variables repercuten en el ambiente de no ser tomadas en

consideración, debido a la generación de emisiones de COV, desgaste de caucho y generación de residuos [4].

- f) Reutilización, reciclaje y disposición. Las llantas pueden reutilizarse tal como están, pueden reciclarse para obtener nuevos productos o pueden disponerse adecuadamente, para generación de nuevos productos. De no llevar a cabo esta etapa del ciclo de vida, se generarán emisiones peligrosas y problemas de contaminación, por mal almacenamiento de estas mismas [4].

Para cumplir estas seis etapas debe considerarse que en todas se hará uso de recursos energéticos, así como agua, electricidad, entre otros. Algunos factores contaminantes en el ciclo de vida de una llanta, sobre todo en etapas primordiales como obtención de materia prima y fabricación, es que se generaran aguas residuales, energía no aprovechable, generación de desechos sólidos y emisiones de CO₂ al ambiente [4].

1.2. PROCESO DE RECICLADO DE LLANTAS

A pesar de que en países como Alemania, Francia y Austria se reciclan hasta el 60% de las llantas desechadas, en El Salvador prácticamente no existe un control o programa adecuado que se encargue de gestionar de manera correcta las llantas [3].

El 91% de las llantas terminan en lotes baldíos ríos y carreteras. Esta mala práctica no sólo arruina el paisaje, sino que se convierte en un factor generador de incendios y contaminación. Esto porque liberan moléculas de CO₂, que rebotan la luz y el calor en todas direcciones. Lo que impide que las radiaciones solares escapen de la atmósfera [3].

Cuando estas sustancias, también logran combinarse con otros materiales; como el exceso de asfalto y concreto en el tejido urbano de

grandes ciudades, la temperatura puede aumentar hasta 8 °C, incluso en el subsuelo [3].

1.2.1. IMPACTO AMBIENTAL DEL MAL MANEJO DE LLANTAS DESECHADAS

Las llantas están compuestas por tres materiales: alambres de acero, elastómeros mejores conocidos como goma, y fibras textiles. Cuando estas sustancias no se reciclan adecuadamente, sobre todo cuando se ejerce la práctica de quemarlas, se transforman en un enemigo importante para el medio ambiente y los seres vivos [4].

La quema de llantas produce contaminantes extremadamente nocivos para la salud y gases que contribuyen al calentamiento global.

El desecho a nivel mundial de llantas anualmente es muy elevado generando un alto impacto negativo en el medio ambiente, por ejemplo, aproximadamente 300 millones de llantas de neumático son desechadas anualmente en los Estados Unidos Shen (2007) y Botero (2005) declararon que en Puerto Rico se produce una llanta desechada por habitante por año (1 llanta/hab/año), Neto (2003) declaró que en Brasil se producen anualmente cerca de 45 millones de llantas, de las cuales 30 millones son desechadas, Magalhães (2003) cita que en Brasil existe una cantidad estimada de 900 millones de neumáticos colocados de manera inapropiada en el medio ambiente [4].

Actualmente se registra un volumen creciente en la generación de llantas desechadas a nivel mundial, en Estados Unidos el consumo de llantas es algo superior a una llanta por habitante/año (3,000 millones de llantas/año), las llantas como tal, tienen una lenta degradación debido a los materiales con que se encuentra constituido y la disposición final de estas ha llegado a representar un problema económico, ambiental y su almacenamiento en

grandes cantidades al aire libre provoca problemas estéticos y riesgos para la salud pública y probables incendios difíciles de extinguir [4].

El manejo inadecuado de cualquier tipo de residuo genera impactos ambientales que están acordes con la naturaleza del mismo (residuo peligroso, residuo convencional). Actualmente las llantas no están consideradas como residuo peligroso; sin embargo, éstas se componen de un gran número de sustancias con connotaciones peligrosas, las cuales tienen un impacto en la salud si no se da el manejo apropiado [4].

1.2.2. PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS DESECHADAS

Uno de los principales problemas en el reciclaje de llantas, es la durabilidad de las llantas. Estas son muy difíciles de descomponer y, por lo tanto, se las ve en espacios abiertos en grandes montones o siendo quemadas [5].

Algunos pasos para llevar a cabo el procedimiento de reciclaje de llantas desechadas y que se tomaran en consideración para la propuesta del sistema son los siguientes:

- Almacenamiento. En cada proceso de reciclaje, la recolección suele ser el primer paso. En esta etapa las llantas son recolectadas por individuos que se han interesado en el mejoramiento del medio ambiente y evitar los niveles altos de contaminación. Así, una vez que las llantas alcanzan el número o volumen requerido, se empacan en paquetes y se mandan a las plantas de procesamiento. Aunque, algunas personas prefieren reutilizar estas mismas para otros fines [4].
- Procesamiento. En la planta de procesamiento, el programa de reciclaje inicia por cortar las llantas en pedazos pequeños con el objetivo de reducir el volumen de las llantas y crear un material que se pueda manejar fácilmente. Luego, el producto final de esta etapa se puede utilizar como materia prima para diferentes productos en diferentes áreas. El

procesamiento de llantas se emplea por dos tipos de sistema, sea este un sistema mecánico o un sistema criogénico que involucre cambios en la temperatura [4].

- Liberación de acero. Los fragmentos de la llanta obtenidos en el primer paso se procesan y preparan tanto para la eliminación y separación del alambre del caucho como también la separación de la fibra. Las llantas contienen cables de acero para mayor resistencia a la tracción y versatilidad. Los alambres de acero se retiran y reciclan para la fabricación de acero nuevo. El caucho restante se puede vender como mantillo de caucho [4].
- Selección y limpieza. Una vez que los alambres están separados de la goma, la siguiente etapa es la detección. Esto implica una observación cuidadosa de la goma para asegurar que no haya más cables u otras contaminaciones. También, el proceso de selección consiste en seleccionar una gran cantidad de cauchos de diferentes tamaños que no contienen cables, clasificarlos en diversos tamaños, eliminar todas las sustancias no deseadas y reducir las piezas de caucho extra grandes y no deseadas. Por último, una vez finalizada la selección, un sistema que implica el uso de agua y otros agentes de limpieza para limpiar a fondo la goma. Una vez que se obtiene el caucho limpio, se puede empacar y transportar donde se desee este producto como materia prima [4].

1.2.3. BENEFICIOS DEL PROCESO DE RECICLAJE

Todo proceso de reciclaje tiene sus ventajas y desventajas posteriormente a llevarlo a cabo, en este apartado se destacan los beneficios del producto final posteriormente al proceso de reciclaje, entre los cuales se listan los más importantes [4]:

- Generación de energía eléctrica. Las llantas son una buena fuente de combustible para la producción de electricidad. El calor que se libera

durante la combustión convierte el agua de la caldera en vapor que, al llegar hasta el generador produce la electricidad [4].

- Construcción de otras llantas. Mediante el reciclaje de llantas se puede extraer el caucho y este puede ser usado en la fabricación de llantas nuevas.
- Mezcla asfáltica. Los materiales obtenidos mediante el reciclado de llantas pueden ser utilizados como materiales para el asfalto y pavimentación de carreteras. Con estos materiales se consigue que las carreteras sean más silenciosas y más seguras y además se disminuye la extracción de áridos de las canteras [4].
- Otros usos. El material obtenido con el reciclado de llantas puede ser usado para hacer campos de juego, pistas de atletismo, material de drenaje, alfombras, aislantes de vehículos, suelas de zapatos, bandas de retención de tráfico, campos de césped artificial, aislantes de vibración, entre otros [4].

1.3. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO Y OBTENCIÓN DE MATERIAL RECUPERADO

El grano de caucho reciclado (GCR) es un material obtenido de las llantas desechadas de los vehículos, que por lo general tiene un destino no muy controlado ambientalmente, rellenos sanitarios, plantas térmicas, basureros a cielo abierto, entre otros, que generan un daño ambiental importante [5].

Se obtiene mediante procesos de molienda (métodos de recuperación) de llantas desechadas o que fueron usadas, disminuyendo en su tamaño, este material es utilizado en diferentes obras de ingeniería civil, como lo son en rellenos de terraplenes, materiales de contención, pisos de parques, como modificador en las mezclas asfálticas, entre otros [5].

El grano de caucho se ablanda y se expande a medida que va reaccionando con la adición de éste a las mezclas produce un bitumen más

espeso, lo cual tiene que ver con que se presente mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación [5].

Estos métodos o procesos de recuperación de llanta para obtener caucho en forma de grano tienen como objetivo llegar a un tamaño máximo de partícula de 6.35 mm (0.25 pulg). Además, estos se diferencian en cuanto a la forma y la textura del GCR. Cada proceso debe evaluarse según los costos, como también el que se garantice que las partículas de GCR se encuentren libres de acero, fibras y otros productos que afecten de manera negativa la calidad del producto. A continuación, se identifican tres diferentes formas de molienda de las llantas [5].

1.3.1. PROCESOS DE MOLIENDA NATURAL O AMBIENTAL

En la Fig. 1.6 se presenta las etapas del proceso ambiental. Donde se utiliza una serie de granuladores que reducen el tamaño del caucho mediante el corte por la acción de cuchillas. Son molinos construidos generalmente para separar los componentes metálicos y así evitar dañarlos, para eliminar la parte textil se usan cintas o bandejas vibratorias que originan la compresión de las fibras, las cuales son separadas por tamices [5].

El tamaño de las partículas es controlado mediante tamices ubicados dentro de la máquina; sin embargo, estos tamices pueden ser reemplazados para dar un tamaño esperado [5].

La temperatura de los neumáticos inicialmente es equivalente a la temperatura ambiente, pero esta aumenta considerablemente en el proceso de molienda en la fricción de los neumáticos con las cuchillas [5].

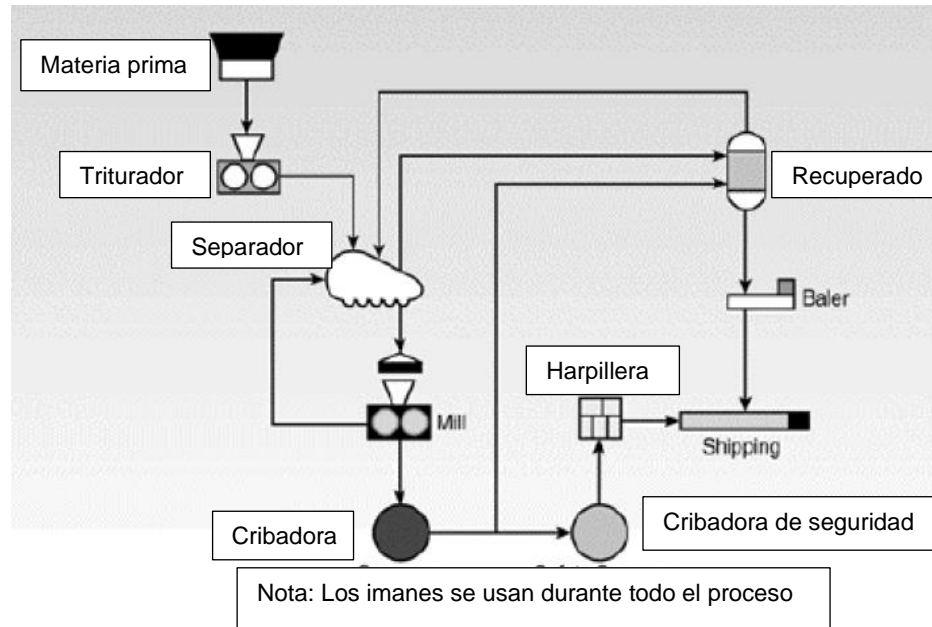


Fig. 1.6. Etapas del proceso ambiental (proceso a temperatura ambiente).

En este proceso, se encuentran presentes varios pares de molinos para dar el tamaño esperado (2 o 3 molinos). Los rodillos están uno en frente del otro, con una distancia específica que es la que le da el tamaño al grano de caucho. El caucho pasa por esta variedad de molinos con el fin de facilitar la separación de los demás materiales que se presentan en las llantas desechas.

Las plantas que tratan este proceso necesitan tener alto mantenimiento continuo en las máquinas, debido a que se presentan grandes desgastes en las cuchillas de corte y su costo tiene a ser más elevado [5].

El proceso ambiental, también conocido como el proceso de molienda a temperatura ambiente, el cual normalmente contiene las siguientes actividades; separación del metal, separaciones de la fibra, reducción a polvo de GCR, empaquetado, pesado y transporte [5].

El acero es separado mediante la utilización de imanes y la fibra mediante por medio de aspiración y de selección. Los imanes son utilizados a lo largo de las etapas del proceso [5].

Normalmente el tamaño de reducción al ser triturado es aproximadamente de 2 pulg. El exceso de calor puede degradar el caucho y,

si no se enfría adecuadamente la combustión se puede producir durante el almacenamiento [5].

1.3.2. PROCESO DE MOLIENDA A BAJA TEMPERATURA (CRIOGÉNICO)

Este proceso como se observa en la Fig. 1.7 busca obtener las partículas en los tamaños mínimos esperados, utilizando un método para disminuir la temperatura de la llanta a una temperatura muy baja. Se emplea nitrógeno u otros materiales que disminuyan considerablemente la temperatura del neumático. Se reduce el caucho a partículas entre tamaños de 6.35 mm (0.25 pulg) a mínimo tamiz número 30 [5].

En la molienda criogénica, los materiales son enfriados mediante nitrógeno o dióxido de carbono a muy bajas temperaturas $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-80\text{ }^{\circ}\text{F}$).

En el proceso de molienda criogénico se hace uso de temperaturas criogénicas (conjunto de técnicas que son utilizadas para enfriar un material a la temperatura de ebullición del nitrógeno o a temperaturas más bajas), en donde se puede aplicar en cualquier etapa de la reducción de la llanta. El material se puede enfriar en una cámara de estilo túnel, sumergido en un baño de nitrógeno líquido para reducir la temperatura del grano de caucho [5].

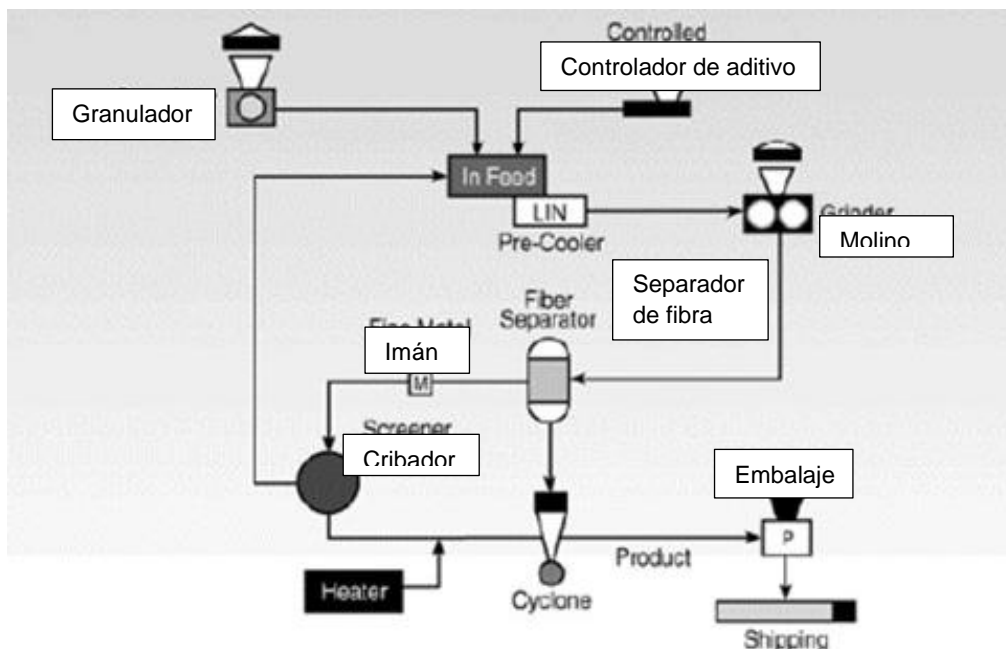


Fig. 1.7. Etapas del proceso criogénico (proceso a baja temperatura).

El caucho enfriado se muele en una unidad de reducción de tipo impacto, en un molino de martillo. La molienda criogénica evita la degradación térmica del caucho y produce un alto rendimiento del producto que queda libre de casi toda la fibra o de acero, que son liberados mientras el proceso [5].

