

Tu 844 -  
519.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de  
la Producción**

“Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la  
Industria Ecuatoriana”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Proyecto de Graduación.

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**MARCOS XAVIER SIGUENZA JARAMILLO**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2015



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de**

**la Producción**

“Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la  
Industria Ecuatoriana”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Proyecto de Graduación.

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**MARCOS XAVIER SIGUENZA JARAMILLO**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2015

## AGRADECIMIENTO

A mi madre, padre y hermanas, por brindarme el apoyo incondicional durante todo el periodo de desarrollo de mis estudios. A mis tíos y primos por su ayuda incondicional.

Al Ing. Federico Camacho por su colaboración y tiempo prestado.

A mis amigos que de una u otra forma me apoyaron para el desarrollo de este documento.

## DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANAS

A MIS TIOS

A MIS PRIMOS

A MIS AMIGOS

## TRIBUNAL DE SUSTENTACION

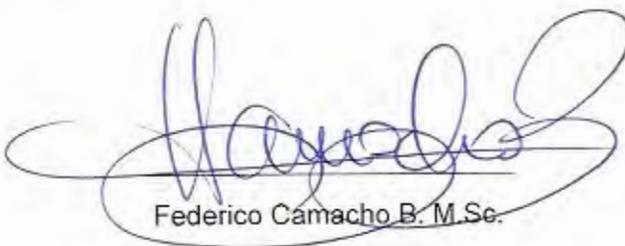


---

Ing. Jorge Duque R.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE



---

Federico Camacho B. M. Sc.

DIRECTOR



---

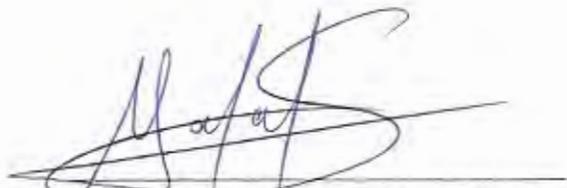
Ing. Andrés Rigail Cedeño

VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la "ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Marcos Xavier Siguenza Jaramillo

## RESUMEN

El desecho de neumáticos fuera de uso constituye un problema de tipo ambiental y de salubridad para un país. Para el año 2012 se estimó que en Ecuador se desecharon cerca de 57.000 toneladas de neumáticos fuera de uso, de los cuales solamente el 30% fueron reencauchados mientras que el restante 70% llegaron a botaderos, este problema aumenta año a año tomando en cuenta que el parque automotor en los últimos 5 años se ha incrementado en promedio un 6% anual. Para la provincia del Guayas se estimó que en el año 2012 cerca de 9.000 toneladas de neumáticos fueron desechados.

La situación del mercado nacional analizada en el capítulo 1 de este proyecto de graduación, indica que existiría gran demanda del caucho reciclado a partir de neumáticos fuera de uso, solamente para la industria cementera localizada en la ciudad de Guayaquil unas 44.000 toneladas de caucho anualmente pueden ser utilizadas como combustibles alternativos en el proceso de producción de clinker, así mismo se estimó que a nivel nacional se podrían consumir cerca de 8.000 toneladas de polvo de caucho como ligante o árido

para la producción de asfaltos utilizados en las carreteras del país; por lo tanto existe la posibilidad de desarrollar un proyecto en el cual se reciclen los neumáticos usados y se produzca caucho de varias granulometrías y calidades.

Para el desarrollo del presente proyecto de graduación, en el capítulo 2 se realizó la ingeniería para una planta de reciclado de neumáticos fuera de uso para una capacidad de 3 t/h; en donde se definieron los productos a desarrollar que brindan mayores ventajas económicas y técnicas. Así mismo se realizó la selección de los equipos para los diferentes procesos, tomando en cuenta factores técnicos y económicos previamente establecidos. Adicional a los equipos recomendados por el fabricante seleccionado, se diseñó una banda transportadora en base a las recomendaciones otorgadas por el manual "Belt Conveyor for Bulk Material" de CEMA. Finalmente, se recomendó la ubicación de la planta y se desarrolló la distribución de los equipos principales y equipos auxiliares, presentadas en un LayOut elaborado en AutoCAD y Autodesk Inventor.

En el capítulo 3 se describieron una serie de aplicaciones del caucho reciclado en donde se las clasificó según su uso, tales como aplicaciones civiles, energéticas e industriales.

Finalmente en el capítulo 4, se estimó la inversión total inicial para el proyecto y se evaluó la rentabilidad en un lapso de 5 años tomando en cuenta las herramientas económicas de evaluación tales como el VAN y el TIR.

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
INDICE GENERAL .....	v
ABREVIATURAS .....	ix
SIMBOLOGÍA .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
INDICE DE PLANOS .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1.	
1.RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN DESUSO.....	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Producto.....	4
1.2.1. Materiales.....	5
1.2.2. Propiedades Físicas y Mecánicas.....	16

1.3. Análisis y Selección del Proceso. ....	21
1.3.1. Procesos de Reciclaje de Neumáticos. ....	21
1.3.2. Selección y Justificación del Proceso. ....	36
1.4. Normas Técnicas Aplicables. ....	44
1.4.1. Normas INEN. ....	44
1.4.2. Normas Internacionales. ....	46
1.5. Situación del Mercado Nacional. ....	50
1.6. Justificación del Proyecto. ....	69
1.7. Influencias sobre el Medio Ambiente. ....	83

## CAPITULO 2

2.INGENIERÍA Y DISEÑOS. ....	88
2.1. Ubicación de la Planta. ....	88
2.2. Procesos y Etapas de Producción. ....	89
2.2.1. Recepción y Almacenamiento. ....	90
2.2.2. Inspección Visual. ....	96
2.2.3. Etapa de Triturado. ....	96
2.2.4. Etapa de Granulación Primaria. ....	98
2.2.5. Separación de Metales y Textiles. ....	100

2.2.6. Etapa de Granulación Secundaria.....	104
2.2.7. Almacenamiento de Producto Terminado.....	104
2.3. Producto Terminado.....	107
2.4. Capacidad de Producción de la Planta.....	119
2.5. Factores de Influencia para Selección de Equipos.....	121
2.6. Selección de Maquinaria.....	123
2.6.1. Selección de Equipos Principales.....	124
2.6.2. Selección de Equipos Auxiliares.....	144
2.7. Diseño de Tolvas y Bandas Transportadoras.....	149
2.7.1. Criterios de Diseño.....	149
2.7.2. Tolvas.....	150
2.7.3. Bandas Transportadoras.....	159
2.8. Distribución de Planta.....	186

### CAPITULO 3

3.APLICACIONES DEL CAUCHO RECICLADO.....	193
3.1. Aplicaciones Civiles.....	193
3.2. Aplicaciones Energéticas.....	209
3.3. Aplicaciones Industriales.....	216

## CAPÍTULO 4.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	218
4.1. Presupuesto Referencial.....	218
4.2. Evaluación de la Inversión.....	229
4.3. Cronograma.....	235

## CAPÍTULO 5.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	236
5.1. Conclusiones.....	236
5.2. Recomendaciones.....	240

PLANOS .....	241
--------------	-----

ANEXOS.....	242
-------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	259
-------------------	-----

## ABREVIATURAS

<b>AEADE:</b>	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.
<b>ASTM:</b>	American Society of Testing Materials
<b>CEMA:</b>	Conveyor Equipment Manufacturers Association
<b>CEN:</b>	Comité Europeo de Normalización.
<b>ETRA :</b>	European Tyre Recycling Association
<b>F.O.B:</b>	Free on Board.
<b>INEC:</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
<b>INEN:</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<b>MIPRO:</b>	Ministerio de Industria y Productividad.
<b>NFU:</b>	Neumáticos Fuera de Uso.
<b>NFPA:</b>	National Fire Protection Association.
<b>TDA:</b>	Tyre Derived Agregate
<b>TDF:</b>	Tyre Derived Fuel
<b>T.I.R:</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>VAN:</b>	Valor Actual Neto.

## SIMBOLOGÍA

t:	Tonelada.
s:	Segundos.
r.p.m.:	Revoluciones por Minuto.
t/h:	Toneladas por hora.
kWh/t:	Kilovatio hora por tonelada.
kW:	Kilovatio.
kg:	kilogramo.
lb:	Libra.
fpm:	Feet per minut.
m/s:	Metros por Segundo.
m:	Metros.
m <sup>2</sup> :	Metros Cuadrados
$\alpha$ :	Angulo de reposo.
$\beta$ :	Angulo de sobrecarga.
kCal:	Kilocaloría.
MJ:	Mega joule.
ft:	Pie.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1.</b> Estructura de un neumático de camión radial.....	10
<b>Figura 1. 2.</b> Estructura de un neumático convencional. ....	11
<b>Figura 1. 3.</b> Corte de sección de un neumático radial.....	13
<b>Figura 1. 4.</b> Corte de sección de un neumático convencional. ....	14
<b>Figura 1. 5.</b> Esquema de una Planta de Reciclaje de NFU por medio de trituración a temperatura Ambiente.....	33
<b>Figura 1. 6.</b> Esquema de una Planta de Reciclaje de NFU por medio de Molienda Criogénica. ....	35
<b>Figura 1. 7.</b> Esquema del Sistema de Inyección en el Precalcinador de Clinker.....	75
<b>Figura 2. 1.</b> Diagrama de Flujo del Proceso Productivo.....	91
<b>Figura 2. 2.</b> Minimas distancia de separación de pilas de NFU. ....	93
<b>Figura 2. 3.</b> Geometría de las pilas de NFU y la separación.....	94
<b>Figura 2. 4.</b> Ejemplo de Almacén de Neumáticos Fuera de Uso. ....	95
<b>Figura 2. 5.</b> Triturador de Neumáticos enteros.....	99
<b>Figura 2. 6.</b> Triturador secundario. ....	99
<b>Figura 2. 7.</b> Granulador principal. ....	100
<b>Figura 2. 8:</b> Esquema de polea magnética.....	102
<b>Figura 2. 9.</b> Banda magnética para separación de metales.....	103
<b>Figura 2. 10.</b> Esquema sistema separador de fibras.....	103

<b>Figura 2. 11.</b> Celdas de almacenamiento de caucho triturado.....	106
<b>Figura 2. 12.</b> Estaciones de llenado de Big.Bag.....	106
<b>Figura 2. 13.</b> Almacén de Sacos con caucho reciclado. ....	107
<b>Figura 2. 14.</b> Cuchillas rotativas montadas en un solo eje, marca Zerma. .	128
<b>Figura 2. 15.</b> Perspectiva de las cuchillas del triturador marca ELDAN, montadas en un solo eje.....	129
<b>Figura 2. 16.</b> Ubicación tolva extra. ....	151
<b>Figura 2. 17.</b> Punto de fuga del Material de la banda. ....	154
<b>Figura 2. 18.</b> Dimensiones principales de tolva.....	155
<b>Figura 2. 19.</b> Presión de impacto cara de tolva. ....	158
<b>Figura 2. 20.</b> Esfuerzo Resultante en Tolva de Alimentación. ....	159
<b>Figura 2. 21.</b> Vista Planta de la trayectoria de la Banda extra. ....	162
<b>Figura 2. 22.</b> Vista lateral de la banda extra.....	162
<b>Figura 2. 23.</b> Elementos de una Banda Transportadora. ....	163
<b>Figura 2. 24.</b> Coeficiente de Fricción por longitud de Banda .....	166
<b>Figura 2. 25.</b> Características de Rodillos CEMA B.....	168
<b>Figura 2. 26.</b> Diagrama de fuerzas de la polea motriz. ....	172
<b>Figura 2. 27.</b> Cinta con nervios en la industria del reciclaje de NFU. ....	176
<b>Figura 2. 28.</b> Rollo de Cinta transportadora con nervios en V .....	176
<b>Figura 2. 29.</b> Características de Cinta seleccionada.....	177
<b>Figura 2. 30.</b> Descripción de cinta seleccionada con nervios en "V" .....	177
<b>Figura 2. 31.</b> Capacidades de carga de rodillos clase CEMA B.....	180
<b>Figura 2. 32.</b> Vista lateral de Almacén de Chips de Caucho de 20 mm.....	190

<b>Figura 3. 1.</b> Fotos de dos tramos de carretera con asfalto convencional y asfalto-caucho. ....	201
<b>Figura 3. 2.</b> Elementos principales en canchas de hierba artificial. ....	206
<b>Figura 3. 3.</b> Losetas de seguridad en varios colores. ....	207
<b>Figura 3. 4.</b> Colocación de Suelos de seguridad. ....	208
<b>Figura 3. 5.</b> Esquema de tecnología Mid-Kiln, para uso de NFU enteros como combustible. ....	214

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1. COMPOSICIÓN INDICATIVA PORCENTUAL EN PESO DE LOS NEUMÁTICOS SEGÚN SU TIPO. ....	6
TABLA 1. 2. DIÁMETROS EXTERIOR Y ANCHO DE SECCIÓN MÁXIMOS DE NEUMÁTICOS SEGÚN SU TIPO.....	15
TABLA 1. 3. PESO PROMEDIO DE LOS NEUMÁTICOS FUERA DE USO.	17
TABLA 1. 4. PESO PONDERADO DE CRITERIOS A TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	37
TABLA 1. 5. REFERENCIA DE PROCESOS REENCAUCHADO VS. MOLIENDA A TEMPERATURA AMBIENTE. ....	40
TABLA 1. 6. TABLA DE DECISIONES EN BASE MÉTODO DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO. ....	42
TABLA 1. 7. PORCENTAJES DE REENCAUCHE EN SUDAMÉRICA. ....	51
TABLA 1. 8. DISTRIBUCIÓN DE AUTOMOTORES EN LAS 3 PROVINCIAS MÁS REPRESENTATIVAS; 2012 .....	54
TABLA 1.9. PARQUE AUTOMOTOR DE AZUAY, GUAYAS Y PICHINCHA; 2012.....	55
TABLA 1. 10. PARQUE AUTOMOTOR DE LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS.....	56
TABLA 1. 11. ESTIMACIÓN DE LLANTAS EN USO EN ECUADOR PARA EL 2012 .....	59
TABLA 1. 12. ESTIMACIÓN DE LLANTAS EN USO EN 2012 EN GUAYAS Y PICHINCHA.....	59

TABLA 1. 13. AUTOMOTORES DEL ESTADO A SER CONSIDERADOS EN EL PLAN DE REENCAUCHADO EN GUAYAS Y A NIVEL NACIONAL TOMANDO EN CUENTA EL PARQUE AUTOMOTOR 2012.....	60
TABLA 1. 14. ESTIMACIÓN DE NFU QUE PUEDEN SER RECICLADOS EN GUAYAS Y A NIVEL NACIONAL.....	61
TABLA 1. 15. NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN UN AÑO (2012), SEGÚN SU TIPO.....	62
TABLA 1. 16. NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN UN AÑO (2012), TOMANDO EN CUENTA LOS 364 MIL NEUMÁTICOS REENCAUCHADOS ESTIMADOS POR EL MIPRO.....	63
TABLA 1. 17. TONELADAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO SEGÚN EL PARQUE AUTOMOTOR 2012, A NIVEL NACIONAL Y GUAYAS.....	65
TABLA 1. 18. PRECIO PROMEDIO DE NFU SEGÚN SU TIPO.....	69
TABLA 1. 19. IMPORTACIÓN Y EXPORTACIONES DE CAUCHO EN EL 2013.....	71
TABLA 1. 20. EMISIONES MEDIDAS DE LA COMBUSTIÓN DE PRUEBA DE NEUMÁTICOS EN UN HORNO DE CEMENTO EN EL REINO UNIDO.....	77
TABLA 1. 21. APLICACIONES DEL CAUCHO RECUPERADO DE LOS NFU'S EN ESPAÑA EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA.....	82
TABLA 2. 1. DESIGNACIONES PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE CAUCHO PROCESADOS EN EUROPA, SEGÚN CWA14243, ETRA (2002) Y EN LOS EE.UU., SEGÚN LA NORMA ASTM D 6270-98, ASTM (1998).....	108
TABLA 2. 2. CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA CAUCHO RECICLADO DE NFU SEGÚN SU APLICACIÓN.....	112
TABLA 2. 3. PESO PONDERADO DE FACTORES A TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO.....	117