Para el caucho proveniente de las llantas desechadas, el acero se separa del producto mediante imanes y la fibra mediante cribado (compuesto de una tela metálica fina con el fin de separar los materiales). Puede ser un sistema de cuatro fases, que incluye la reducción del tamaño inicial, enfriamiento, separación y molienda. Este proceso requiere menos energía que otros y produce grano de caucho de gran calidad [5].

El tamaño, la forma y las características de las partículas de caucho por molienda criogénica son diferentes a las obtenidas por otras moliendas. Sin embargo, las partículas del polvo obtenidas por molienda criogénica presentan una superficie relativamente suave, un amplio intervalo de tamaño de partícula, así como una mínima oxidación superficial. Estas diferencias en la naturaleza y reactividad pueden producir diferentes propiedades en el producto final [5].

Este proceso presenta un costo más elevado de operatividad debido al precio del nitrógeno líquido [5].

1.3.3. PROCESOS TÉRMICOS Y MECÁNICOS PARA OBTENCIÓN DE CAUCHO EN LLANTAS DESECHADAS

Los principales problemas que se reportan en las plantas de tratamiento de residuos, están asociados con el inadecuado desecho o desuso de las mismas, que conlleva a la acumulación de materiales con pérdida de valor y afecta su comercialización; deficiencias operativas y la falta de tecnificación en los procesos de adecuación y transformación de materiales y las dificultades en la administración están afectando la sostenibilidad ambiental y financiera de estas iniciativas [5].

Esto hace que, para la implantación de una nueva tecnología, en este caso tecnología para el aprovechamiento de llantas, sea necesario estudiar las diferentes alternativas existentes a nivel internacional y así seleccionar cual de ella se adapta a las necesidades del proceso y del producto [5].

Para el reciclaje de llantas desechadas existen gran diversidad de métodos y tecnologías de transformación, que se explicaran brevemente a continuación [5]:

- Termólisis. Este método consiste en someter al residuo a un calentamiento en un medio carente de oxígeno, provocando la ruptura de los enlaces químicos dando lugar a la aparición de cadenas de hidrocarburos (ver, Fig. 1.8) [5].

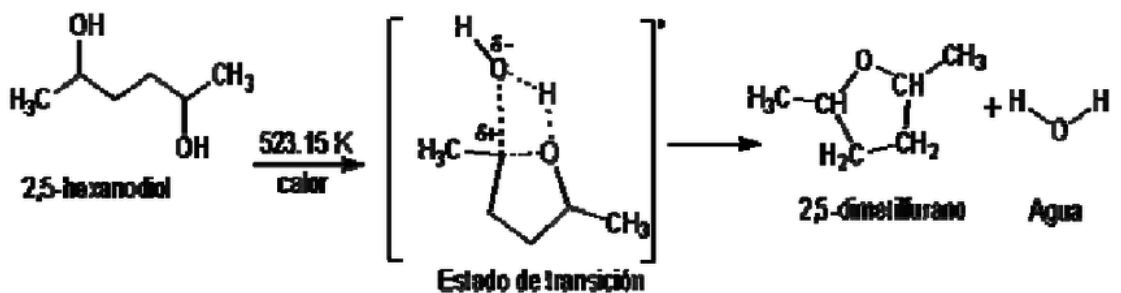


Fig. 1.8. Reacción termolítica.

- Pirolisis. Al igual que la termólisis, este método involucra la degradación térmica del material en ausencia de oxígeno en hornos con temperaturas que van desde los 600 a 800 °C. Algunos productos generados en este proceso son olefinas (alquenos), cera y hollín:
 - a) Pirolisis de baja temperatura. Este tipo de pirolisis, descompone los residuos de polietileno en aceites de bajo punto de fusión utilizando cera de polietileno a una temperatura de 400 °C.
 - b) Pirolisis de alta temperatura. Las llantas desechadas y trituradas son introducidas a un reactor de arena de cuarzo a una temperatura entre los 630 y 877 °C [5].

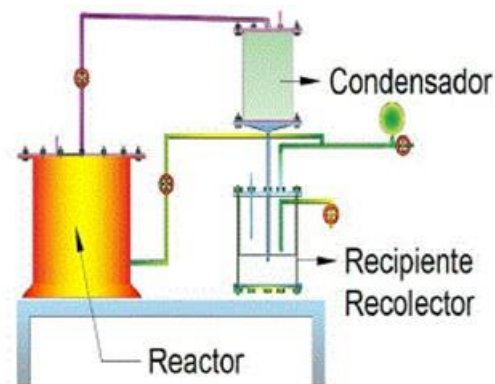


Fig. 1.9. Equipo para el desarrollo de pirolisis de materiales sintéticos.

- Incineración. Es un proceso de tratamiento que consiste en la transformación de los materiales combustibles en un producto gaseoso y un residuo sólido inerte y libre de microorganismos, compuesto por escorias y cenizas, basándose en una combustión controlada vía oxidación a altas temperaturas. Este tipo de proceso produce emisiones de gases contaminantes al medio ambiente [5].
- Trituración. La trituración convierte los residuos de llantas en un material molido o en partículas, lo más homogéneo posible. El proceso de trituración es necesario antes de que se den lugar los siguientes pasos del proceso

tanto para obtener nuevos materiales como también combustibles secundarios:

- a) Trituración mecánica. Consiste en romper la llanta mecánicamente, en partículas pequeñas. El acero resultante es retirado por medio de un separador magnético y las fibras textiles por clasificadores neumáticos. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y de los residuos de neumáticos.
- b) Trituración criogénica. En este proceso, se utiliza las llantas desechadas enteras y consiste en congelarlas con nitrógeno líquido y golpearlas para que liberen la estructura metálica o textil del caucho [5].

1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO DE LOS PROCESOS

En la Tabla 1.5 se presenta una comparación entre todas las alternativas antes explicadas sobre reciclaje de llantas desechadas.

En general cualquier tipo de reciclaje del material obtenido de las llantas desechadas tiene las ventajas siguientes:

- El material no tiene ningún costo.
- Existe una gran cantidad de material de trabajo.
- Es un negocio autofinanciable.
- En el proceso de reciclaje se generan empleos
- El producto del reciclaje es una materia que puede servir para diversas aplicaciones, dentro de las que se destaca los usos en jardinería, construcción, canchas deportivas, entre otros [5].

Tabla 1.5. Comparación de ventajas y desventajas entre los diferentes métodos de reciclaje de llantas desechadas.

Proceso	Ventajas	Desventajas
Termólisis	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de combustión o quema directa de material. • Se obtiene nuevamente los compuestos originales de las llantas. • Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de llantas u a otras actividades. 	<ul style="list-style-type: none"> • La llanta debe ser sometida primero a una trituración mecánica. • Es necesario infraestructura con gran capacidad.
Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de compuestos químicos y gases para ser utilizados como combustible en el mismo proceso o en otra actividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión alta. • Posibles problemas de emisiones atmosféricas. • Complejidad a la hora de realizar la separación de la gran variedad de compuestos generados en cantidades mínimas, de tal forma que su recuperación y transporte hasta los puntos de consumo no es económicamente viables.
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de operación. • Dificultad con el manejo de las velocidades de combustión de los diferentes componentes. • Proceso altamente contaminante.
Trituración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Los productos resultantes son de alta calidad y limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. • Alto desempeño del sistema. • No genera compuestos contaminantes. • Exige poca mano de obra para operar y repara el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento constante de algunas partes de la maquinaria (cuchillas y tornillo).
Trituración criogénica	<ul style="list-style-type: none"> • Las partículas de caucho molidas generadas en este proceso presentan una superficie relativamente suave, un amplio intervalo de tamaño de partícula, así como una mínima oxidación superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja calidad del producto debido a dificultad material y económica para separar al caucho del metal y de la fibra. • Requiere de instalaciones complejas.

1.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PROPUESTA

El proceso productivo para la propuesta a diseñar, constará de cuatro etapas, con el objetivo de facilitar y optimizar dicho proceso; las cuales serán:

- a) Abastecimiento de materia prima;
- b) Alimentación;
- c) Trituración, granulación y pulverización; y
- d) Empaque.

1.5.1. CIFRAS DE PRODUCCIÓN Y PROPUESTA DE SELECCIÓN DE EQUIPOS

Se deben considerar para el desarrollo de esta propuesta que el proceso de producción, será un proceso mecánico por medio de trituración, que permita reducir el considerable tamaño de volumen de la materia prima inicial, en este caso, considerando llantas desechadas. Con el fin de facilitar este proceso de producción se ha tomado en consideración instalar una línea de producción, que genere de manera anual una cifra productiva de 1,074 T de metal y 3,900 T de polvo y grano de caucho (GCR), estas cifras podrían variar a medida se realice la selección de equipos que ejecutarán el proceso de producción [6].

Los equipos que se requerirán para el diseño de esta propuesta se seleccionarán sobre la base del proceso de producción, que en el caso de la propuesta a diseñar, es la trituración, por lo que se seleccionarán los siguientes equipos:

- a) Trituradora,
- b) Granuladora,
- c) Pulverizador,
- d) Destalonadora,
- e) Cortadora,

- f) Cernidor vibratorio,
- g) Sistema de extracción de fibra,
- h) Banda imantada, y
- i) Bandas transportadoras.

Para la selección de estos equipos, se deberán considerar ciertos criterios de selección, los cuales son: calidad, garantía, capacidad productiva, precio, mantenimiento; de los cuales se determinará que equipos elegir sobre la base de su precio y a la capacidad de producción. Esta selección se detallará en capítulos posteriores, ya que además se considerarán otras variables a medida el estudio siga avanzando [6].

1.5.2. FACTORES AMBIENTALES

Al diseñar un sistema de trituración de llantas desechadas, este contribuye de forma altamente positiva al medio ambiente ya que se reduce el riesgo de que estos residuos sólidos terminen en zonas que generen contaminación. Las ventajas del proceso de trituración mecánica radican en la ausencia de agentes químicos y adiciones de calor que puedan impactar negativamente el medio ambiente. Sin embargo, se debe tener un manejo adecuado de los residuos que genera el sistema de trituración [6].

Los equipos o maquinarias seleccionados para llevar a cabo el proceso de producción garantizaran el 99% de la transformación de llantas en producto final, sea estas fibras textiles o de metal, y caucho totalmente separado. El 1% restante hace referencia a virutas de caucho o residuos que cuenta con la presencia de metal y/o fibra textil, por ende, debe ser considerado como un residuo sólido especial [6].

Si se toma en consideración un pronóstico de 200,000 llantas futuras a procesar durante un año en un periodo a largo plazo, ese 1% representara un riesgo ambiental; por lo que, se deberá considerar un mecanismo u otro proceso productivo que permita controlar este factor contaminante; se tiene en

consideración el reprocesamiento de estas virutas, donde se supondrá esto como una materia prima principal partiendo desde la máquina granuladora, realizando nuevamente el proceso de trituración en sus diferentes etapas, hasta volver a obtener un producto final [6].

2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVA DE DISEÑO

En este capítulo se realiza el análisis de todas las variables involucradas en el diseño de la propuesta de un sistema recuperador de materiales a partir de llantas desechadas. Este análisis permitirá definir qué capacidad de producción que permitirá el sistema realizar el proceso de producción y en que jornadas de trabajo, así como en qué zona se recomienda llevar a cabo la propuesta. Así como se presentan los criterios primordiales y equipos seleccionados posterior a un análisis de comparaciones y de criterio con diferentes alternativas de cotización de equipos.

2.1. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

El tamaño de un proyecto está determinado por la capacidad de producción de la planta. Para calcular la capacidad de producción estimada, primero se debe conocer una aproximación en la cantidad de llantas desechadas que se generan en todo el territorio nacional y estimar el porcentaje de estos residuos sólidos especiales que no son dispuestos adecuadamente cuando llega al fin de la vida útil. Posteriormente, se debe plantear una meta por parte de los autores que establezca la capacidad de producción del proceso, considerando la cantidad de materia prima disponible y porcentaje de reciclaje con la cual se desea contribuir al territorio [7].

Además, se debe conocer el peso y la composición de caucho, acero y fibra textil de cada tipo de llantas para estimar la cantidad de producto final (acero y caucho) que se espera basado en la disponibilidad de la materia prima (llantas desechadas) [7].

2.1.1. CANTIDAD DE LLANTAS NO DISPUESTAS ADECUADAMENTE

En esta etapa previo al diseño y al cálculo de la capacidad con base a las líneas de producción y el rendimiento de los equipos industriales, se estima una capacidad de producción esperada para especificar el número de días al año y la cantidad de horas en las que se proyecta trabajar para cumplir con una meta mensual de llantas a procesar [7].

Para clasificar la cantidad de llantas desechadas que son aprovechadas y aquellas que se disponen de forma inadecuada es necesario conocer los posibles destinos de este residuo sólido, especial cuando llega al final de su vida útil, el país cuenta actualmente con uno, el cual es la empresa HOLCIM ubicada en la ciudad de Metapán, Santa Ana. Según fuentes de la empresa HOLCIM junto al apoyo de la empresa GEOCYCLE que cuentan con un sistema de coprocesamiento destinado para desechos sólidos, se procesaron en 2019 una cantidad de 700,000 llantas desechadas. Esto es posible, ya que la planta de coprocesamiento dispone de una línea de producción que procesa de 3,000 a 10,000 kg de desechos por hora, reduciendo así en un 15% el uso de combustibles fósiles [7].

Según registros de MARN para el año 2018 se aprovecharon un total de 6,546 Toneladas métricas en llantas desechadas para someterse a coprocesamiento, para motivos de cálculo y practicidad, consideramos que 1 Tonelada métrica equivale a 1,000 kg y que una llanta usada pesa aproximadamente 10 kg, lo cual permite definir que en ese año se aprovecharon 654,600 llantas [7].

Lo que en relación al dato de llantas desechadas que se aprovecharon un año posterior en la línea de producción de la empresa GEOCYCLE, se cubrió un porcentaje de 93.43%, por lo que el sistema a diseñar tendrá la posibilidad de utilizar dicho porcentaje en las llantas que no son aprovechadas adecuadamente. Sin embargo, en el territorio nacional no se lleva un control preciso y detallado del manejo de llantas, motivo por el cual, los datos presentados son estimaciones y del 93.43% aproximado de llantas que no es

aprovechado por la empresa GEOCYCLE, no es posible abarcar el total de este porcentaje, ya que se conoce muy poco del modo de operación del mercado ilegal de llantas desechadas existente [7].

2.1.2. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN ESPERADA

En adelante y para posteriores cálculos y análisis, del 93.43% de aproximación en el dato de procesamiento, se considerará un 35% del total de llantas que no son aprovechadas, tomando en consideración que la empresa GEOCYCLE podrían tomar decisiones estratégicas de ampliar su producción, el surgimiento de empresas independientes, entre otras [7].

Cabe resaltar que para definir ese 35% se hicieron algunos cálculos relacionados tanto a ingresos y costos donde reflejaría rentabilidad. Se calculó la cantidad de llantas aprovechadas, a partir de los datos registrados por el MARN desde el año 2017 hasta el año 2022, esperando que se aumenten de manera progresiva, como se presenta en la Tabla 2.1 [7].

Considerando que la inversión del proyecto es alta, se debe diseñar un sistema que sea capaz de procesar las llantas estimadas para el año 2022 o el año que se desee. Se espera que la planta de trituración trabaje 6 días a la semana en un turno de 8 h. Sin embargo, la decisión de tener una o más líneas de producción y 1 turno será determinada por la capacidad de procesamiento de los equipos en los posteriores análisis [7].

Tabla 2.1. Estimaciones de cantidad de llantas a aprovechar.

Año	Total, de llantas desechadas	Llantas no aprovechadas	Llantas a aprovechar 35%
2017	651,808	612,700	214,445
2018	696,382	654,600	229,110
2019	740,958	696,500	243,775
2020	745,414	700,690	245,242
2021	749,872	704,880	246,708
2022	754,330	709,070	248,175

2.1.3. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PRODUCTO FINAL SOBRE LA BASE DE LA DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

Con base en el crecimiento esperado de la demanda de automóviles cada año y la cantidad de llantas desechadas aproximadamente se generarán en el año 2022, es necesario conocer el tipo de llantas (dimensiones) que componen estas cifras para estimar una cantidad aproximada en el peso en kg de la cantidad de caucho y acero que se espera obtener del proceso de trituración mecánica. Por lo tanto, se asumirá que el comportamiento es igual al que se presenta en la Fig. 2.1, con el fin de obtener los respectivos porcentajes a los que corresponde cada llanta sobre la base de los tipos de vehículos [8].