TABLA 2. 4. TABLA DE DECISIONES EN BASE MÉTODO DE VALORES PONDERADOS.....	118
TABLA 2. 5. PRODUCTO TERMINADO A ELABORAR.....	119
TABLA 2. 6. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO.....	122
TABLA 2. 7. FABRICANTES DE EQUIPOS PARA RECICLAJE DE NFU, CON TRITURADOR PRINCIPAL DE UN SOLO EJE. ....	129
TABLA 2. 8. LÍNEA COMPLETA PARA EL PROCESAMIENTO DE NFU CON TRITURADOR DE UN SOLO EJE.....	130
TABLA 2. 9. FABRICANTES DE EQUIPOS DE RECICLAJE DE NFU, CON TRITURADOR PRINCIPAL DE DOBLE EJE. ....	135
TABLA 2. 10. LÍNEA COMPLETA PARA EL PROCESAMIENTO DE NFU CON TRITURADOR DE DOBLE EJE.....	137
TABLA 2. 11. EQUIPOS PRINCIPALES SELECCIONADOS.....	142
TABLA 2. 12. ESPECIFICACIONES DEL TRITURADOR PRINCIPAL. ....	142
TABLA 2. 13. ESPECIFICACIONES DEL TRITURADOR SECUNDARIO. ....	143
TABLA 2. 14. ESPECIFICACIONES DEL GRANULADOR PRINCIPAL Y SECUNDARIO. ....	143
TABLA 2. 15. EQUIPOS AUXILIARES DE LA PLANTA. ....	144
TABLA 2. 16. DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA EJES DE TAMBOR SEGÚN LA FUERZA RESULTANTE.....	185
TABLA 2. 17. VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE NFU.....	187
TABLA 2. 18. ÁREA OCUPADA POR BIG.BAG CON GRÁNULOS Y POLVO DE CAUCHO.....	192
TABLA 3. 1. RESULTADOS DE UN ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA USANDO CAUCHO-ASFALTO (HICKS ET AL., 1998). ....	203
TABLA 3. 2. PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE ALGUNOS COMBUSTIBLES. ....	210

TABLA 4. 1. COSTO EQUIPOS PARA PROCESO PRODUCTIVO.....	219
TABLA 4. 2. COSTO EQUIPOS EXTRA PARA PROCESO PRODUCTIVO. .....	220
TABLA 4. 3. COSTO DE TERRENO Y EDIFICACIONES .....	220
TABLA 4. 4. COSTO DE EQUIPOS DE OFICINA Y VENTAS.....	220
TABLA 4. 5. INVERSIÓN DIFERIDA.....	222
TABLA 4. 6. COSTO TOTAL DE INVERSIÓN.....	222
TABLA 4. 7. CAPITAL DE TRABAJO.....	224
TABLA 4. 8. AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO.....	226
TABLA 4. 9. COSTOS OPERACIONALES PROYECTADOS A 5 AÑOS...	228
TABLA 4. 10. COSTO UNITARIO DE LA TONELADA DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS.....	229
TABLA 4. 11. COSTOS FIJOS Y VARIABLES.....	231
TABLA 4. 12. PUNTO DE EQUILIBRIO .....	232
TABLA 4. 13. TMAR GLOBAL MIXTA.....	232
TABLA 4. 14. INGRESOS POR VENTAS PROYECTADOS A 5 AÑOS. ....	233

## INDICE DE PLANOS

- Plano 1.** Perspectiva General de la Planta en 3D.
- Plano 2.** Distribucion de Equipos de Produccion en 3D.
- Plano 3.** Distribucion General de Planta.
- Plano 4.** Zona de Produccion y Almacenamiento de Producto Terminado.
- Plano 5.** Equipos de Produccion 1/2.
- Plano 6.** Equipos de Produccion 2/2.
- Plano 7.** Caracteristicas Principales de Banda Transportadora extra.
- Plano 8.** Tolva de Alimentación.

## INTRODUCCIÓN.

El presente proyecto abarca los criterios técnicos para la implementación de una planta recicladora de neumáticos fuera de uso. En el capítulo 1 del proyecto se realiza una descripción de los principales componentes de los neumáticos, se indican sus características principales y se mencionan las propiedades físicas y mecánicas del caucho en diferentes granulometrías. En el primer capítulo también se indican y se describen los procesos de reciclaje de neumáticos, para luego realizar la selección del proceso más adecuado. Para cuantificar los neumáticos fuera de uso que se generan anualmente y para estimar la demanda del producto terminado, se realizó un breve análisis del mercado nacional. Finalmente en el primer capítulo se describen los impactos ambientales positivos que se lograrían al implementar este proyecto.

En el capítulo 2, se realiza la ingeniería del proyecto en donde se analiza la posible ubicación de la planta; se indica y se describe el proceso productivo en base a las indicaciones técnicas del fabricante seleccionado. La selección del fabricante se realiza en base a una serie de factores técnicos y económicos previamente establecidos. La granulometría del producto terminado (caucho) y la capacidad instalada de la planta se selecciona en base a la situación actual del mercado enlazado a los aspectos técnicos de la línea de producción. Adicional a los equipos principales del proceso de producción se diseña una

banda para la transportación de caucho con una granulometría de 20 mm que serán colocados en una celda de almacenamiento; también se diseña la tolva de alimentación de dicha banda.

Para tener un mayor conocimiento de las aplicaciones del caucho reciclado a partir de neumáticos, en el tercer capítulo se lista una serie de estudios agrupados según su tipo de aplicación.

Para la implementación del proyecto se estima la inversión total del mismo y el costo operacional anual de la planta, con estos datos se establecen los costos de venta al público de los productos terminados. Finalmente, se evalúa la rentabilidad del proyecto y se da a conocer un cronograma para la implementación del mismo.

# **CAPITULO 1.**

## **1.RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN DESUSO.**

### **1.1.Introducción.**

A través del reciclaje de neumáticos se da uso a los elementos que conforman este producto, siendo el caucho el de mayor porcentaje en comparación con el acero y los textiles. El reciclaje de neumáticos permite la creación de nuevos productos de uso industrial, de esta forma tanto la industria como el medio ambiente se ven beneficiados, ya que para la producción de una kilogramo de neumáticos reciclado se consume solo 2,200 BTU, mientras que para la producción de la misma cantidad de materiales a partir de caucho virgen se consume más de 120,000 BTU [1].

Los procesos de reciclaje actuales se basan en dos formas esenciales, ya sean ciclos cerrados o ciclos abiertos. El reciclaje de ciclo cerrado está basado en la reutilización del material en desuso para la formación

de un producto del mismo tipo; por otro lado el reciclaje de ciclo abierto se da cuando los productos desechados forman parte de nuevos productos ya sea como materia prima o como aditivos [2].

Considerando el ciclo cerrado de reciclaje de neumáticos, la mayoría de los tipos de recuperación se basan en el reencauchado de los mismos, mientras que el reciclaje de ciclo abierto está conformado principalmente por los procesos de desvulcanización o despolimeración, y tratamientos mecánicos como: molienda mecánica a temperatura ambiente y a temperatura criogénica; así mismo existen procesos de aprovechamiento energético como lo son la termólisis y pirolisis, que actúan por medio de un proceso de gasificación como se puede ver en la sección 3.2 de este documento.