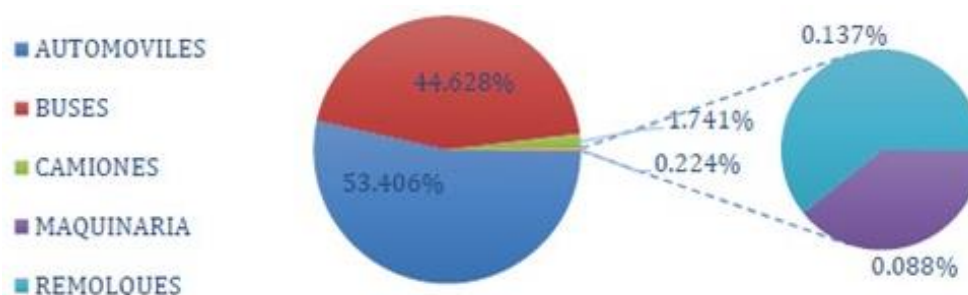


Fig. 2.1. Porcentaje de llantas desechadas entre años 2000-2014 en El Salvador.

Para la elaboración de la Tabla 2.3 se consideró como referencia el comportamiento porcentual de la demanda total de llantas, y la composición de cada llanta de acuerdo al tamaño del rin que se especifica en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Composición de llantas de acuerdo al RIN

Transporte	RIN	%Caucho	%Acero	%Fibra textil
Automóviles	12.5 – 16	75	14	11
Buses	16 – 18	75	24	1
Camiones	18 – 22.5	75	24	1

En la Tabla 2.3 se toma en consideración como base las llantas desechadas estimadas para el año 2022 (248,175) para pronosticar la cantidad total de caucho, acero y fibra textil en kilogramos que debe producir el proceso de trituración mecánica en un caso ideal de aprovechamiento al 100% [8].

Tabla 2.3. Porcentaje de caucho, acero y fibra textil para el año 2022.

	Porcentaje, %	N° de llantas anuales	Peso de llanta, kg	Peso total de llantas, kg	Peso del caucho, kg	Peso del acero, kg	Peso de la fibra textil, kg
Automóviles	53.41	132,555	11.5	1,524,382.5	1,143,286.9	213,413.6	167,682
Buses	44.63	110,761	27.21	3,013,806.8	2,260,355.1	723,313.6	30,138.1
Camiones	1.74	4,318	66.67	287,881.1	215,910.8	69,091.5	2,878.8
Maquinaria	0.09	224	136	30,464	N/A	N/A	N/A
Remolques	0.14	347	136	47,192	N/A	N/A	N/A
Total	100	248,175		4,903,726.4	3,619,552.8	1,005,818.7	200,698.9

Como pronóstico, si se aprovechará el 100% de las llantas desechadas, así la producción estimada por semana de cada producto sería:

- 69.61 Toneladas de caucho,
- 19.34 Toneladas de acero, y
- 3.86 Toneladas de fibras textiles.

2.2. ANÁLISIS DE LOCALIZACIÓN

Para realizar un adecuado estudio en la localización de un proyecto se debe abordar dos etapas, macrolocalización y microlocalización. En la primera etapa, se decide la zona general donde se instalará el proceso, y en la segunda etapa, se elige el punto específico dentro de la macrozona donde se ubicará definitivamente el sistema, estas son:

➤ **Macrolocalización**

En este estudio se tiene definida que la macrolocalización del sistema es la ciudad de San Salvador y zona de influencia puesto que la problemática se centra en esta ciudad [9].

➤ **Microlocalización**

Para el punto específico dentro de la macrozona donde se ubicará definitivamente el sistema se escoge las alternativas donde es posible localizar el sistema, determinando factores locacionales más importantes que influyen en la elección de la microzona del sistema. Finalmente se utiliza el método de selección de puntos el cual permite establecer la locación óptima del proceso de acuerdo a los criterios de relevancia designados en este mismo estudio [9].

Algunas alternativas considerando que San Salvador no es una zona industrial, pero tomando en consideración la cercanía, se tiene que:

- a) Zona Industrial Plan de La Laguna
- b) Zona Industrial Soyapango
- c) Nejapa Power

2.2.1. FACTORES DE LOCACIÓN

Para el análisis de localización, se tomó en consideración estos factores de mayor importancia:

- **Costo de transporte**

En la Tabla 2.4 se detalla el costo de transporte desde el centro de la ciudad hasta la locación de destino, según fuentes de una empresa de transporte [9].

Tabla 2.4. Costo de transporte de acuerdo al lugar de destino.

Transporte	Precio por tonelada, \$
San Salvador - Plan de La Laguna	20.00
San Salvador – Soyapango	17.60
San Salvador - Nejapa Power	22.25

- **Características de la zona**

La característica de la zona de cada alternativa permite diferenciar las opciones considerando que una planta de trituración mecánica no se puede instalar en una zona residencial porque genera ruido de altos decibeles que crean incomodidad para los habitantes del sector. En la Tabla 2.5 se presenta la clasificación por tipo de zonas de las alternativas seleccionadas [9].

Tabla 2.5. Características de las zonas.

Alternativas	Tipo de zona
Plan de La Laguna	Industrial
Soyapango	Residencial/Semiindustrial
Nejapa Power	Industrial

- **Condiciones de vías de acceso**

Pueden considerarse ventajas o desventajas frente a las alternativas seleccionadas. En la Tabla 2.6 se presenta el detalle de número de vías principales para cada alternativa a evaluar [9].

Tabla 2.6. Vías de acceso.

Alternativas	Número de vías de acceso
Plan de La Laguna	2
Soyapango	4
Nejapa Power	3

Por otra parte, se encontró que en un estudio para determinar localización óptima del proceso se debe estudiar los factores de servicio públicos, mano de obra, políticas de normas de control ambiental y sensibilidad de población. Sin embargo, dichos factores no son de suma importancia en el presente estudio dado su poca o nula variación de los resultados entre las alternativas al estar situados en zonas relativamente cercanas [9].

2.2.2. MANO DE OBRA

Para el costo de mano de obra se tiene en consideración que el salario mínimo vigente que se rige en el país para la actualidad es de \$ 300.00

2.2.3. POLÍTICAS Y NORMAS DE CONTROL AMBIENTAL

Teniendo en consideración que los municipios San Salvador, Soyapango, Antigua Cuscatlán y Nejapa que forman parte del Área Metropolitana de San Salvador, se concluye que las normas de industria manufacturera son iguales, reguladas por el SICA [8].

2.2.4. SENSIBILIDAD DE LA POBLACIÓN

Para la elección de la localización se debe tener en consideración el tipo de proceso que se va a implementar y la sensibilidad de la población aledaña frente al uso del suelo para la construcción de una planta de trituración mecánica. Es muy importante en el sentido de la responsabilidad social por parte de la planta de producción hasta los afectados directamente con la ejecución del proceso [9].

Con la información recopilada de los factores de localización se puede concluir que en cada una de las opciones planteadas se cuenta con recursos eléctricos e hidrográficos, como también de la disponibilidad de mano de obra. Se observa en cuanto a costos de transporte que el trayecto San Salvador-Nejapa Power es el más costoso, mientras que los otros trayectos resultan económicos, lo cual es representativo ya que sería el costo de adquisición de la materia prima [9].

2.2.5. SELECCIÓN POR EL MÉTODO DE LOS PUNTOS

Se realiza una matriz con el fin de comparar las diferentes alternativas de localización, utilizando el método de calificación de puntos que permite evaluar cada alternativa en función de varios factores o variables condicionantes. Los cuales se detallan en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Ponderación de los factores de locación.

Factor	Descripción	% de importancia
F1	Costo de transporte	40
F2	Cercanía con respecto a centro de recolección	35
F3	Característica de la zona	15
F4	Vías de acceso	10

En la Tabla 2.8 se presenta los factores que se evalúan en cada alternativa de localización y el porcentaje de importancia que representa cada uno. El factor más relevante en la elección de la localización es el costo de transporte dado que el valor de la materia prima está representado en el costo de recolectar y transportar las llantas desechadas hacia la zona de producción. En este se representa de forma clara el criterio de calificación de factores para desarrollar el método [9].

Tabla 2.8. Calificación de los factores.

Calificación	Descripción
5	Si las condiciones ofrecidas por la alternativa en estudio son excepcionalmente buenas frente al factor condicionante
4	Si las condiciones son buenas
3	Si las condiciones son regulares
2	Si las condiciones son deficientes
1	Si las condiciones son malas
0	Si las condiciones son nulas

Como se observa en la Tabla 2.9, el método de calificación por puntos arroja como resultado la zona industrial de Soyapango y Nejapa Power como lugar de localización óptima. Lo cual es acorde con la información recolectada en este estudio con respecto a la distribución de las llantas desechadas en la ciudad, donde se establece que la zona industrial, los camiones, los buses y vehículos de carga transiten principalmente en la zona norte y sus alrededores, incrementa la probabilidad de que se generen cambios de llantas por estos puntos y se dispongan los residuos sólidos especiales de forma inadecuada.

Adicional a esto, al contar con empresas industriales de la ciudad ubicadas cercanas a esta zona, facilita la obtención de las llantas desechadas como materia prima a través de posibles acuerdos comerciales entre instituciones.

Tabla 2.9. Método de calificación por puntos.

Alternativas	F1	40%	F2	35%	F3	15%	F4	10%	Suma
Plan La Laguna	4	1.6	3	1.05	3	0.45	3	0.3	3.4
Soyapango	4	1.6	3	1.05	4	0.6	4	0.4	3.65
Nejapa Power	3	1.2	4	1.4	5	0.75	3	0.3	3.65

2.3. SELECCIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIA

Con el fin de alcanzar el pronóstico de procesamiento de llantas desechadas para el 2022, en un escenario ideal el equipo y maquinaria dispuestos a instalar deben tener una capacidad suficiente para generar

aproximadamente 1,006 toneladas de metal, 3,619 toneladas de polvo y grano de caucho anualmente. Buscando facilitar el proceso e instalar una sola línea de producción, se realizaron cotizaciones a tres diferentes proveedores los cuales difieren en capacidad de producción, calidad y otros criterios de importancia, que definirá la decisión a tomar para la selección de equipos.

Anteriormente, se citaron que equipos se considerarán para esta propuesta, así en este apartado se describirán dichos equipos con el propósito de conocer su importancia en la revisión y selección de las ofertas posibles:

- Trituradora. Por medio de la fuerza de compresión, reduce el tamaño del material en virutas de caucho.
- Granulador. Reduce el tamaño del material generando la forma granular y ayuda a separar el metal y fibra textil del caucho.
- Pulverizador. Es un proceso de trituración que reduce el caucho en dimensiones muy pequeñas caracterizándolo como polvo de caucho.
- Destalonadora. Remueve el acero de las llantas superiores a rin de 17.5 pulg.
- Cortadora. Corta en trozos las llantas superiores a rin de 17.5 pulg.
- Cernidor vibratorio. Separa las distintas granulometrías del grano de caucho.
- Sistema de extracción de fibra. Retira la fibra textil del proceso de trituración mecánica.
- Banda imantada. Extrae el acero del caucho en proceso
- Bandas de transporte. Transportan el material a las distintas fases del proceso [10].

Estos equipos son los que componen la línea de producción de trituración mecánica y fueron cotizados en su totalidad con tres proveedores. Los demás equipos se cotizaron de manera independiente; los cuales son:

- Bascula. Permite llevar el control de materia prima y producto final
- Estibadores eléctricos. Transporta la materia prima y el producto terminado
- Trolleys. Medio de manejo para transportar producto en proceso

- Estibas. Herramienta de apilamiento y almacenamiento
- Polipasto. Transporta el material en proceso [10].

2.3.1. SELECCIÓN DEL PROVEEDOR

Dado que la finalidad de este estudio es el diseño del proceso de trituración mecánica, más no el de la maquinaria y equipos requeridos, los equipos a instalar provienen de alguna de las cotizaciones de los proveedores que manejen esta gama de productos.

Los proveedores que se consultó fueron:

- EcoGreen.

Esta empresa de raíces en Estados Unidos cuenta con 25 años de experiencia en este mercado. Según la cotización que se presente en el Anexo 1, el paquete de equipos para hacer la trituración mecánica está entre \$ 1,818,327.50.

- Gercons Colombia.

Empresa colombiana con 12 años de experiencia en el mercado. Según cotización presentada en el Anexo 1, el paquete de equipos está en un valor aproximado de \$ 83,200.00.

- Residomex.

Con 17 años de experiencia ubicada en la Ciudad de México, ofrece un paquete de equipos de trituración mecánica en un valor de \$ 156,236.00, según cotización mostrada en el Anexo 1.

2.3.2. CRITERIOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS

Una vez estudiadas las alternativas de equipos que ofrece el mercado en este rubro, los criterios más importantes para elegir una de esas, son los siguientes de manera descrita:

- Calidad de equipos. La durabilidad de los equipos, debe ser un factor condicionante ya que indica si el equipo resiste al proceso para el cual estará diseñado su uso.
- Garantía. Servicio posventa que ofrecen los proveedores posteriormente a la venta del equipo, ante cualquier desperfecto de fábrica.
- Capacidad de los mismos. Factor muy relevante. Capacidad de producción que los mismos son capaces de procesar, sabiendo que estos deben satisfacer las capacidades de producción de materia prima y producto final previamente analizadas.
- Precio. Es un factor relevante para la toma de decisión de los inversionistas, permite diferenciar económicamente las alternativas presentadas por los proveedores.
- Mantenimiento. Se tiene en consideración la facilidad del mantenimiento y el costo que implica realizar el mantenimiento preventivo de manera programada [6].

2.3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE PROVISIÓN DE MAQUINARIA

En la Tabla 2.10 se especifica una matriz de ponderación la cual permitió apoyar la decisión de escoger el proveedor adecuado para el diseño del proceso mecánico. Cada factor tiene un puntaje de importancia entre el 1 y el 10, siendo 10 el valor equivalente a los criterios más relevantes en el proceso. Analizando cualitativamente las opciones, el proveedor mejor calificado fue EcoGreen el cual dispone de una maquinaria con la capacidad

de producir 1 tonelada de grano y polvo de caucho reciclado por hora. Dada la falta de información con respecto al tiempo de proceso de cada equipo, se basó el estudio en la capacidad máxima de producción por hora que garantiza la línea cotizada de la empresa EcoGreen.

Tabla 2.10. Ponderaciones de cotizaciones.

Factor	Puntaje por factor	EcoGreen	Gercons	Residomex	Puntajes máximos
Calidad	10	10	8	8	100
Garantía	6	10	9	3	60
Capacidad	10	10	2	9	100
Precio	7	3	10	2	70
Mantenimiento	6	8	5	8	60
Totales		329	254	250	390
Porcentaje		84.36%	65.13%	64.10%	

Teniendo en consideración que en todo proceso productivo se deben realizar paradas programadas y es necesario manejar un intervalo de incertidumbre para las paradas no programadas, que puedan afectar el funcionamiento normal del proceso; se procedió a destinar un 15% de la capacidad real para este tipo de paros, alcanzando un rendimiento real del 85%; es decir, la línea está en la capacidad de producir 0.85 toneladas por hora.

Una vez seleccionado los equipos y el proveedor, se debe estudiar sus especificaciones, las cuales se presentan en el Anexo 2 de la empresa Eco Green.

3. PROPUESTA DE DISEÑO

En este capítulo se dejará detallado de forma clara como consistirá la propuesta final de diseño, haciendo uso de parámetros previamente analizados en el capítulo anterior; definiendo así la distribución en planta del sistema de acuerdo al proceso productivo en estudio.

3.1. DESCRIPCIÓN DE FASES DEL PROCESO PRODUCTIVO

A continuación, se describirá cada fase o subetapa del proceso productivo, la cual también se resumirá al final con un diagrama de flujo, que detallará en mejor forma cada etapa [10].

3.1.1. PRIMERA ETAPA: ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA

En la zona de descarga de materia prima se contará con una plataforma móvil, la cual se ajustará a la altura del transporte encargado del traslado de la materia prima, facilitando así a los operarios encargados de recibirla, evitando tiempos de transporte innecesarios y disminuyendo la fatiga de los operarios. Durante el proceso de descarga, dos operarios introducen las llantas en el interior de jaulas metálicas de almacenamiento con medidas de 1.2 x 1.2 x 1.7 m, para aproximar una capacidad de almacenamiento de 2.5 m³, las cuales se encuentran ubicadas al frente de la plataforma de descarga [10].

Una vez completada la capacidad máxima de cada jaula, otros dos operarios se encargarán de transportar la materia prima a una báscula para ser pesadas y posteriormente asignarles ubicación en estantes de almacenamiento. Estas unidades con el fin de aprovechar al máximo el

espacio destinado para almacenamiento de aproximadamente 205 m² alcanzan una altura de 6 m [10].

Para iniciar el proceso, uno de los dos operarios deberá revisar el programa de producción y herramienta de control de inventario, con el fin de recolectar la cantidad de jaulas necesarias, especificadas en el programa. El operario transportará las jaulas que contienen la materia prima en los estantes hacia la banda transportadora 1, ubicándolas equitativamente a cada lado de la línea [10].

En la Fig. 3.1 se presenta mediante un diagrama de flujo el proceso de almacenamiento de la materia prima.

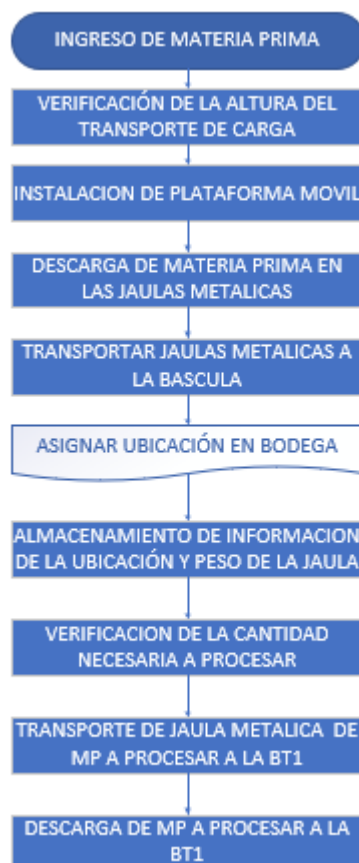


Fig. 3.1. Diagrama de flujo del proceso de abastecimiento de materias primas.

3.1.2. SEGUNDA ETAPA: ALIMENTACIÓN PRIMARIA DE TRITURACIÓN

Al inicio del proceso se dispone de dos sensores cilíndricos de caucho, los cuales se encuentran ubicados horizontalmente a cada lado de la banda transportadora. Estos sensores están conectados a un sistema de computación para detectar las llantas con tamaño de rin mayor a 17.5. Estos cilindros tendrán un diámetro de 6 cm y una longitud de 17.5 cm cada uno, lo cual asegura estabilidad de los mismos y garantiza que sean activados únicamente por el contacto con las llantas y no por factores externos como aire, movimientos de la banda, entre otros. Las llantas que tengan contacto con los sensores activarán los pistones encargados de la expulsión de llantas en la banda transportadora 1. En esta parte del proceso, la banda transportadora se interrumpirá por una banda de cilindros giratorios de acero inoxidable, los cuales facilitan la expulsión de las llantas al tener menor fricción, y por ende se evita el daño del caucho de la banda transportadora 1. Las llantas que no se expulsan se depositarán sobre la banda transportadora 2 [10].

Las llantas desechadas de rin superior o igual a 17.5 pulg se expulsarán por contener una cantidad considerable de metal en relación a las llantas de menor dimensión. Por tal razón, deben primero ser procesadas por la máquina destalonadora, la cual se encargará de retirar el anillo de acero que contienen. Las llantas expulsadas por el dispositivo, son recibidas por una carretilla Trolleys de dimensiones 1.2 x 1.6 x 1 m que permite ser movilizadas por un operario hasta la zona denominada WIP (Work in Process), donde se almacenarán de forma temporal para ser procesadas por la máquina destalonadora la cual es operada por otro operario [10].

Después de ser retirados los anillos metálicos de las llantas, son depositados sobre estibas en cajas de madera de 1.2 x 1.2 x 1.2 m para la acumulación y posterior despacho a bodega de producto terminado por el operario [10].

Posteriormente, un brazo giratorio permite transportar las llantas desde la máquina destalonadora (evitando el esfuerzo físico del trabajador) para que sean procesadas por el mismo operario en la máquina cortadora, lo cual permite reducir el tamaño de la llanta, evitando un mayor desgaste de las cuchillas de la máquina trituradora. Junto a la máquina cortadora existirá otra banda transportadora 3 encargada de desplazar las llantas previamente cortadas hacia la máquina de trituración mecánica, por ende, esta máquina de trituración, tendrá tres entradas; llantas enteras entre las dimensiones de rin 12.5 - 17.5 pulg, trozos de llanta cortados y los trozos que serán reprocesados [10].

En la Fig. 3.2 se presenta detalladamente mediante el diagrama de flujo del proceso a seguir paso a paso en la alimentación primaria de trituración.

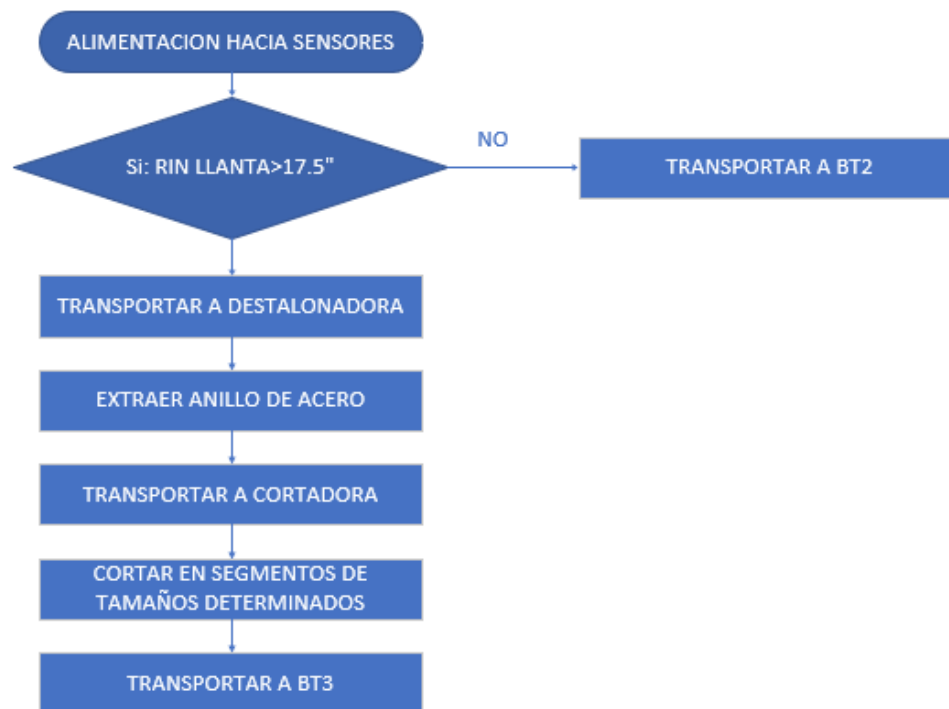


Fig. 3.2. Diagrama de flujo del proceso de alimentación primaria de trituración.

3.1.3. TERCERA FASE: TRITURACIÓN, GRANULACIÓN Y PULVERIZACIÓN

Las bandas transportadoras 2 y 3 depositan las llantas y los trozos de llantas sobre la trituradora, la cual tiene dos ejes rotatorios en sentidos contrarios con cuchillas afiladas de acero inoxidable que reducen el tamaño del material en virutas de caucho de dimensiones menores o iguales a 10 cm de ancho o longitud, por medio de la fuerza de compresión que ejerce la máquina. Las virutas son depositadas sobre la banda transportadora 4 la cual tiene una inclinación de 30° que permite por acción de la gravedad dejar las virutas sobre rodillos giratorios (clasificador), los cuales están específicamente diseñados para filtrar las virutas que cumplan con las dimensiones previamente descritas. Estos rodillos giratorios se caracterizan por su diseño con aspas metálicas que transportan las virutas de gran dimensión a la banda transportadora 5, la cual se encarga de depositarlas nuevamente en la trituradora para que las virutas sean reprocesadas [10].

Las virutas que cumplen con las dimensiones especificadas, son transportadas por medio de la banda transportadora 6 hacia la banda de alimentación del granulador, que sería la banda transportadora 7 [10].

La etapa de granulación permite disminuir el tamaño de la viruta y separar los componentes (caucho, metal y fibra textil) a través del granulador, el cual cuenta con un eje giratorio que por medio de cuchillas se encarga de presionar las virutas de caucho contra una pared perforada del granulador, permitiendo que el caucho alcance dimensiones entre 1 y 3 mm (según el tipo de malla) y obtenga la forma granular que lo caracteriza. Los granos de caucho procesados caen sobre la banda vibratoria 1, la cual contribuye a la separación de parte de las fibras textiles y del metal a causa de la constante vibración de la banda. Sobre una parte de esta banda, se encuentra un sistema imantado ubicado perpendicularmente que extrae los residuos de metal, también cuenta con un sistema de aspiración a lo largo del proceso encargado de la remoción y extracción de las fibras textiles. Posteriormente, la banda vibratoria 1

transporta los granos de caucho a los tornos alimentadores del sistema de extracción de fibra [10].

El sistema de extracción de fibra textil, obtiene el caucho proveniente del granulador a través de dos tornos giratorios inclinados a 45° para alcanzar una altura de 7.5 m, con el fin de dejar caer el material en proceso por acción de la gravedad sobre dos máquinas independientes las cuales cuenta con unas paredes que están diseñadas en forma de zigzag, esto con el fin de generar golpes entre el material y las paredes permitiendo que las fibras textiles sean separadas del caucho a causa de este impacto. Cuando las partículas de caucho hacen contacto con las paredes, la fibra textil se desprende y es succionada a través del sistema de aspiración ubicado en la parte superior del equipo [10].

La parte inferior del sistema de extracción de la fibra textil (máquina en forma de zigzag) se conecta a una tubería de transporte neumático que desplaza el grano de caucho a la máquina pulverizadora y al cernidor vibratorio. La cantidad de caucho que se ingresa a la máquina pulverizadora está controlada por una válvula reguladora de paso. El siguiente proceso, hace referencia a la pulverización, en el cual, se transporta una parte del grano de caucho reciclado (de acuerdo a la necesidad de producción) producto del proceso anterior a través del transporte neumático. En esta etapa, se tritura nuevamente el producto en proceso para alcanzar las dimensiones deseadas del producto terminado (0.5 a 1 mm) [10].

En la Fig. 3.3 se presenta el flujo del proceso productivo de trituración, granulación y pulverización

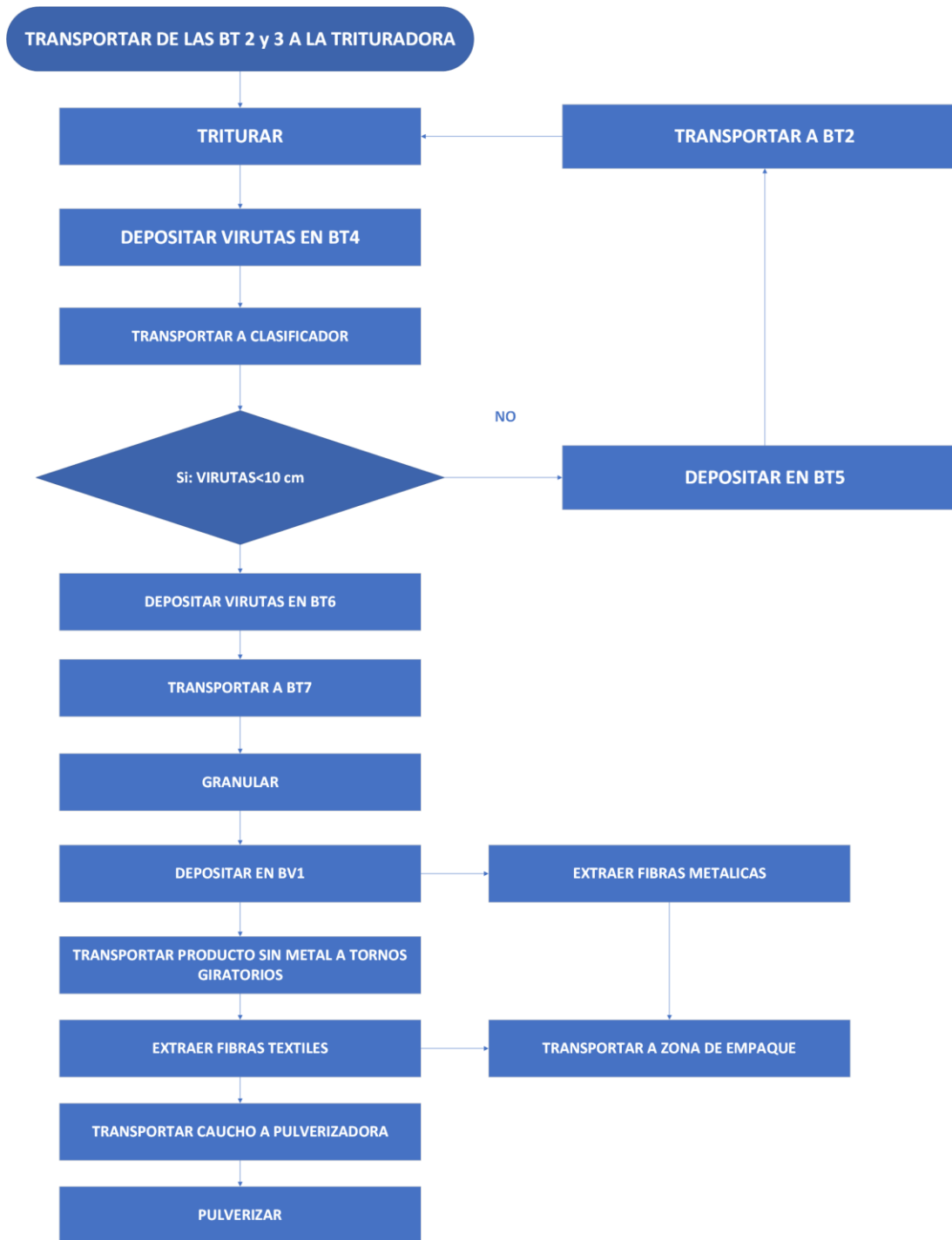


Fig. 3.3. Diagrama de flujo del proceso de trituración, granulación y pulverización.

3.1.4. CUARTA ETAPA: EMPAQUE DEL PRODUCTO TERMINADO

Finalmente, el último proceso previo al empaque hace referencia al cernido vibratorio el cual es un método de separación de una mezcla de granos o partículas en 2 o más fracciones de tamaño, los materiales de gran tamaño son atrapados por encima de la malla, mientras que los materiales de tamaño menor pueden pasar a través esta y ser retenidos por mallas inferiores. En este proceso, se cuenta con una mesa vibratoria que contiene una serie de mallas de material metálico la cual, a medida que avanza el caucho por la mesa se filtran las partículas que se encuentran pulverizadas con las dimensiones especificadas; es decir, de dimensiones entre 0.5 y 1 mm (según la malla) las cuales son guiadas a la zona de empaque. Por otra parte, los granos de caucho que caen en el cernidor vibratorio, son filtrados por la malla separadora y guiados a la salida de granulo de caucho [10].

El cernidor vibratorio separa el grano de caucho del polvo y son expulsados por dos salidas distintas en las cuales el transporte neumático se encarga de transportar cada uno de los productos al proceso de empaque.

Finalmente, los dos productos terminados se empaacan en bolsas de 30 kg, las cuales son apiladas manualmente por dos operarios sobre estibas. Se realiza el transporte hacia la báscula la bodega de producto terminado donde se verifica el peso del producto, y se almacena utilizando el estibador eléctrico el cual es manejado por un operario [10].