## 1.2.Producto.

Los neumáticos según la norma INEN 2069 [3] se definen como, *"Dispositivo mecánico hecho de caucho, químicos, acero u otros materiales que cuando son montados en una rueda del automotor proveen la tracción y soporta la carga del automotor"*.

Los neumáticos por ser el único punto de apoyo de los vehículos deben brindar perfectas condiciones de adherencia, estabilidad y confort sobre

los pasajeros; a más de esto los elementos que conforman los neumáticos pueden ser parte de una serie de aplicaciones luego que su tiempo de vida ha llegado a su fin.

La ASTM define a los neumáticos fuera de uso en dos grandes grupos, como "ScrapTyre" y "WasteTyre"; aunque si bien la traducción al Español tiene similares significados (llantas de desecho), ASTM define "ScrapTyre" como un neumático que ya no puede ser utilizado para su propósito original debido a desgaste o daños; mientras que la definición para "WasteTyre" indica que son los neumáticos que ya no son capaces de ser utilizados para su propósito original, pero que se han dispuesto de tal manera que no pueden ser utilizados para cualquier otro propósito [4].

#### **1.2.1. Materiales.**

##### ***Composición de los Neumáticos.***

Los componentes tanto físicos como químicos de los neumáticos se los podría clasificar en forma general como se lo indica en la tabla 1.1, aunque estas composiciones son diferentes dependiendo de los fabricantes y tipos de neumáticos existentes,

se tomará como referencia los datos emitidos por la ETRA  
(European Tyre Recycling Association)

**TABLA 1. 1.- COMPOSICIÓN INDICATIVA PORCENTUAL EN PESO DE  
LOS NEUMÁTICOS SEGÚN SU TIPO.**

DESCRIPCIÓN	LIVIANOS (%)	PESADOS (%)	FUNCION
CAUCHO Y ELASTOMEROS <sup>1</sup>	47	45	Estructural - Deformación
NEGRO DE HUMO <sup>2</sup>	21,5	22	Mejora de propiedades Físicas
METAL	16,5	25	Formación del Esqueleto Estructural
TEXTIL	5,5	0	Formación del Esqueleto Estructural
OXIDO DE ZINC	1	2	Catalizador
AZUFRE	1	1	Agente Vulcanizante
ADITIVOS <sup>3</sup>	7,5	5	-----
<b>MATERIALES BASADOS EN CARBÓN<sup>4</sup></b>	<b>74</b>	<b>67</b>	-----
<b>PESO APROXIMADO (kg)</b>	<b>9,9</b>	<b>52,7</b>	

*1 Neumáticos de camiones y OTR contienen una mayor proporción de caucho natural que los neumáticos para automóviles de turismo.*

*2 La Silica reemplaza parte del negro de carbono en determinados tipos de neumáticos*

*3 Algunos de los aditivos incluyen arcillas, que pueden ser reemplazados en parte en algunos neumáticos con la miga de caucho reciclado de neumáticos de desecho*

*4 Estos totales aproximadas serían ligeramente más alto si las arcillas fueron reemplazados por el polvo de neumático reciclado de neumáticos de desecho*

**Fuentes:** PAS 107.-Specification for the manufacture and storage of size reduced tyre materials& (ETRA) European Tyre Recycling Association.

Las composiciones indicativas dada por ETRA serán las tomadas en cuenta para los proyección es que se realizaran en este documento. A continuación se realizara una breve descripción de los compuestos principales en un neumático.

**Caucho.-** Es una mezcla entre el caucho natural y cauchos sintéticos como polímeros SBR ("stirenebu tadiene rubber") y BR ("butadiene rubber"), que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se produce a partir de la lechada denominada como latex proveniente de árboles en la se destaca el Hevea Brasiliensis; el caucho sintético proviene a partir de hidrocarburos insaturados.

**Negro de Humo.-**Este elemento brinda al neumático características primordiales como rigidez, resistencia a la tracción y resistencia a la abrasión; así mismo le brinda una protección al caucho de la luz ultravioleta. Es producido mediante una combustión incompleta de algunos productos petrolíferos tales como alquitrán de hulla, alquitrán de craqueo de etileno así como pequeñas porciones de aceites vegetales.

**Aceros.-** Dichos elementos en forma de hilos, proporcionan mayor rigidez a la carcasa de las llantas así mismo producen un aumento en la resistencia y flexibilidad

**Textiles.-** Junto con alambres de acero, textiles se usan en la carcasa del neumático de coche como materiales de refuerzo. Los principales productos textiles utilizados son de rayón, de poliamida (nylon) y poliéster.

**Óxido de Zinc.-** Este elemento por lo general es denominado como acelerante o activadores, de tal forma que estos reducen el tiempo de vulcanización de varias horas a pocos minutos.

**Azufre.-** Este elemento es agregado en el proceso de vulcanización, el cual otorga al neumático una mayor resistencia y elasticidad; también otorga una mejora en el tiempo de vida útil.

**Aditivos y Otros.-** la función principal de estos elementos es la de aumentar la dureza y resistencia del caucho; así mismo se eleva la resistencia a la abrasión, a los aceites, disolventes químicos, al oxígeno y al calor.

La sílice precipitada ( $\text{SiO}_2$ ) se utiliza ampliamente como cargas de refuerzo. Desde mediados de la década de 1990 la aplicación principal de sílice precipitada es el uso en el caucho para la producción de neumáticos [4].

### **Tipos de Neumáticos y sus Estructuras.**

Según la normativa Ecuatoriana INEN 2096 [3] los neumáticos del tipo Radial y Convencional se definen como:

**Neumático radial.-** La carcasa de este neumático está constituida por una o varias capas formadas por pliegos cuyos hilos dispuestos de pestaña a pestaña, están colocados a  $90^\circ$ , en relación a la línea del centro.

**Neumático convencional.-** En este neumático la carcasa está constituida por pliegos cuyas cuerdas se extienden de pestaña a pestaña formando ángulos alternos menores a  $90^\circ$  con respecto a la línea central de la banda de rodamiento.

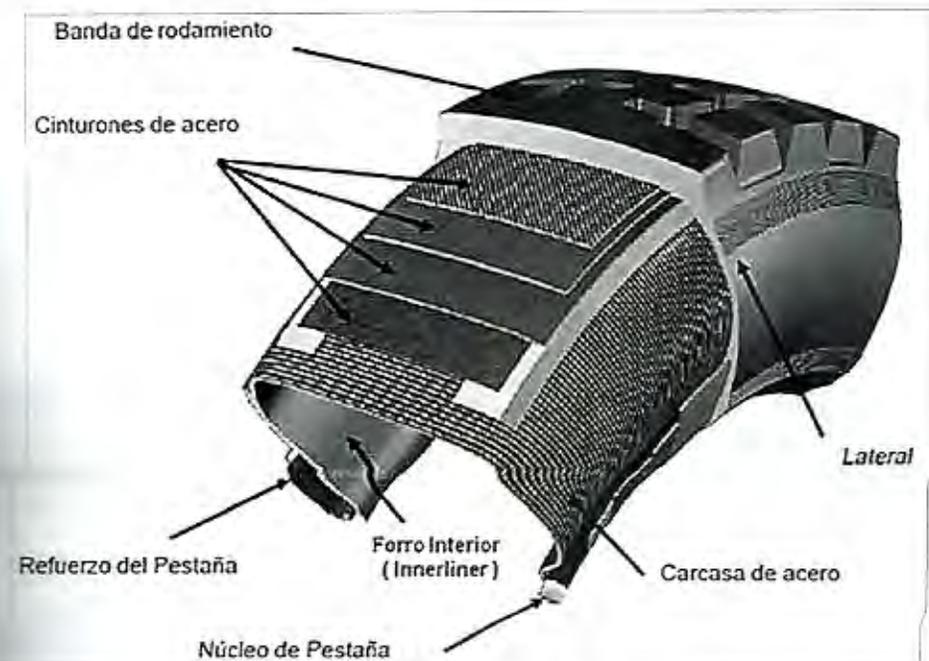
La estructura para los neumáticos del tipo Radiales y Convencionales, se puede observar en las figuras 1.1, y 1.2 respectivamente.