En la Fig. 3.4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de empaque de los productos finales.



Fig. 3.4. Diagrama de flujo del proceso de empaque de producto terminado.

3.2. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para el análisis de la distribución en planta de la maquinaria y componentes sobre la base del proceso productivo de trituración mecánica, se aplicaron dos métodos que contribuyen al cálculo de requerimientos de espacios por cada área involucrada en el proceso productivo y al relacionamiento de las mismas, buscando garantizar el flujo continuo y evitando desplazamientos innecesarios; los métodos a aplicar fueron, Método de Guerchet y Método de Distribución SLP.

3.2.1. MÉTODO DE GUERCHET

Para el diseño del proceso de trituración mecánica, se debe conocer el espacio requerido de cada una de las áreas del proceso, teniendo en consideración las dimensiones de las máquinas, el espacio necesario en donde el operario pueda desplazarse con facilidad y realizar adecuadamente su trabajo. Con el fin de realizar la distribución adecuada del proceso de trituración mecánica, se emplea el Método de Guerchet, el cual tiene en consideración la superficie estática (S_e), la superficie gravitacional (S_g) y la superficie de evolución (S_v), estas superficies se definen como [9]:

- Superficie estática (S_e). Espacio físico que necesita cada máquina y/o puesto de trabajo.
- Superficie de gravitación (S_g). Espacio físico requerido para que los operarios desarrollen su trabajo y puedan situarse adecuadamente los materiales y herramientas necesarias. Para hallar la superficie de gravitación, se deben conocer el número visible de máquinas n por cada área y multiplicarlo por la superficie estática.

$$S_g = n * S_e$$

- Superficie de evolución (Sv). Espacio físico suficiente que permite los recorridos de materiales y operarios.

Para el cálculo de dicha superficie es necesario conocer el coeficiente K utilizado para desarrollar este método, esta superficie se calcula con la suma de la superficie estática y la superficie gravitacional, ponderado al factor k. Este factor difiere dependiendo de la industria, especificado en el Anexo 3 [9].

$$Sv = (Se + Sg) * k$$

El intervalo de K para el proceso de trituración mecánica se encuentra entre 0.10 y 0.25, se decide escoger el valor mínimo dado a que, a mayor valor numérico, mayor riesgo y como es un proceso semiautomatizado los operarios no tienen contacto directo con las máquinas trituradoras, lo cual disminuye riesgo de accidentalidad [9].

La superficie total necesaria (ST) para un área específica dentro de la planta productiva, es entonces la suma de las tres superficies descritas anteriormente [9].

$$St = Se + Sg + Sv$$

Los cálculos de la superficie de gravitación y la superficie de evolución se realizan de la manera siguiente:

Posterior al cálculo de las superficies estáticas, gravitacionales y de evolución de cada área involucrada en el proceso, se concluye que el área total requerida para el desarrollo del mismo debería ser de 1,461.48 m², tal como se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Área requerida en cada proceso.

Área	Elementos del área	Ancho, m	Largo, m	Alto, m	Se, m ²	Sg, m ²	Sv, m ²	Total, m ²
Bodega materia prima	Plataforma de descarga	5	1.2	1.4	6.00	6.00	1.80	13.80
	Báscula	2	2	0.1	4.00	4.00	1.20	9.20
	Estantes de almacenamiento	2.6	10.5	6	27.30	136.50	24.57	188.37
	Escritorio	1.5	0.5	0.7	0.75	0.75	0.23	1.73
	Estibador eléctrico	1	2	2.5	2.00	4.00	0.90	6.90
	Archivador	0.5	0.8	1.5	0.40	0.80	0.18	1.38
Zona de alimentación	BT1	1	3	1	3.00	3.00	0.90	6.90
	BC1	1.0	1.3	1.0	1.30	1.30	0.39	2.99
Zona de trituración	Trituradora	5.0	1.9	4.3	9.50	9.50	2.85	21.85
	BT2	1.5	7.8	4.5	11.70	11.70	3.51	26.91
	BT3	1.5	9.5	5.0	14.25	14.25	4.28	32.78
	Clasificador	1.0	1.6	2.5	1.60	1.60	0.48	3.68
	BT4	1.2	4.7	2.7	5.64	5.64	1.69	12.97
	BT5	1.2	9.5	4.5	11.40	11.40	3.42	26.22
	BT6	1.2	2	2	2.40	2.40	0.72	5.52
Zona de corte	Cortadora	1.7	2.3	2.5	3.90	3.90	1.17	8.97
	Brazo giratorio	1.5	1.5	2.0	2.25	2.25	0.68	5.18
Zona de destalonado	WIP (trolley)	1.2	1.6	1.0	1.92	7.68	1.44	11.04
	Destalonadora	2.3	5.6	2.5	12.88	12.88	3.86	29.62
Zona de granulación	Granulador	5.0	1.9	4.3	9.50	9.50	2.85	21.85
	BT7	1.2	7.8	4.5	9.36	9.36	2.81	21.53
	BV1	1.2	3.0	3.0	3.60	3.60	1.08	8.28
	Banda imantada	1.0	1.2	4.0	1.20	2.40	0.54	4.14
Zona de extracción	Cernidor vibratorio	1.4	2.5	2.3	3.50	28.00	4.73	36.23
	Torno alimentado 1	9.3	5.9	5.9	54.77	54.77	16.43	125.97
	Torno alimentado 2	9.3	5.9	5.9	54.77	54.77	16.43	125.97
	Separador zigzag	9.7	0.5	5.0	4.85	4.85	1.46	11.16
	Extractor de fibra	9.2	4.0	7.5	36.80	36.80	11.04	84.64
Zona de Pulverización	Pulverizador	5.0	1.9	4.3	9.50	9.50	2.85	21.85
Zona de empaque	Mesa vibratoria	1.4	2.5	2.3	3.50	28.00	4.73	36.23
	Máquina de empaque	2.0	2.0	5.0	4.00	8.00	1.80	13.80
Bodega de producto terminado	Archivador	0.5	0.8	1.5	0.40	0.80	0.18	1.38
	Escritorio	1.5	0.5	0.7	0.75	0.75	0.23	1.73
	Bascula	2	2	0.1	4.00	4.00	1.20	9.20
	Estantería de almacenamiento	2.6	10.5	6	50.70	152.10	30.42	233.22
	Estibador eléctrico	1	2	2.5	2.00	4.00	0.90	6.90
Oficina Gerencia de producción	Escritorio	1.5	0.5	0.7	0.75	0.75	0.23	1.73
	Escritorio archivador	0.5	0.8	1.5	0.40	0.80	0.18	1.38
Cuarto eléctrico	Panel de control del proceso	4.0	4.0	2.4	16.00	16.00	4.80	36.80
Cuarto de Desechos	Botes de basura	5.0	7.0		35.00	175.00	31.50	241.50
Total, de área requerida								1,461.48

3.2.2. MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN SLP

Este método tiene como finalidad resolver problemas de distribución de planta en distintas naturalezas. Consiste en fijar un cuadro operacional de fases y una serie de procedimientos que permitan identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos [9].

Para el desarrollo del método SLP se realizó un gráfico de interrelaciones, en el que se relacionan todas las áreas del proceso y se califica la importancia de cercanía. Esta calificación se lleva a cabo teniendo en consideración la forma de calificación del método especificada en el Anexo 3 [9].

De acuerdo al proceso se estableció que la bodega de materia prima deberá estar necesariamente cerca del área de destalonado y al área de trituración debido a que el proceso inicia a partir de estas dos áreas, por lo cual deben estar necesariamente cerca para evitar que se generen largos desplazamientos de la materia prima [9].

Por otra parte, el área de corte debe estar próxima a la zona de destalonado y a la zona de trituración, dado que el proceso posterior a la extracción del anillo, es el corte y seguido se pasa al triturado de la llanta. Así mismo, la zona de triturado deberá ser cercana con el proceso de granulación puesto que, es la etapa siguiente del proceso productivo [9].

Para la zona de empaque es vital que se encuentre cerca al área de pulverizado y de extracción de las fibras textiles, ya que de estas dos áreas provienen de los dos tipos de productos terminados, es decir, el polvo y grano de caucho [9].

Con respecto a la bodega de producto terminado, se determinó que es absolutamente necesario que esté cerca tanto de la zona de empaque como también del destalonado. Esto debido a que tiene relación directa con la zona de empaque de la cual obtiene el Polvo y el GCR; y del área de destalonado

de donde proviene el acero, otro de los productos terminados de este proceso [9].



Fig. 3.5. Matriz de relaciones de áreas involucradas en el proceso de trituración mecánica.

Posteriormente a la calificación cualitativa de la matriz de relación, en la cual el criterio más relevante fue el flujo en línea del producto debido a la estructura automatizada del proceso, se procedió a realizar el diagrama de hilos el cual presenta la relación entre las áreas y la distribución que debe tener el proceso.

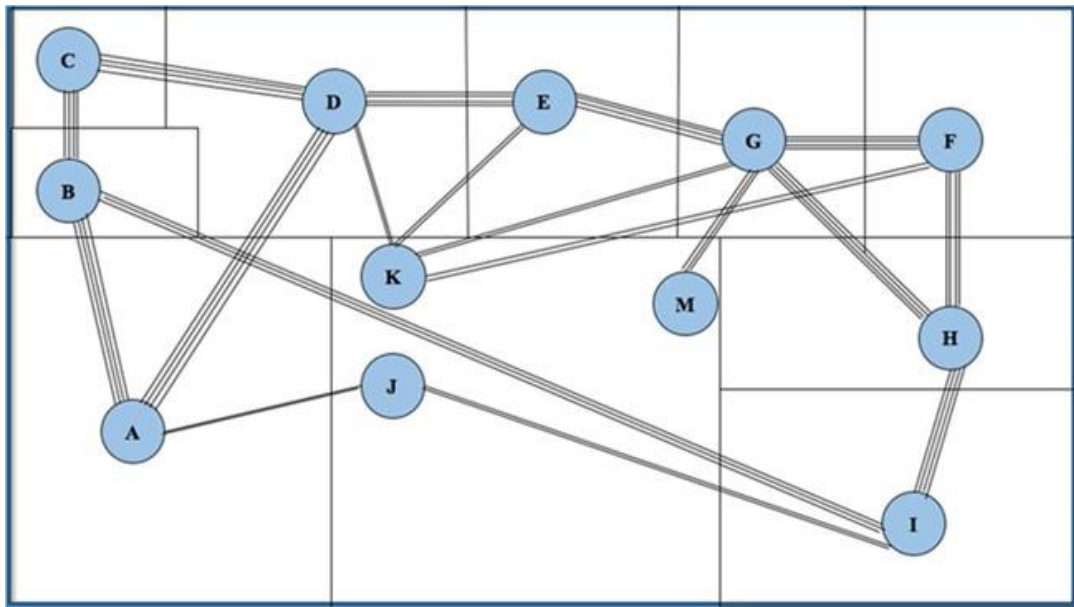


Fig. 3.6. Diagrama de hilos para el proceso productivo.

El diagrama permite identificar el nivel de relación existente entre un área y otra, esto por medio de la cantidad de conexiones presentes entre 2 nodos, esta relación es directamente proporcional, es decir, a mayor número de conectores mayor es el vínculo entre las áreas. Por tal razón, este diagrama permite observar de manera gráfica el comportamiento descrito en la matriz de relaciones para las zonas del proceso. En la Tabla 3.2 se presenta la nomenclatura utilizada en el diagrama de la Fig. 3.2 [9].

Tabla 3.2. Nomenclatura de las áreas del proceso de trituración mecánica.

Item	Área
A	Bodega de materia prima
B	Área de destalonado
C	Área de corte
D	Área de triturado
E	Área de granulación
F	Área de pulverización
G	Área de extracción fibra textil
H	Área de empaque
I	Bodega de producto terminado
J	Oficina gerencia de producción
K	Cuarto eléctrico
M	Área de desechos

A través de la aplicación del método previamente descrito se buscó realizar la distribución del proceso óptimo con el fin de evitar cruces entre áreas y respetar el concepto de distribución de planta en forma de “U”.

3.3. PRODUCCIÓN Y CONTROL

El sistema de procesamiento de trituración mecánica operará su producción considerando una jornada ordinaria de labores de 8 h al día (48 a la semana), que la maquinaria seleccionada garantiza 1 tonelada de producto terminado por hora y que el tiempo destinado por paro no programado y programado sea del 15%, se operará de la siguiente manera, sobre la base de turnos de trabajo, tal como se presenta en la Tabla 3.3 [11].

Tabla 3.3. Producción basada en turnos de la jornada laboral.

Opciones laborales	Capacidad de producción, T/h	Horas de trabajo semanales	Cantidad en toneladas de producto terminado a la semana
1 turno	0.85	48	40.80
2 turnos	0.85	96	81.60
3 turnos	0.85	144	112.40

Para determinar la cantidad de turnos con la cual se debe empezar el proceso de trituración mecánica se tomó como referencia la capacidad de producción de cada turno laboral, la cantidad de llantas desechadas que se pueden obtener cada año y la cantidad de caucho proveniente de estas. Se analizaron tres estados de producción: ideal, real y pesimista, con el fin de conocer la cantidad de turnos requeridos para el cumplimiento de la demanda [11].

La descripción de estos estados evaluados y los resultados se presentan especificados en el Anexo 4.

El análisis del estudio de los tres estados previamente descritos arroja la conclusión de que un sólo turno de producción es insuficiente para el

proceso, por lo que se deberá tomar una decisión administrativa para decidir si se toman dos turnos de trabajo o la combinación de un sólo turno con horas extras [11].

3.3.1. SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Para el correcto funcionamiento del proceso, la planta de trituración debe contar con once (11) trabajadores los cuales están clasificados de la siguiente forma:

- Ingeniero de planta. Debe controlar el correcto funcionamiento del proceso y su función principal consiste en la realización del plan de producción diario en conjunto al control de inventario de materia prima y producto terminado.
- Operarios (10). La descripción general de la función principal de cada trabajador se presenta en el Anexo 5.

A continuación, se plantean los requisitos del proceso para una correcta planeación de producción en el horario diurno:

- La jornada laboral diurna comienza a las 7:00 a.m. y finaliza a las 5:00 p.m.
- Se destinarán los primeros 40 min del turno para una breve socialización del plan de producción, discusión de temas relevantes del proceso y estiramiento de los operarios.
- El tiempo inicial de alistamiento de materia prima y maquinaria debe durar máximo 20 min.
- El personal tiene 1 hora para el almuerzo.
- Para la obtención de diferentes granulometrías del grano de caucho se debe realizar un proceso de alistamiento el cual consiste en cambiar las mallas que tienen el granulador, pulverizador y cernidor vibratorio. Este proceso dura 20 min.

- Mantenimiento preventivo a la maquinaria cada 3 meses. Dependiendo de la demanda se destinarán 4 h en horario laboral o un sábado en horario no laboral.
- Se contará con diversas granulometrías, ya que el grano de caucho se ofrece desde la malla 8 hasta la malla 18. El polvo estará disponible en mallas 20, 25 y 30.

Se recomienda que el cambio de malla se realice después de haber completado como mínimo 2 h de trabajo con cada malla (Esto puede variar dependiendo de la demanda) [11].

3.3.2. SEGURIDAD INDUSTRIAL

Para garantizar el buen ambiente de trabajo, facilidad de los operarios, el bienestar y salud de todos los colaboradores involucrados en el proceso. Existen unas normas básicas de seguridad industrial que todo el personal involucrado en el proceso debe seguir:

- El operario como límite máximo puede cargar objetos (llantas) hasta 25 kg
- Todo el personal que este en la planta de producción (incluye visitantes) debe contar con botas de seguridad punta rígida, tapa oídos y gafas de protección.
- Los operarios encargados de surtir la materia prima en la banda transportadora deben usar guantes.
- El operario que surte la materia prima en la banda transportadora debe ayudarse con el compañero o la polea de carga para llantas superiores a rines de 17.5.
- Los operarios involucrados en cargas deben usar permanentemente la protección lumbar [12].

3.3.3. CONTROL DE PRODUCCIÓN

El ingeniero de producción tiene que contar con una plantilla en Excel diseñada para realizar una programación rápida y precisa. Esta plantilla tiene el siguiente funcionamiento [12].