De igual forma la normativa INEN 2096 [3], describe cada parte de los neumáticos como se menciona a continuación:

**Banda de rodamiento.-** Parte del neumático que está en contacto con el suelo y consta de:

- a) Bajo rodamiento.
- b) Diseño (grabado o labrado).

- c) Espesor del bajo rodamiento.
- d) Espesor total de la banda de rodamiento.
- e) Indicador de desgaste.
- f) Profundidad del diseño.
- g) Relabrado ( regroovable).



**Figura 1. 1.** Estructura de un neumático de camión radial. [3]

*Banda protectora del lateral.* - Saliente lateral sobre el costado de ciertos neumáticos que tiene como fin proteger de golpes y otros daños.

Carcasa. Estructura de neumático excepto la banda de rodamiento.

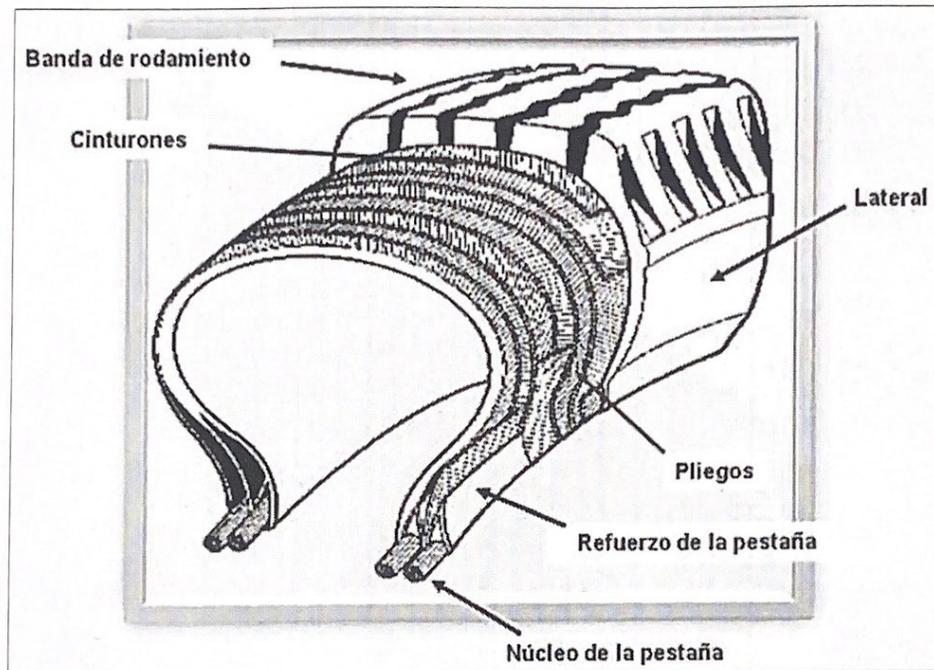


Figura 1. 2. Estructura de un neumático convencional. [3]

Cinturón. Pliegos internos ubicados entre el bajo rodamiento y el primer pliegue de la carcasa, diseñados para aumentar la resistencia al impacto y proporcionar estabilidad al neumático.

Cuerdas. Hilos (nilón, acero, poliéster, entre otros) que forman los pliegos dentro del neumático.

Forro interior (inner liner). Capa(s) de caucho formada(s) en la superficie interna del neumático que contiene(n) el medio inflativo o protege(n) al tubo.

Hombro. Parte externa de la banda de rodamiento situada en las intersecciones con los laterales.

Laterales. Partes del neumático comprendidos entre los límites de la banda de rodamiento y las pestañas (talones o cejas).

Pestaña. Parte del neumático hecha de alambres de acero, envueltos o reforzados por las cuerdas o los pliegos que son moldeados para ajustarse al aro.

Pliegos. Capas de cuerdas recubiertas de caucho.

Protector o defensa Banda de compuesto de caucho, que se aproxima al perfil de la pestaña del aro sin arrugarse o plegarse, y de ancho suficiente para proteger el tubo contra la abrasión de este.

A manera de complemento, en las figuras 1.3 y 1.4 se puede observar un corte de los neumáticos radiales y convencionales respectivamente.

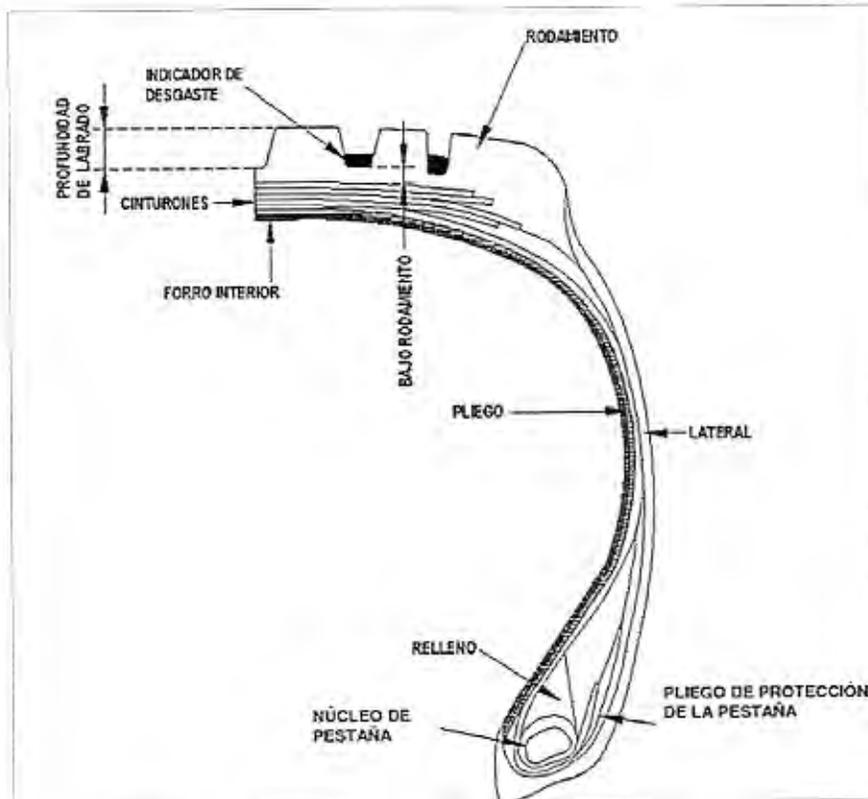


Figura 1. 3. Corte de sección de un neumático radial. [3].

#### Dimensiones de los neumáticos.

La norma técnica INEN 2101 [5], establece las dimensiones, las cargas y presiones que los neumáticos deben cumplir según sea su tamaño; los requerimientos de los fabricantes de equipos de trituración de neumáticos fuera de uso requieren del tipo de neumáticos que se van a procesar así como su diámetro exterior y el ancho de sección. En la tabla 1.2 se puede observar un

resumen del diámetro exterior y ancho de los neumáticos según sea el tipo.

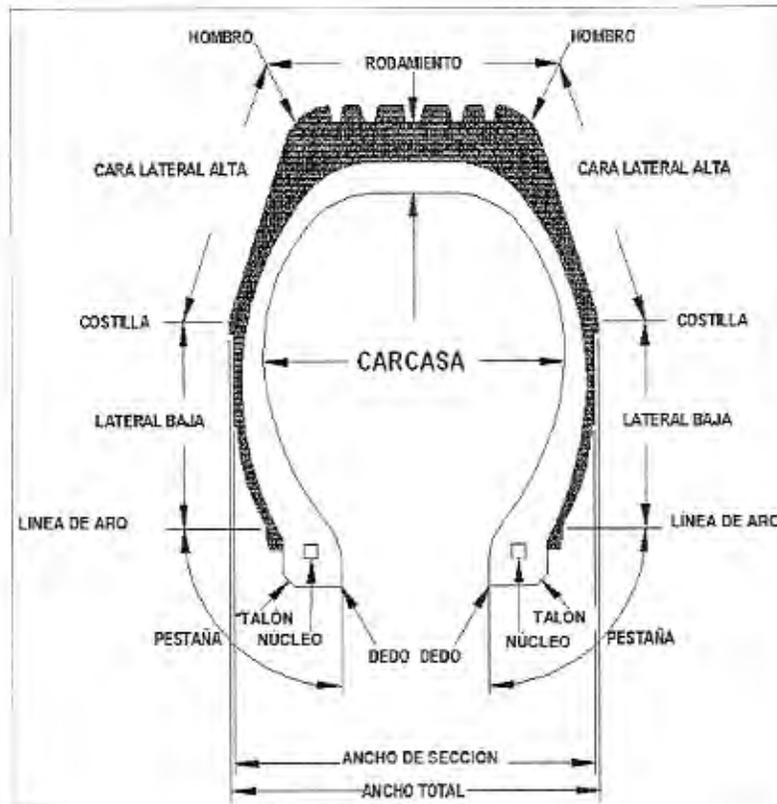


Figura 1. 4. Corte de sección de un neumático convencional. [3]

En el Anexo A se puede observar todas las tablas correspondientes a las Dimensiones, Cargas y Presiones que son requisitos para neumáticos a ser usados en vehículos de pasajeros y vehículos excepto pasajeros con excepción

bicicletas, que la normativa INEN 2101 tiene como referencia, los tamaños de neumáticos que no consten en esta normativa deberán cumplir con lo especificado en el Year Book the and Rim Association INC en su última versión [5].

**TABLA 1. 2. DIÁMETROS EXTERIOR Y ANCHO DE SECCIÓN MÁXIMOS DE NEUMÁTICOS SEGÚN SU TIPO**

<b>Tipo de Neumático</b>	<b>Ancho de Sección Max (mm)</b>	<b>Diámetro Exterior Max. (mm)</b>
Neumáticos de pasajeros convencional (tipo bias)	208	705
Neumáticos excepto pasajeros (camioneta) convencional (tipo bias)	220	808
Neumáticos excepto pasajeros (camión) convencional (tipo bias)	315	1135
Neumáticos de pasajero radial	209	650
Neumáticos excepto pasajeros (camioneta) radial	235	806

*Ver figuras 1.3 y 1.4 para una mejor apreciación del ancho Y diámetro exterior de los neumáticos.*

**Fuente:** NTE INEN 2101:98 Primera Edición [5]

**Vida útil de los neumáticos.**

Aproximadamente los neumáticos tienen un rendimiento de 100.000km para llegar a su primer recambio, es muy claro que el tiempo de recambio depende de la forma de manejo de cada conductor así como la calidad del neumático, de las condiciones ambientales, entre otros. Se estima que en Ecuador un neumático del tipo liviano tiene una duración de aproximadamente 2 años y los del tipo pesado alrededor de 6 meses; estos datos si bien afectan directamente para la cuantificación de los NFU (Neumáticos Fuera de uso) que se pueden dar en un año, no serán tomados en cuenta para la estimación de los NFU anuales ya que es un dato muy general, el cual está afectado por varios factores de forma tal que las estimaciones no serían del todo buenas.

**1.2.2. Propiedades Físicas y Mecánicas.**

Las propiedades físicas, mecánicas así como químicas más relevantes de los NFU (Neumáticos Fuera de Uso) enteros o triturados, y que son de mayor influencia para la documentación de este proyecto son:

- El peso promedio de los NFU según su tipo como lo indica la tabla 1.3. Estos valores son manejados en la Unión Europea como una base de referencia ya que el peso de los mismos varían dependiendo del fabricante de los neumáticos.

**TABLA 1. 3.- PESO PROMEDIO DE LOS NEUMÁTICOS FUERA DE USO.**

TIPOS DE NFU	CARACTERÍSTICAS	PESO MEDIO (kg/NFU)
Motos	<500 cc	0,84
	>500 cc	4,1
Automóviles	Turismo	5,91
	Comerciales	10,6
	4x4	13,2
Camiones	---	52,7
Vehículos agrícolas	---	12,5
	Ruedas motrices	64,7
Vehículos industriales	8-15"	22,8
Maquinaria de obra	<12"	52,4
	>24"	245

**Fuente:** CEDEXMATERIALES, España [6]

Los datos presentados en la tabla 1.3, serán tomados en cuenta para las respectivas proyecciones que se realizarán en este documento.

- Dado que los neumáticos tiene una forma tórica y debido a su elasticidad, estos son difícilmente compactables [6]; esto en cuanto a una de sus propiedades mecánicas.

- Para determinar la resistencia al corte de los neumáticos troceados, se emplean cajas donde se pueda albergar grandes cantidades de material triturado o troceado. Ensayos de corte realizados en cajas de 1 x 1 m bajo tensiones normales entre 20 y 100 kPa con material troceado solamente, indicaron que el ángulo de rozamiento está comprendido entre 27 y 28,5° y una cohesión de 10 kPa para los neumáticos troceados.[6]
- En cuanto a la densidad de los Neumáticos enteros, su valor es bajo y se encuentra entre 125 y 200 kg/m<sup>3</sup>. [6].
- El peso específico del caucho del neumático oscila entre 1.02 y 1.27, correspondiendo los mayores valores a la goma de los neumáticos que contienen inclusiones de acero [7].
- Para granulado de caucho con un tamaño entre 13 y 76 mm; las densidades aparentes obtenidas del material sin compactar oscilan entre 490 y 320 kg/m<sup>3</sup>, mientras que para el mismo material compactado se han obtenido densidades entre 730 y 570kg/m<sup>3</sup>. [7]
- El polvo de caucho que por lo general es empleado en las mezclas bituminosas con dimensiones menores a 2 mm, tiene una densidad aparente aproximada de 1150 kg/m<sup>3</sup>. [7].

- En un ensayo de tracción de una sola dimensión. Los valores más bajos del módulo de elasticidad  $E$  son indicativos de las deformidades de la capa. El módulo elástico de caucho vulcanizado varía de 180 libras por pulgada cuadrada (psi) a 750 psi[7]
- El poder calorífico de estos elementos abarca un rango entre 6.800 y 7.800 kcal/kg, siendo estos valores similares al poder calorífico del carbón; por lo que una tonelada de neumáticos equivale aproximadamente 0,7 toneladas de fuel oil [6]; así mismo se estima que entre el 80 y 90% de la composición elemental de los neumáticos está formada por carbono; donde la presencia de metales pesados es menor a 0,1% en peso.
- La conductividad térmica aparente de los trozos de neumáticos tiende a disminuir conforme la densidad aumenta. La conductividad térmica varía entre 0,318 - 0,195 W/m °K en un rango de densidad de 580 a 790 kg/m<sup>3</sup> para pruebas con un gradiente de temperatura de 27 °K/m.  
La conductividad térmica de trozos de llanta de 51 mm de tamaño máximo nominal disminuyó de 0,251 a 0,225 W/m °K cuando la densidad aumentó de 630 a 690 kg/m<sup>3</sup> [4]