Cálculo del tiempo requerido de producción:

- El ingeniero debe utilizar los datos de la cantidad de materia prima requerida. Estos datos son obtenidos de la suma de la cantidad de grano de caucho y polvo de caucho de cada malla (granulometría) solicitada. En esta cantidad se tiene en consideración el 75% de composición de caucho de las llantas y la eficiencia del 99% de los equipos, tal como se presenta en la Tabla 3.4.

$$CMPR = \frac{CGC + CPC}{0.75 * 0.99}$$

Tabla 3.4. Cálculo de cantidad de materia prima requerida para producción.

Producto	Tamaño malla	Cantidad PT	Cantidad MPR
Grano de caucho	15	1000	= Suma (Xn:Xn+1)/(0.75*0.99)
Polvo de caucho	20	1500	

- El tiempo requerido se calcula teniendo en consideración el tiempo estándar de producción de 850 kg/h, tal como se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Cálculo del tiempo requerido de producción

Cantidad MPR	Tiempo requerido	Horas	Minutos
300	Yn/850	0	21
850	1.00	1	0

Para el cálculo de horas, se utiliza la función INT(Xn), ya que sólo expresa el valor entero del número requerido, y para el cálculo de minutos, se emplea la función MOD (número, divisor) para obtener el valor en minutos cuando el tiempo de producción sea mayor a 1 hora [12].

Una vez el ingeniero conozca el tiempo total de producción de cada cantidad requerida, debe proceder a diligenciar detalladamente el plan de producción teniendo en consideración los aspectos descritos anteriormente [12].

3.3.4. CONTROL DE INVENTARIOS

Dado que la materia prima son llantas desechadas las cuales varían en tamaño, el control de inventario se lleva de acuerdo al peso de cada jaula metálica el cual es registrado por la balanza ubicada en la zona de descargue de material prima. En el transcurso del proceso, cuando se considere que la demanda es lo suficientemente alta para que genere una alta rotación de inventario, se realizará el control de inventario a través de una plantilla en Excel, la cual está diseñada para tres funciones específicas [12]:

- Ingresar la materia prima. El operario cuenta con un resumen en Excel el cual le indica que estante está disponible para el almacenamiento de materia prima, tal como se presenta en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Plantilla de disponibilidad de espacio en bodega de materia prima

Disponibilidad de almacenamiento	
Ubicación	Disponibilidad
A- (1.1)	Disponible
B- (1.1)	No Disponible

Una vez el operario haya identificado el estante disponible, debe digitar en la plantilla “Ingreso de Materia Prima” la fecha, el número de jaula que está utilizando, la ubicación escogida y el peso correspondiente de cada jaula, tal como se presenta en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Plantilla ingreso de materia prima,

Ingreso de materia prima			
Fecha de ingreso	N° de jaula	Ubicación	Peso, kg
3/3/17	1	A-(1.1)	5
3/3/17	2	B-(1.1)	4
3/3/17	3	C-(1.1)	6
3/3/17	4	F-(1.1)	34
3/3/17	5	C-(1.1)	23
3/3/17	6	D-(1.1)	5
3/3/17	7	E-(1.1)	6
3/3/17	8	A-(1.1)	7
3/3/17	9	C-(1.1)	23
3/3/17	10	B-(1.1)	34

- Salida de materia prima. En la Tabla 3.8 se presenta la plantilla de “Salida de Materia Prima”, la cual debe ser diligenciada por el operario para llevar el registro de egreso de materia prima de la bodega. Deberá indicar los campos de fecha en que salió, el número de la jaula, ubicación y la salida en peso.

Tabla 3.8. Plantilla salida de materia prima.

Salida de materia prima			
Fecha	No de jaula	Ubicación	Salidas
4/3/17	6	D-(1.1)	-5
4/3/17	1	A-(1.1)	-5
4/3/17	2	B-(1.1)	-4
4/3/17	3	C-(1.1)	-6
4/3/17	8	A-(1.1)	-5
4/3/17	6	D-(1.1)	-5
4/3/17	7	E-(1.1)	-6
4/3/17	8	A-(1.1)	-5
4/3/17	9	C-(1.1)	-6
4/3/17	10	B-(1.1)	-4

- Verificación de inventario. Con el fin de tener conocimiento de la disponibilidad de materia prima, se cuenta con la Plantilla de Inventario Disponible, la cual indica la disponibilidad de materia prima en la bodega, como también el peso, ubicación y el número de la jaula, tal como se presenta en la Tabla 3.9 [12].

Tabla 3.9. Plantilla inventario disponible.

Inventario disponible				
N° de jaula	Ubicación	Peso, kg	Salidas	Total
1	A-(1.1)	5	-5	0
2	B-(1.1)	4	-4	0
3	C-(1.1)	6	-6	0
4	F-(1.1)	34	#N/A	34
5	C-(1.1)	23	#N/A	23
6	D-(1.1)	6	-6	0
7	E-(1.1)	6	-6	0
8	A-(1.1)	7	-7	0
9	C-(1.1)	23	-23	0
10	B-(1.1)	34	-34	0

4. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se realiza un análisis de costos e inversiones de todos los recursos empleados para llevar a cabo el proceso productivo de trituración mecánica de llantas desechadas, tomando en consideración desde la mano de obra en el área productiva hasta la depreciación de equipos en áreas de administración y producción.

4.1. DETERMINACIÓN DE COSTOS

A continuación, se presentará un consolidado de tablas, en las cuales se especificarán los costos de producción, costos de administración y costos de financiamiento de manera detallada [13].

4.1.1. COSTOS DE PRODUCCIÓN

En los costos de producción se considerarán todos aquellos factores que operan directa o indirectamente con el proceso de trituración mecánica, así como lo es la materia prima y la mano de obra; de igual forma gastos de electricidad y agua. Así, a continuación, se presentan en las Tablas 4.1 y 4.2 cada uno de ellos [13].

En la Tabla 4.3 se presentan los costos por mano de obra directa, tomando en consideración jornadas de trabajo de 8 horas diarias (192 horas al mes) y considerando un 13% en prestaciones de ley [13].

En la Tabla 4.4 se presentan los costos de producción que son indirectos, tales como consumo anual de electricidad (máquinas del proceso, iluminación, etc.), agua y otros gastos menores en artículos de limpieza, seguridad, entre otros. Así, también se considera el valor de depreciación de las máquinas [13].

Tabla 4.1. Costos de producción por materia prima indirecta para el primer año.

Producto	Ventas pronosticadas, T	Año 2022
		273
Tarimas	Cantidad en piezas	273
	Costo unitario, \$	\$80.00
	Subtotal, \$	\$21,838
Costales	Cantidad en piezas	3275.58
	Costo unitario, \$	1.33
	Subtotal, \$	4356.52
Total		\$26,194.52

Tabla 4.2. Costos de producción por materia prima directa para el primer año.

Producto	Ventas pronosticadas, T	Año 2022
		272.97
Llantas	Cantidad de caucho	273
	Costo unitario, \$	3000
Total		\$819,000

Tabla 4.3. Costos de producción por parte de mano de obra directa en el proceso.

Elemento	Horas trabajadas al mes	Precio por hora, \$	Subtotal, \$	Prestaciones, \$	Salario Mensual, \$	Salario Anual, \$
Operario 1	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 2	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 3	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 4	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 5	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 6	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 7	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 8	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 9	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Operario 10	192	2.50	480	62.4	542.4	6508.8
Total						65,088

Tabla 4.4. Costos de producción indirectos

Elemento	Costo total anual, \$
Electricidad	2500.00
Agua	120.00
Depreciación de maquinaria	363,665.50
Gastos varios	175.00
Total	366,460.50

En la Tabla 4.5 se presenta el consolidado final y sumatoria total de todos los costos de producción calculados anteriormente.

Tabla 4.5. Costos de producción totales

Elemento	Costo total anual, \$
Materia prima indirecta	26,194.52
Materia prima directa	819,000.00
Mano de obra directa	65,088.00
Costos indirectos	366,460.50
Total	1,276,743.02

4.1.2. COSTOS ADMINISTRATIVOS

En los costos administrativos, se considerarán todos aquellos factores que no operan de forma directa con el proceso productivo, es decir aquellos gastos que se realizan en el área administrativa como salarios de empleados administrativos, equipos de oficina, papelería, electricidad, depreciación de equipos de oficina, entre otros [13].

En la Tabla 4.6 se reflejan los costos que se producirán en el área administrativa del proyecto, considerando que se trabaja a igual número de horas que en el área productiva [13].

Tabla 4.6. Costos administrativos del proyecto

Elemento	Costo total anual. \$
Salario nomina administrativa	72,898.56
Electricidad	360.00
Depreciación equipo administrativo	5,000.00
Gastos varios	175.00
Total	78,433.56

4.1.3. COSTOS DE FINANCIAMIENTO

Estos costos son los intereses a pagar por un capital solicitado a alguna institución bancaria con el fin de ejecutar el proyecto. Así, para calcular dicho préstamo o capital solicitado se tuvo que realizar el siguiente cálculo:

$$CT = CP + CA = 1,276,743.02 + 78,433.56 = \$1,355,176.58$$

$$Prestamo = CT * (65\%) = (1,355,176.58) * (0.65) = \$880,864.78$$

Una vez conocida la cantidad a solicitar, el costo por dicho préstamo, se calcula de la siguiente manera. Primero se calcula el interés, luego se multiplica el préstamo con el interés calculado.

$$Interes = \frac{(Tasa\ mensual) * (1 + Tasa\ mensual)^{plazo\ en\ meses}}{[(1 + Tasa\ mensual)^{plazo\ en\ meses}] - 1}$$

$$Interes = \frac{(0.005)(1 + 0.005)^{24}}{[(1 + 0.005)^{24}] - 1}$$

$$Interes = 0.04432 = 4.432\%$$

$$CF = Interes * Prestamo = (880,864.78)(0.04432)$$

$$CF = \$ 39,039.93$$

El costo total para la implementación de un sistema de trituración mecánica es de \$ 1,394,216.51, tomando en consideración tanto, mano de obra, materia prima, costos indirectos, administración y financiamiento.

4.2. DETERMINACIÓN DE INVERSIONES

A continuación, se presenta de manera detallada el cálculo de inversiones en el proyecto, considerando únicamente inversión fija, diferida e inicial total a corto plazo una vez el proyecto esté en marcha [13].

4.2.1. INVERSIÓN FIJA

La inversión fija consistirá en esa inversión que cubra la necesidad primordial para poner en operación el proyecto, en este caso, se tomará en consideración el monto total de los equipos, el cual se presenta en el Anexo 2, cuya cantidad es \$ 1,818,327.50.

4.2.2. INVERSIÓN DIFERIDA

La inversión diferida es el monto establecido para cada etapa de ejecución de dicho proyecto desde la planificación hasta la administración del mismo. Esta se calcula a partir de la inversión fija, multiplicada por un factor de porcentaje establecido por el formulador de proyecto [13].

A continuación, en la Tabla 4.7 se presenta detalladamente cómo se define la inversión diferida.

Tabla 4.7. Inversión diferida del proyecto.

Elemento	Inversión total o fija, \$	Factor, %	Monto, \$
Planificación e Integración de proyecto	1,818,327.50	3.0	54,549.83
Ingeniería del proyecto	1,818,327.50	3.5	63,641.46
Supervisión del proyecto	1,818,327.50	1.5	27,274.92
Administración del proyecto	1,818,327.50	5.0	90,916.38
		Total	236,382.59

4.2.3. INVERSIÓN TOTAL INICIAL

Tomando en consideración la inversión fija y diferida, se calcula dicha inversión total inicial para operar el proyecto, tomando en consideración también un porcentaje de entre 5% y 10% de imprevistos [13].

A continuación, en la Tabla 4.8 se detalla el cálculo y monto de la inversión total inicial.

Tabla 4.8. Detalle de inversión total inicial

Elemento	Monto, \$
Inversión fija	1,818,327.50
Inversión diferida	236,382.59
Subtotal	2,054,710.09
Imprevistos (5%-10%)	102,735.50
Inversión total inicial	2,157,445.60

Por lo que la inversión total con la cual el proceso de trituración mecánica iniciará a operar a corto plazo será de \$ 2,157,445.60, tomando en consideración el proveedor de la maquinaria seleccionada, etapas de ejecución de proyecto y gastos por imprevistos.

CONCLUSIONES

Finalizado el presente trabajo de graduación sobre la propuesta de un sistema para la recuperación de materiales a partir de llantas desechadas se puede concluir lo siguiente:

- Que se seleccionó el proceso productivo de trituración mecánica, con equipos y máquinas proporcionados por la empresa EcoGreen, para reducir en tamaño considerable el volumen de materia prima considerando que son llantas desechadas y así ser aprovechado en diferentes aplicaciones.
- Que se emplearon métodos cualitativos y gráficos para definir la distribución en planta de la propuesta, la cual tendrá una distribución de área requerida de 1461.46 metros cuadrados, sin cruces entre zonas para un proceso óptimo y respetando una distribución en planta tipo “U”.
- Que el costo total para implementar la propuesta de un sistema de recuperación de materiales a partir de llantas desechadas es de \$1,349,216.51, tomando en consideración materia prima directa e indirecta, mano de obra, costos administrativos y costos financieros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] López, Julián (2015). Alternativas para el manejo de llantas desechadas en la ciudad de Bogotá D.C. Bogotá DC, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- [2] Castro, Guillermo (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático. Departamento de Ingeniería Mecánica. FIUBA
- [3] Díaz, Cesar (2017). Implementación de grano de caucho reciclado (GCR), proveniente de llantas recicladas para mejorar mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. Bogotá, Colombia. Universidad Santo Tomás.
- [4] Oyala, Lina (2016). Problemática y reciclaje de llantas: Experiencia exitosa en la problemática y reciclaje de llantas en el municipio de Apulo. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- [5] Camargo, Daniela (2013). Planta de reutilización de llantas desechadas mediante proceso de trituración mecánica. Sucre. Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- [6] González, Alejandro y Pineda, Sahara (2017). Diseño de un proceso de producción basado en la trituración mecánica para el aprovechamiento de las llantas desechadas en Santiago de Cali. Santiago de Cali, Colombia. Pontificia Universidad-Javeriana Seccional Cali.
- [7] GOES (2010). Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos. “Plan para el Manejo Integral de Llantas en Desuso en El Salvador”, El Salvador
- [8] MARN (2019). Respuesta Solicitud MARN con respecto a cantidad de llantas que desechan en el país, disposición final, reglamento, entre otros. El Salvador.
- [9] Baca Urbina, Gabriel (2008). Evaluación de proyectos. Mc Graw Hill. Quinta Edición. México

- [10] Collado, Ángel y Jasso, Juan (2017). Proyecto de implementación de una planta procesadora de neumático automotriz. México: Instituto Politécnico Nacional.
- [11] Méndez García, Dayana (2018). Diseño de un modelo de negocio para el aprovechamiento de las llantas desechadas que llegan al parque tecnológico ambiental Guayabal. Cúcuta, Colombia. Universidad Libre Seccional Cúcuta.
- [12] Ramírez Garzón, Viviana Andrea (2012). Creación de una empresa dedicada al reciclaje de llantas a través de su trituración. Bogotá, Colombia: Universidad Ean.
- [13] Cardona Urrutia, Patricia del Pilar (2016). Estudio de factibilidad para la creación de una planta de producción de granos de caucho (GCR) mediante reciclaje fuera de uso. Pereira, Risalda, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira.

ANEXOS

ANEXO 1: COTIZACIONES

Se realizó la cotización de la maquinaria necesaria para el proceso de trituración mecánica a proveedores internacionales. A continuación, se presentan cada una de ellas.

Grupo Gercons Colombia S.A.S



GRUPO GERCONS COLOMBIA S.A.S
NIT. 900762619-2
Teléfono: 7022753 / 3187855947-3504595931
E-mail: contactenos@gerconscolumbia.com

Alejandro López González

Cotización # 551

Agradecemos su interés por nuestros productos y servicios ambientales. Acorde a su amable solicitud, nos permitimos presentar Propuesta Técnica y Económica de los productos de su interés:

#	Artículo / Descripción	Cant	Unidades	Precio unitario	Total
1	Sistema Reciclaje de Llantas Ref SR-1T	1	Und	\$720,000,000.00	\$720,000,000.00
Sub Total:					\$720,000,000.00
IVA (16%):					\$115,200,000.00
Total:					\$835,200,000.00

* ENTREGA SISTEMA: Llave en mano y funcionando. * GARANTÍA: Garantía de por vida.