- La presencia de grandes cantidades de cable expuesto contribuye directamente a un aumento de las tasas de oxidación del caucho triturado almacenado. El calentamiento interno es una preocupación importante para los acopios de TDA\*. Bajo extremas condiciones cuando la tasa de generación de calor es más rápida que la tasa de disipación, la combustión de los centros de acopio de TDA, se puede dar si las temperaturas internas llegan al punto de ignición de aproximadamente 285 a 340 °C. La auto-ignición de los centros de acopio de llantas trituradas o de rellenos, en los Estados Unidos se ha dado cuando el espesor de los rellenos o centros de acopio ha sobrepasado los 6 m. de altura. Aunque si bien la mayoría de incidentes requieren de una fuente externa de ignición cuando la temperatura de combustión sobrepasa los 322 °C aproximadamente. [4]

*\*TDA.- Cualquier combinación de los chips de neumáticos y trozos de llanta usada como una alternativa al mineral del suelo/agregado convencional en aplicaciones de ingeniería civil.*

- Debido a las características químicas de los NFU estos no son biodegradables ni tóxicos, entre algunas características relevantes esta la resistencia a la acción de los mohos, calor luz solar, humedad; así como resistencia a algunos aceites y

a muchos disolventes. El nivel de toxicidad de los NFU se ve reflejado cuando estos son incinerados de una manera descontrolada, ya que producen gases tóxicos de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>, CO, Nox, etc. y que provocan problemas respiratorios. Así mismo se emiten dioxinas y furanos debido a la incineración descontrolada [8]. Otros tipos de impacto ambiental negativo debido a la incineración de los NFU se describen en la sección 1.7.

### **1.3. Análisis y Selección del Proceso.**

En la actualidad existen una serie de procesos para el reciclaje de los neumáticos fuera de uso, en los cuales el principal objetivo es brindar un segundo uso a éstos y minimizar el impacto ambiental que tienen luego de su vida útil. Tras una serie de procedimientos los neumáticos en desuso pueden formar parte de productos del mismo tipo así como se pueden producir elementos con características diferentes.

#### **1.3.1. Procesos de Reciclaje de Neumáticos.**

Los procesos productivos que existen actualmente para el reciclaje se pueden clasificar en dos grandes grupos, como son:

- Procesos de reciclaje de Ciclo Cerrado.
- Procesos de reciclaje de Ciclo Abierto.

El primer grupo se basa en el reciclaje de materiales para la producción de elementos del mismo tipo y/o características sin alterar su estructura; mientras que el segundo grupo se basa en la recuperación de materiales para la producción de elementos con características diferentes afectando directamente a la estructura de los neumáticos.

*En cuanto al reciclaje de Ciclo Cerrado, se tiene el:*

- Reencauchado
- Uso Directo de los NFU.

Los procesos de producción para el reciclaje mediante un Ciclo Abierto por lo general contemplan los siguientes tratamientos [9].

- Tratamientos Mecánicos.
- Tratamientos de Reducción de Tamaño.
  - Molienda a Temperatura Ambiente.
  - Molienda Criogénica
  - Molienda Húmeda.
- Tratamientos de Regeneración.
  - Devulcanización.
  - Recuperación.

- o Pirolisis y Termólisis.- Reducción de los neumáticos a corrientes gaseosas de aceite condensable, residuo carbonoso y metal.

A continuación se describirá el proceso de Reencauchado; tratamientos mecánicos y el tratamiento de reducción de tamaño, ya que estos procesos son los más relevantes que podrían ser aplicables en el mercado Nacional.

**Reencauchado.**-Proceso por el cual a un neumático gastado se le cambia su banda de rodadura, en ocasiones hasta 3 veces dependiendo del estado de desgaste. En la actualidad existen dos métodos para reencauchar, denominados como frio o caliente. Estos dos métodos no difieren en gran parte si no solamente en la forma de colocar el nuevo material al neumático desgastado; en el reencauchado en frio la banda de rodadura ya tiene la forma que será adherida al neumático; mientras que el proceso caliente mediante un molde se le da forma a la rodadura. El proceso para el reencauchado en Caliente se conforma de los siguientes pasos:

1. Inspección Inicial.
2. Raspado.

3. Reparación.
4. Encoginado.
5. Vulcanizado
6. Inspección Final.

Por otra parte el Reencauchado en Frio consta de:

1. Inspección Inicial.
2. Raspado.
3. Reparación
4. Cementación.
5. Embanado.
6. Envolvimiento.
7. Curado.
8. Inspección Final.

El reencauchado en frio presenta ciertas ventajas sobre el caliente, entre las cuales se tiene [10]:

- El reencauchado en Frio permite una mayor gama de diseños finales de los neumáticos
- Permite un volumen de producción mayor
- Debido a las temperaturas de trabajo, el reencauchado en frio garantiza que no haya un cambio de propiedades en el compuesto de los cauchos.

***Tratamientos Mecánicos.-***

Mediante este proceso los neumáticos son compactados, troceados o fragmentados en varias piezas irregulares. En si muchas de las aplicaciones de los NFU requieren primordialmente de un previa trituración mecánica hasta llegar al tamaño adecuado según sea su uso. Dicho proceso se realiza a través de trituradoras conformados por dos o más ejes paralelos con cuchillas que giran a distintas velocidades. El tamaño de las partículas conseguidas tras este proceso dependerá de la separación de los ejes, por lo general la trituración es un paso previo a la molienda, el caucho triturado es usado en los vertederos o centros de acopio para reducir el volumen ocupado por los neumáticos [6].

***Tratamientos de Reducción de Tamaño.-***

Los 3 procesos más empleados para la reducción de tamaño del caucho vulcanizado de los NFU son: la molienda mecánica a temperatura ambiente, la molienda a temperaturas criogénica y molienda tipo húmeda. A partir de la industria del Reencauchado también se pueden obtener pequeñas partículas de caucho, más específicamente en el proceso de Raspado, pero normalmente

estas partículas son mayor en tamaño a las obtenidas mediante los procesos de molienda antes mencionados.

Generalmente para llegar a tamaños de partícula menores a 1 mm [11]; el neumático tuvo que haber pasado por una reducción a trozos de aproximadamente 300 mm o mayores denominados como "CUTS" para luego ser reducidas a tiras entre 50 y 300 mm conocidos como "SHRED". A más de estos dos pasos previos también existe una reducción del material denominado como "CHIPS" que por lo general tienen dimensiones entre 10 y 50 mm para luego ser granulados a tamaños típicos de 1 hasta 10 mm también conocidos como "GRANULATES"; como parte final se procede a la producción de polvos con tamaños menores a 1 mm [11]. A más de esto también existe una siguiente etapa, donde el producto terminado se denomina polvo ultra fino con dimensiones menores a 500  $\mu\text{m}$ . La granulometría final luego de salir de los equipos para reducción de tamaño, depende del fabricante de equipos para reciclaje de neumáticos. A continuación una descripción de los tres tipos de molienda utilizados para la reducción de tamaños.

#### ***Molienda a Temperatura Ambiente.***

Este proceso se desarrolla por lo general en molinos que están constituidos por un rotor y un estator; previo al paso de los productos por este equipo es necesario la separación del acero contenido en los neumáticos para evitar daños en el molino, lo cual se realiza normalmente con el uso de bandas magnéticas; así mismo se deben eliminar los textiles, para este proceso por lo general se utiliza cintas o bandejas vibratorias que originan el apelmazamiento de las fibras.

Por lo general el proceso a temperatura ambiente envuelve una serie de actividades como:

- Almacenamiento de Neumáticos Fuera de Uso.
- Inspección visual.
- Reducción de tamaño.
- Separación de metales.
- Separación de fibra.
- Reducción a gránulos.
- Reducción a Polvo
- Empaquetado.

Para las actividades antes mencionadas, por lo general se contempla de los equipos principales que pueden subdividirse en grupos, como [9]:

1. Trituradores.
2. Granuladores Primarios
3. Granuladores Secundarios
4. Raspadores.
5. Molinos cracker Primarios
6. Molinos Secundarios.
7. Rodillos de Acabado
8. Micro Rodillos (pulverizadores)

Mientras que para los equipos auxiliares se puede tener:

1. Bandas transportadoras.
2. Colectores de Polvos.
3. Bandas magnéticas.
4. Aspiradores
5. Cribas
6. Sistemas de transportación Neumático

La valorización óptima en este tipo de reciclaje dependerá de un buen control de los pesos de los neumáticos a la entrada en la

planta de tratamiento, así como la selección de los tipos de neumáticos, sus características, la composición, etc.