* VALIDEZ DE LA OFERTA: Nuestra propuesta se mantendrá vigente por 30 (Treinta) Días calendario, Nos obliga y podrá ser aceptada en cualquier momento hasta antes del vencimiento de dicho periodo. Esta propuesta constituirá una obligación contractual, hasta la preparación y ejecución del Contrato formal.

* INSTALACIÓN PARA COLOMBIA: A cargo de Gercons Colombia, la maquinaria se entregará funcionando y con personal Capacitado. La maquinaria pesada necesaria para la instalación en sitio corresponde al Comprador.

* DOCUMENTOS CONTRATO: * Póliza de Cumplimiento 10% * Póliza de Calidad 10% * Póliza Buen manejo del Anticipo 100% del Anticipo * Inspección en fabrica (Comprador) * 50% a la confirmación de despacho en fábrica lista para embarque tercera fase. * Factura Comercial * Documento Garantía * Programación Instalación * Programación capacitación * Manual de Funcionamiento.

*FORMA DE PAGO: 50% anticipado a la firma del contrato. 50% a la confirmación de despacho en fábrica lista para embarque. O según contrapropuesta por el cliente. * PAGO MEDIANTE TRANSFERENCIA BANCO DAVIVIENDA DE CUENTA AHORROS 451870100893 GRUPO GERCONS COLOMBIA SAS.

Poliplásticos RESIDOMEX SA de CV



POLIPLASTICOS RESIDOMEX SA DE CV

2016

A quien corresponda:

En referencia a su solicitud de cotización de una "LINEA DE RECICLAJE PARA NEUMATICOS", anexamos los costos de cada uno de los modulos que conforman a la línea completa conforme a las siguientes características:

"LINEA DE RECICLAJE PARA NEUMATICOS CAPACIDAD 500 kg/hr
g ranulometría: 1.5mm(250 kg/hr) y 3mm(250 kg/hr) "

DESTALONADORA	\$250,000.00
BANDA TRANSPORTADORA CONV-1000	\$65,000.00
TRITURADORA DE DOBLE EJE	\$980,000.00
BANDA DE EXTRACCION Y ALIMENTACION A TRITURADOR DE RODILLOS	\$65,000.00
SISTEMA CENTRAL DE EXTRACCION DE POLVOS Y FIBRAS	\$80,000.00
GUILLOTINA PARA LLANATAS G-1200	\$83,186.00

1	TRITURADORA DE RODILLOS	\$890,000.00
2	BANDA VIBRATORIA	\$70,000.00
3	BANDA TRANSPORTADORA	\$50,000.00
4	BANDA SEPARADOR MAGNETICO	\$65,000.00
5	BANDA VIBRATORIA	\$60,000.00
6	BANDA TRANSPORTADORA	\$50,000.00
7	BANDA SEPARADOR MAGNETICO	\$65,000.00
8	BANDA TRANSPORTADORA	\$75,000.00

EL PRECIO DEL EQUIPO LINEA ECONOMICA PARA RECICLAJE DE NEUMATICOS, ES DE:

\$2, 848,186.00 (SON DOS MILLONES OCHOCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL CIENTO OCHENTA Y SEIS PESOS M.N.)

USD

EL PRECIO DEL EQUIPO LINEA ECONOMICA PARA RECICLAJE DE NEUMATICOS, ES DE:

\$156,236.20 USD (SON CIENTO CINCUENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS TREINTA Y SEIS USD 20/100)

El precio anterior no incluye gastos de envío, maniobras e instalación. No incluye además ningún otro gasto no especificado en esta cotización.

EcoGreen Equipment



Equipment Item List

ECO Green Equipment provides the full lineup of industrial tire recycling, processing equipment, and industry support. Below are equipment lists for ECO Green's tire recycling systems for *TDS (Tire Derived Shred)*, *Wire-free Chip/Rubber Mulch*, *Crumb Rubber*, and *Rubber Powder* production.

ECO TDS-TS-15-150 System

The ECO TDS-15-150 system features the efficient tire cutting system of the ECO Green Giant primary shredder and recirculation equipment for proper screening and sizing of material. The system outputs up to 15 metric tons of 6" inch (150 mm) rough shreds and up to 5 metric tons per hour of 2" inch (50 mm) shreds. Input material recommended is whole tires up to 1,220 mm (48" inches), chopped up mining tires (debeaded), off the road (OTR) tires (debeaded), and rough shreds with no foreign materials.

Item	Qty	Description	Unit Price
CON-BF-1000-122-10	1	INFEED CONVEYOR	\$18,865.00
TS-120-75-100-M	1	ECO GREEN GIANT - TWO SHAFT SHREDDER	\$553,500.00
CCM-TDS-TS-15	1	TWO SHAFT CONTROL PANEL	\$91,800.00
CON-BT-750-91-10	1	DISCHARGE CONVEYOR	\$17,517.50
SCRN-D-380-160-7.5-15	1	DISC SCREEN CLASSIFIER	\$51,300.00
CON-BTC-339-91-5	1	DISC SCREEN CONVEYOR	\$9,817.50
CON-BT-1110-91-10	1	RECIRCULATION CONVEYOR	\$16,747.50
CON-BT-750-91-10	1	DISCHARGE CONVEYOR	\$17,517.50
Total			\$777,065.00

sales@ecogreenequipment.com
Phone: 1-801-505-6841

425 North 400 West, Building 3A
North Salt Lake, Utah 84054 USA

ECO WC-GR-12-38 System

The ECO WC-GR-12-38 wire-free chip system features the efficient tire cutting system of the ECO Grater secondary shredder and recirculation equipment for proper screening and sizing of material. The system outputs up to 12 metric tons per hour of 38 mm (1.50" inch) rubber chips. Input material recommended is tire shreds smaller than 150 mm (6" inches) and smaller with no foreign materials.

Item	Qty	Description	Unit Price
CON-AT-366-220-5.4	1	SHRED FEED AUGER Smaller than 6"	\$31,050.00
CON-BT-750-91-10	1	DISCHARGE CONVEYOR	\$17,517.50
GR-101-109-250-M	1	ECO GRATER 101	\$534,600.00
CCM-WC-GR-12	1	WC-GR-12 CONTROL PANEL	\$86,400.00
SCRN-V-500-60-2	1	VIBRATORY TABLE	\$33,750.00
MAG-B-150-91-2	1	BELT MAGNET	\$18,287.50
SDB-2.5	1	STEEL DUMP BIN	\$5,967.50
CON-AP-915-25-10	1	OUT FEED AUGER	\$13,282.50
Total			\$740,855.00

ECO CR-CB-2-16 System

The ECO CR-CB-2-16 crumb rubber system features the efficient tire cutting system of the ECO Crumbler granulator for proper screening and sizing of granulate material. The system outputs up to 2 metric tons per hour of 16 mm (0.625" inch) material. Input material recommended is wire-free rubber chips 38 mm (1.5" inch) and smaller with no foreign materials.

Item	Qty	Description	Unit Price
CON-AP-605-25-10	1	IN FEED AUGER WITH HOPPER	\$12,512.50

ECO GREEN EQUIPMENT

CB-120-80-125-M	1	GRANULATOR	\$108,000.00
CCM-CR-GL-2	1	CR-GL-2 CONTROL PANEL	\$97,200.00
SCRN-V-500-60-2	1	VIBRATORY TABLE	\$33,750.00
SCRN-V-500-60-2	1	VIBRATORY TABLE	\$33,750.00
CON-AP-605-25-10	1	IN FEED AUGER WITH HOPPER	\$12,512.50
MAG-DRM-30-30-.75	1	DRUM MAGNET	\$15,207.50
SCRN-G-274-122-5	1	GYRATORY SCREEN	\$24,570.00
CON-AP-915-25-10	1	OUT FEED AUGER	\$13,282.50
CON-AP-915-25-10	1	OUT FEED AUGER	\$13,282.50
FBR-ZIG-1000	1	ZIG-ZAG SEPARATOR	\$5,400.00
FBR-ZIG-1000	1	ZIG-ZAG SEPARATOR	\$5,400.00
BG-SS-X2	1	SUPER SACK STATION	\$10,530.00
BG-SS-X2	1	SUPER SACK STATION	\$10,530.00
BG-SC-PLT	1	PLATFORM DIGITAL SCALE	\$770.00
FBR-VCB-7000-9	1	Dust Removal- Venturi, Cyclone, Blower 7000 CFM 9 Extraction Points	\$148,500.00
Total			\$545,197.50

ECO RP-KB-1.5-850 System

The ECO RP-KB-1.5-850 rubber powder system features the efficient grinding power of the ECO Krumbuster® hydraulic mill. The system outputs up to 1.5 metric tons per hour of 0.850 mm (850 microns) crumb and rubber powder material. Input material recommended is wire-free and fiber free crumb rubber 6 mm (0.25" inch) and smaller with no foreign materials.

ECO GREEN
EQUIPMENT

Item	Qty	Description	Unit Price
CON-AT-150-115-7.5	1	FEED BIN WITH AUGER	\$15,303.75
CON-AP-457-25-7.5	1	IN FEED AUGER	\$12,512.50
KB-76-55-300-H	1	KRUMBUSTER	\$483,750.00
CCM-RP-KB-1.5	1	RP-KB-1.5 CONTROL PANEL	\$64,800.00
CLG-CHL-20	1	CHILLER	\$36,010.98
CON-AP-457-25-7.5	1	IN FEED AUGER	\$12,512.50
SCRN-G-366-162-7	1	GYRATORY SCREEN	\$32,940.00
CON-AP-915-25-17.5	1	FLOW AUGER	\$22,137.50
CON-PNC-1000-10	1	PNEUMATIC CONVEYOR	\$14,437.50
BG-55-X2	1	SUPER SACK STATION	\$10,530.00
BG-5C-PLT	1	PLATFORM DIGITAL SCALE	\$770.00
Total			\$705,704.73
ECO BRAIN CONTROL			
BRN-4	1	ECO BRAIN 4 MODULES	\$25,650.00
Total			\$25,650.00
Grand Total			\$2,794,472.23

ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECO GREEN

Ítem	Máquina	Especificaciones técnicas	Descripción	Valor unitario, \$
1	Banda BT1	Motor de 7.5 kW	Banda transportadora desde Bodega MP a BT2	16,747.50
2	Banda BC1	Motor de 7.5 kW	Banda de cilindros, facilita la expulsión de las llantas de rin superior a 17.5	16,747.50
3	Banda BT3	Motor de 7.5 kW	Banda transportadora de la cortadora a la trituradora	16,747.50
4	Banda BT2	Motor de 7.5 kW	Banda alimentadora de unidad 7	18,865.00
5	Trituradora	Dos ejes rotatorios Motor de 150 kW	Tritura las llantas de rin inferior a 17.5 y las llantas procedentes de la cortadora. Tritura las llantas en virutas de ancho menores a 100 x 100 mm	553,500.00
6	Panel de Control		Controla los ejes de la trituradora	91,800.00
7	Banda BT4	Motor de 7.5 kW	Banda que descarga viruta de caucho	17,571.50
8	Clasificador	Motor de 5.6 kW	Clasifica las virutas de caucho de acuerdo a la dimensión	51,300.00
9	Banda BT6	Motor de 3.8 kW	Transporta los trozos de caucho triturado que pasaron por el filtro	17,517.50
10	Banda BT5	Motor de 7.5 kW	Banda de circulación donde son depositadas las virutas de caucho que no cumplen condiciones	16,747.50
11	Banda BT7	Motor de 7.5 kW	Alimentador del granulador	17,517.50
12	Granulador	Motor de 187.5 kW	Granula las virutas de caucho menores a 100 mm a 30 mm	534,600.00
13	Panel de control		Controla el granulador	86,400.50
14	BV1	Motor de 1.5 kW	Banda vibratoria, favorece a la separación de las fibras textiles, caucho y metal	33,750.00

Continúa.

Continuación.- Especificaciones de los productos de la empresa Eco Green.

Ítem	Máquina	Especificaciones técnicas	Descripción	Valor unitario, \$
15	Banda imantada	Motor de 1.5 kW	Retira el acero presente en los granos de caucho	18,287.50
16	Torno alimentador	Motor de 7.5 kW	Por medio de un torno transporta el grano de caucho al sistema de extracción de fibra	13,282.50
17	Separador Zigzag		La caída en Zigzag del granulo de caucho y el "rebote" con las paredes facilita la aspiración y separación de la fibra del textil y el granulo de caucho	5,400.00
18	Sistema de extracción de fibra	Motor de 58 kW	Sistema que aspira la fibra y la transporta al área de desechos por medio de tubería del sistema de extracción	148,500.00
19	Pulverizador	Motor de 93.8 kW	El granulo de caucho lo pulveriza en dimensiones entre 1 mm y 0.5 mm	108,000.00
20	Mesa vibratoria	Motor de 1.5 kW	Recibe el polvo y el grano, los clasifica por medio de una malla hacia el área de empaque	24,500.00
21	Empaque		Empaca el polvo y grano en bolsas de 30 kg	10,530.00
Total (\$USD)				1,818,327.50

ANEXO 3: CLASIFICACIÓN DEL COEFICIENTE K DE ACUERDO A CADA SECTOR Y CALIFICACIONES DE LA MATRIZ DE RELACIONES

Razón de la empresa	Coefficiente K
Gran industria alimenticia	0.05-0.15
Trabajo en cadena, transporte mecánico	0.10-0.25
Textil-Hilado	0.05-0.25
Textil-Tejido	0.05-0.25
Relojería, Joyería	0.75-1.00
Industria mecánica pequeña	1.50-2.00
Industria mecánica	2.00-3.00

Calificación	Descripción
A	Absolutamente Necesario
E	Especialmente Importante
I	Importante
O	Ordinaria u Normal
U	Sin Importancia
X	Indeseable
XX	Muy Indeseable

ANEXO 4: ESTADOS Y PRONÓSTICOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTO FINAL (CAUCHO)

Para el cálculo de las horas de trabajo se plantean tres posibles estados.

➤ Estado ideal.

Se asumió que el 100% de las llantas desechadas que se pronosticaron anualmente, se transformarían en su totalidad en caucho reciclado.

Estado ideal				
Año	Cantidad de caucho anual, kg	Cantidad de caucho mensual, kg	Cantidad de caucho semanal, Ton	Cantidad de turnos requeridos
2022	3,308,670.00	275,722.50	68.93	1,689
2023	3,420,003.00	285,000.25	71.25	1,746
2024	3,531,336.00	294,278.00	73.57	1,803
2025	3,642,669.00	303,555.75	75.89	1,860
2026	3,754,002.00	312,833.50	78.21	1,916

➤ Estado real.

Se basa en la cotización de los equipos y maquinaria de la empresa EcoGreen la cual garantiza que de las llantas que se usen para este proceso, el 99% se transformara en producto terminado (caucho).

Estado real (eficiencia del 99%)					
Año	Cantidad de caucho anual, kg	Cantidad de caucho anual con eficiencia del 99%	Cantidad de caucho mensual, kg	Cantidad de caucho semanal, Ton	Cantidad de turnos requeridos
2022	3,308,670.00	3,275,583.00	272,965.25	68.24	1,672
2023	3,420,003.00	3,385,803.00	282,150.25	70.54	1,728
2024	3,531,336.00	3,496,023.00	291,335.25	72.83	1,785
2025	3,642,669.00	3,606,242.00	300,520.17	75.13	1,841
2026	3,754,002.00	3,716,462.00	309,705.17	77.43	1,897

➤ Estado pesimista.

Se analizó una posibilidad de que sólo se pudiera obtener el 80% de caucho de las llantas desechadas pronosticadas para cada año.

Estado pesimista (eficiencia del 80%)					
Año	Cantidad de caucho anual, kg	Cantidad de caucho anual, eficiencia 80%	Cantidad de caucho mensual, kg	Cantidad de caucho semanal, Ton	Cantidad de turnos requeridos
2022	3,308,670.00	2,646,936.00	220,578.00	55.14	1,351
2023	3,531,336.00	2,825,069.00	235,422.42	58.86	1,442
2024	3,642,669.00	2,914,135.00	242,844.58	60.71	1,488
2025	3,754,002.00	3,003,202.00	250,266.83	62.57	1,533

La información que fundamente el estudio de los tres estados previamente descritos, parte de obtener la estimación de demanda de los productos terminados, analizando las demandas de cada año a partir del 2022 al 2025.

Basados en la cantidad de llantas desechadas estimadas para este horizonte de tiempo, el peso, el porcentaje de caucho acero y fibra textil para cada tipo de vehículo, y la participación de cada tipo de vehículo en el mercado, en las siguientes Tablas se especifican los pronósticos año por año de cada producto.

Pronóstico 2022							
	Participación, %	N° de llantas	Peso de llanta, kg	Pesos totales, kg	Peso de caucho, kg	Peso de acero, kg	Peso de fibras, kg
Automóviles	53.41	121,160	12	1,453,920	1,065,196	215,262	173,462
Buses	44.63	101,246	27	2,733,642	2,087,417	682,423	48,798
Camiones	1.74	3,950	67	264,650	198,817	64,517	3,950
Maquinaria	0.09	199	136	27,064	N/A	N/A	N/A
Remolques	0.14	310	136	42,160	N/A	N/A	N/A
Total	100.00	226,865		4,523,842	3,335,430	962,202	226,210

Pronóstico 2023							
	Participación, %	No de llantas	Peso de llanta, kg	Pesos totales, kg	Peso de caucho, Kg	Peso de acero, kg	Peso de fibras, kg
Automóviles	53.41	125,236	12	1,440,219	1,080,164	201,631	158,424
Buses	44.63	104,652	27	2,847,590	2,135,693	683,422	28,476
Camiones	1.74	4,083	67	272,195	204,146	65,327	2,722
Maquinaria	0.09	205	136	27,915	N/A	N/A	N/A
Remolques	0.14	321	136	43,617	N/A	N/A	N/A
Total	100.00	234,497		4,631,536	3,420,003	950,379	189,622

Pronóstico 2024							
	Participación, %	No de llantas	Peso de llanta, kg	Pesos totales, kg	Peso de caucho, kg	Peso de acero, kg	Peso de fibras, kg
Automóviles	53.41	129,313	12	1,487,103	1,115,327	208,194	163,581
Buses	44.63	108,059	27	2,940,289	2,205,217	705,669	29,403
Camiones	1.74	4,216	67	281,056	210,792	67,453	2,811
Maquinaria	0.09	212	136	28,824	N/A	N/A	N/A
Remolques	0.14	331	136	45,037	N/A	N/A	N/A
Total	100.00	242,131		4,782,309	3,531,336	981,317	195,795

Pronóstico 2025							
	Participación, %	No de llantas	Peso de llanta, Kg	Pesos totales, Kg	Peso de caucho, Kg	Peso de acero, Kg	Peso de fibras, kg
Automóviles	53.41	133,390	12	1,533,987	1,150,491	214,758	168,739
Buses	44.63	111,466	27	3,032,988	2,274,741	727,917	30,330
Camiones	1.74	4,349	67	289,916	217,437	69,580	2,899
Maquinaria	0.09	219	136	29,733	N/A	N/A	N/A
Remolques	0.14	342	136	46,457	N/A	N/A	N/A
Total	100.00	249,765		4,933,082	3,642,669	1,012,255	201,968

Con base en los pronósticos anteriores y la cantidad de producto final, acero que se obtendría cada año, se calculó la cantidad (kg) que se requeriría anual con una eficiencia del 99% y mensualmente.

Pronóstico cantidad de caucho a obtener 2022-2025			
Año	Cantidad de caucho requerido anual, kg	Cantidad de caucho requerida anual, kg eficiencia 99%	Cantidad de caucho requerido semanal, Ton
2022	3,335,430.00	3,275,583.00	62.99
2023	3,420,003.00	3,385,803.00	65.11
2024	3,531,336.00	3,496,023.00	67.23
2025	3,642,669.00	3,606,242.00	69.35

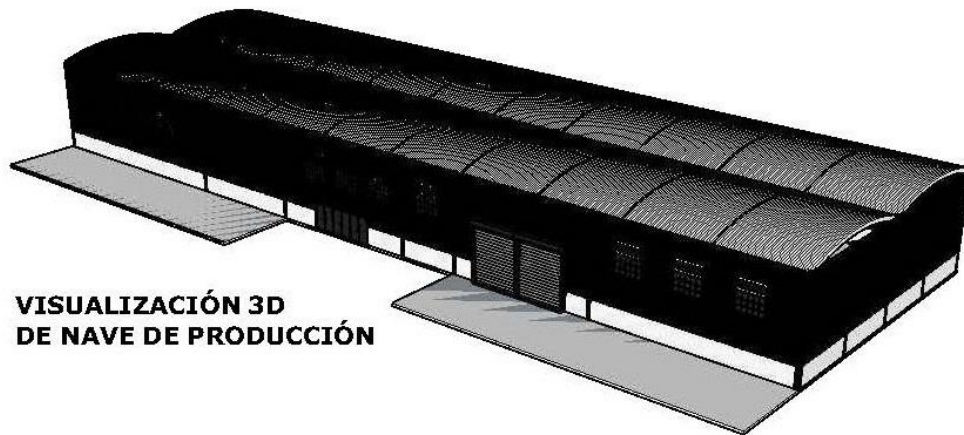
Pronóstico cantidad de acero puro a obtener en 2022-2025			
Año	Cantidad de acero puro requerido anual, kg	Cantidad de acero puro requerido anual, kg eficiencia 99%	Cantidad de acero puro requerido semanal, Ton
2022	962,202.00	952,579.00	18.32
2023	950,379.00	940,875.00	18.09
2024	981,317.00	971,503.83	18.68
2025	1,012,255.00	1,002,132.45	19.27

Pronóstico cantidad de acero impuro a obtener en 2022-2025			
Año	Cantidad de acero impuro requerido anual, kg	Cantidad de acero impuro requerido anual, kg eficiencia 99%	Cantidad de acero impuro requerido semanal, Ton
2022	226,210.00	223,947.00	4.31
2023	189,622.00	187,725.00	3.61
2024	195,795.00	193,837.05	3.73
2025	201,968.00	199,948.32	3.85

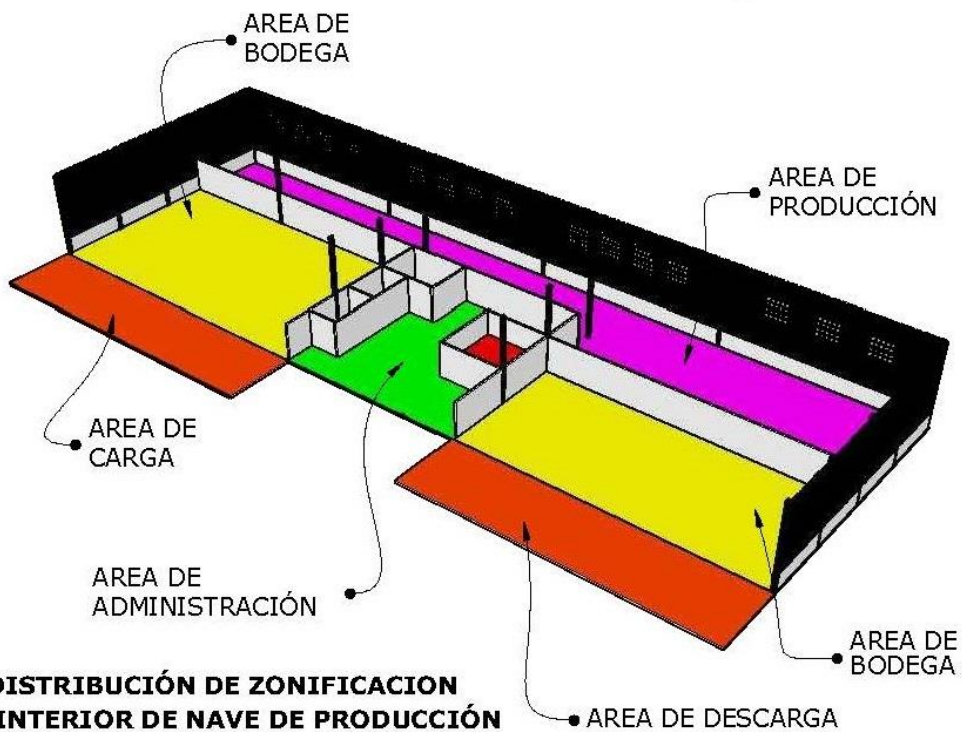
ANEXO 5: DESCRIPCIÓN DEL PERSONAL OPERATIVO REQUERIDO EN EL PROCESO

Operario	Función
A	Alimentación de materia prima en Banda transportadora 1
B	Alimentación de materia prima en Banda transportadora 2
C	Alimentación de materia prima en Banda transportadora 1 /Descarga de materia prima en jaulas
D	Alimentación de materia prima en Banda transportadora 1 /Descarga de materia prima en jaulas
E	Manejo carretilla Trolley (W.I.P., Destalonadora)
F	Destalonadora
G	Cortadora
H	Empaque
I	Empaque
J	Bodega Producto Terminado

ANEXO 6: PLANOS AUXILIARES DE LA PROPUESTA

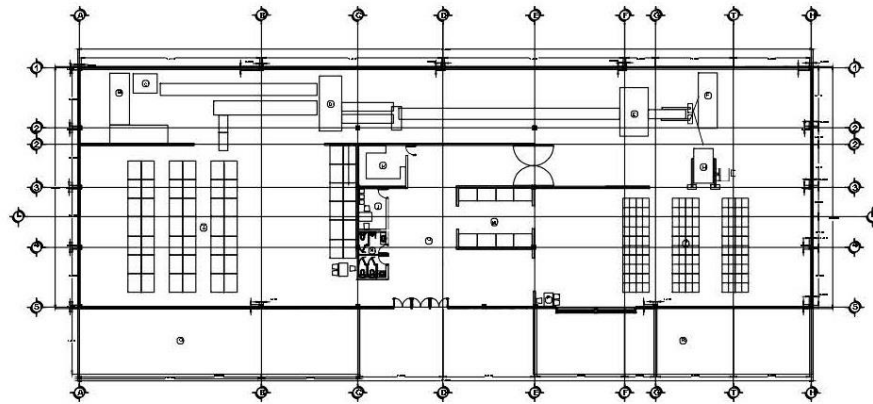


**VISUALIZACIÓN 3D
DE NAVE DE PRODUCCIÓN**



**DISTRIBUCIÓN DE ZONIFICACION
INTERIOR DE NAVE DE PRODUCCIÓN**

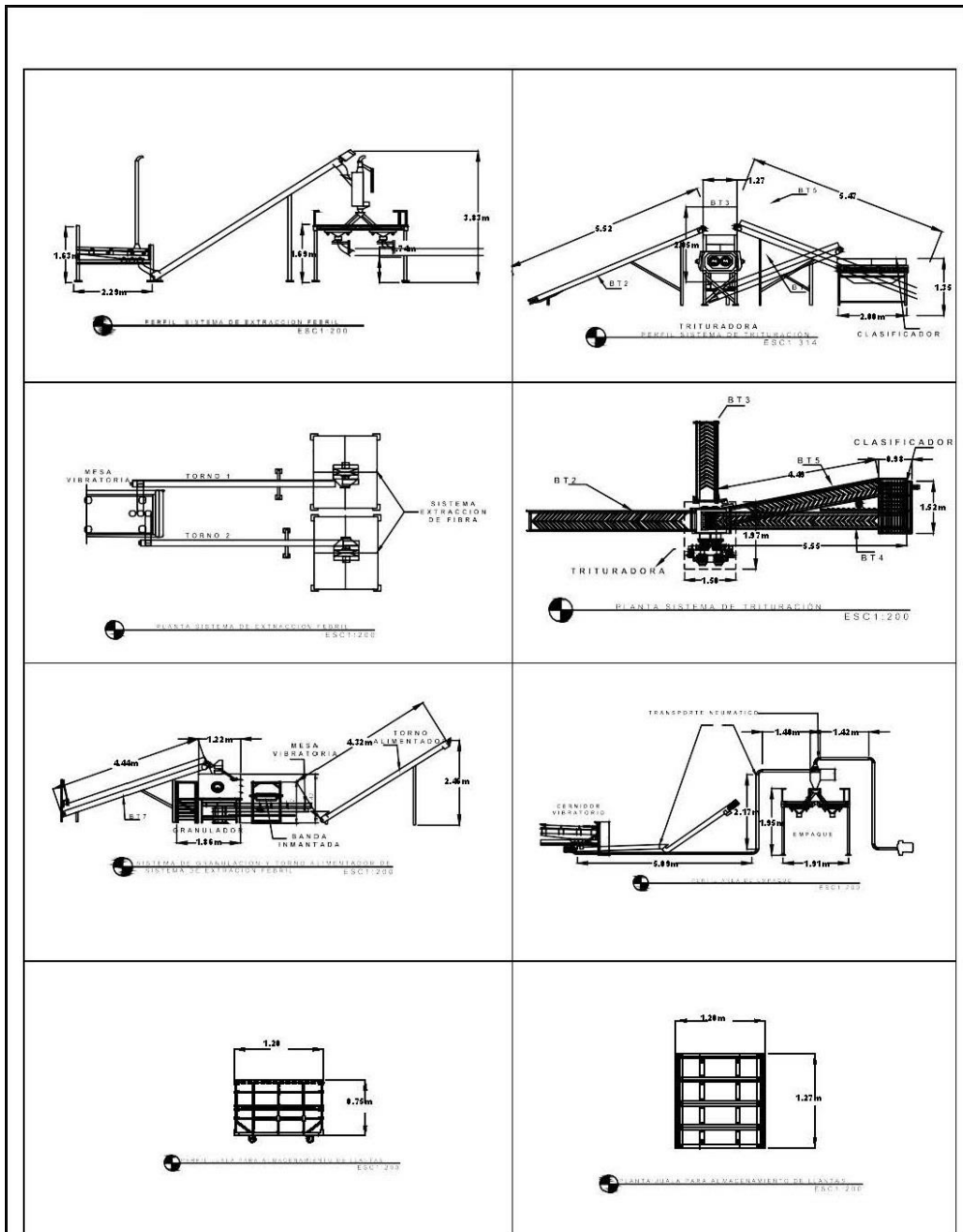
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de un sistema para la recuperación de materiales a partir de llantas desechadas.	ESCALA: SIN ESCALA
DOCENTES ASESORES: Ing. Francisco Alfredo de León Torres Dr. MSc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Salinas Menjívar, Diego Roberto	
Nº PLANO: PLANO A1	FECHA: Septiembre del 2021	Conjunto A1: Modelo 3D	



PLANTA ARQUITECTONICA
ESC 1:650

ESPACIOS DE PROYECTO	
A	BODEGA DE MATERIA PRIMA.
B	AREA DE DESTALONADO.
C	AREA DE CORTE.
D	AREA DE TRITURADO.
E	AREA DE GRANULACIÓN
F	AREA DE PULVERIZACIÓN.
G	AREA DE EXTRACCIÓN FEBRIL.
H	AREA DE EMPAQUE.
I	BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO
J	OFICINA GERENCIA DE PRODUCTO.
K	CUARTO ELECTRICO.
M	SERVICIOS SANITARIOS.
N	AREA VESTIBULAR.
O	AREA VESTIBULAR.
P	DESPACHO DE SALIDA
Q	AREA DE DESCARGA.
R	AREA DE CARGA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de un sistema para la recuperación de materiales a partir de llantas desechadas.	ESCALA: 1:650
DOCENTES ASESORES: Ing. Francisco Alfredo de León Torres Dr. MSc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Salinas Menjivar, Diego Roberto	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: Plano A2	FECHA: Septiembre de 2021	Conjunto A2: Planta Arquitectónica	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Propuesta de un sistema para la recuperación de materiales a partir de llantas desechadas.	ESCALA: 1:200
DOCENTES ASESORES: Ing. Francisco Alfredo de León Torres Dr. MSc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTE: Salinas Menjivar, Diego Roberto	UNIDADES: Milímetros
N° PLANO: A3	FECHA: Septiembre de 2021	Conjunto A3: Detalle de Maquinas	