Dependiendo del tipo de producto terminado ya sea este polvo, gránulos o simplemente tiras de caucho, el proceso productivo varía; ya que para llegar a una dimensión del caucho menor a los 0,8 mm el proceso se subdividirá en más pasos a seguir comparado con la producción de gránulos con un tamaño entre 0,8 y 20 mm.; en todo caso para la producción de polvo de caucho se consta por lo general de los siguientes pasos.

1. Almacenamiento de neumáticos.

Debido al gran poder calorífico de los neumáticos (6.800 a 7.800 kcal/kg), para el correcto almacenamiento de los mismos se deberá tomar en cuenta los criterios técnicos emitidos por la norma vigente, en donde se recomienda el Acuerdo Ministerial 020 a nivel nacional, la norma NFPA 231D, así como el Real Decreto 1619 de España.

2. Recolección y trituración de neumáticos.-

Dependiendo del tamaño de la planta, la recolección de los neumáticos desde la zona de almacenamiento podrá darse en forma manual o con la ayuda de equipos industriales como un tracto-pala; una vez que se ha recogido los neumáticos estos son colocados ya sea en bandas transportadoras que luego descargan los NFU en trituradoras o bien la descarga se realiza directamente en las tolvas de recepción de las trituradoras principales. Una vez triturados los trozos de menor tamaño pueden ser acarreados mediante sistemas de transportadores hacia un segundo almacén, o directamente a la segunda fase de reducción.

El almacenamiento luego de la trituración se lo realiza por lo general para reducir el volumen que ocupan los neumáticos enteros, así mismo pueden existir almacenamientos intermedios luego de la salida de los equipos de reducción de tamaño, de tal manera que se pueda tener varios productos según la demanda del mercado.

### 3. Separación del materiales ferrosos.-

Antes de la entrada a los equipos de pre-granulación se puede realizar una primera separación del acero con la ayuda de separadores magnéticos dispuestos en forma de bandas.

Dependiendo de la calidad del producto terminado la separación del acero es de suma importancia en este tipo de reciclaje; por tal motivo el proceso de extracción del acero por medio de imanes dispuestos en forma de bandas se la podría realizar a la salida de los otros granuladores, la cantidad de equipos de granulación o molinos dependerá del tamaño de partícula final.

#### 4. Pre-granulador.

Luego del separador magnético, y mediante bandas transportadoras el producto proveniente de los almacenes o directamente de los trituradores, es descargado en los equipos de Pre-Granulación, de tal forma que se logra un cierto tamaño de partículas.

#### 5. Separación de textiles o fibras.

Debido a las diferentes densidades de los productos, la separación de la fibra respecto de los otros elementos se da gracias a las propiedades físicas de estas, ya sea por

---

aspiración en cascada o mediante mesas densimétricas vibratorias.

6. Pulverizadores o molinos.

El número de pulverizadores o molinos que se encuentren a continuación dependerá del tamaño de partícula final.

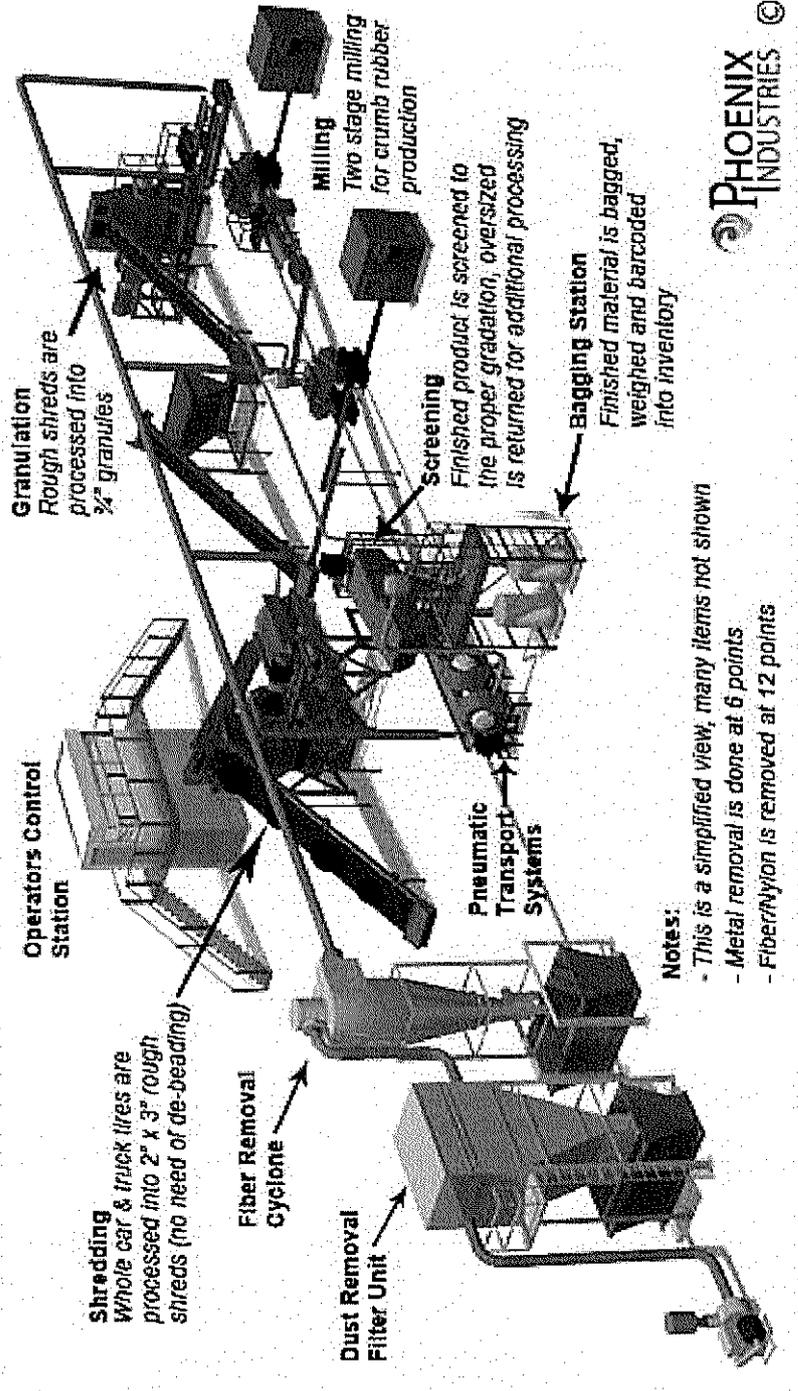
En la figura 1.5 se puede observar un esquema típico de una planta Recicladora de Neumáticos Fuera de Uso, mediante Molienda a Temperatura Ambiente.

***Molienda a Temperatura Criogénica.***

La molienda a temperatura Criogénica se realiza a temperaturas aproximadamente de  $-200^{\circ}\text{C}$ ; a esta temperatura el caucho se fragiliza por lo que la elasticidad del mismo desaparece, por lo tanto es más fácil desintegrarlo en comparación con el proceso a temperatura ambiente. El proceso a temperaturas Criogénicas consta de un triturador primario que produce trozos de caucho, similar al utilizado en el proceso a temperatura ambiente. A partir de este punto y por medio de bandas transportadoras, los trozos de caucho (chips) ingresan a un túnel de congelación que trabaja con nitrógeno líquido.

---

Figura 1. 5: Esquema de una Planta de Reciclaje de NFU por medio de trituración a temperatura Ambiente.



Fuente: Phoenix Industries [12].

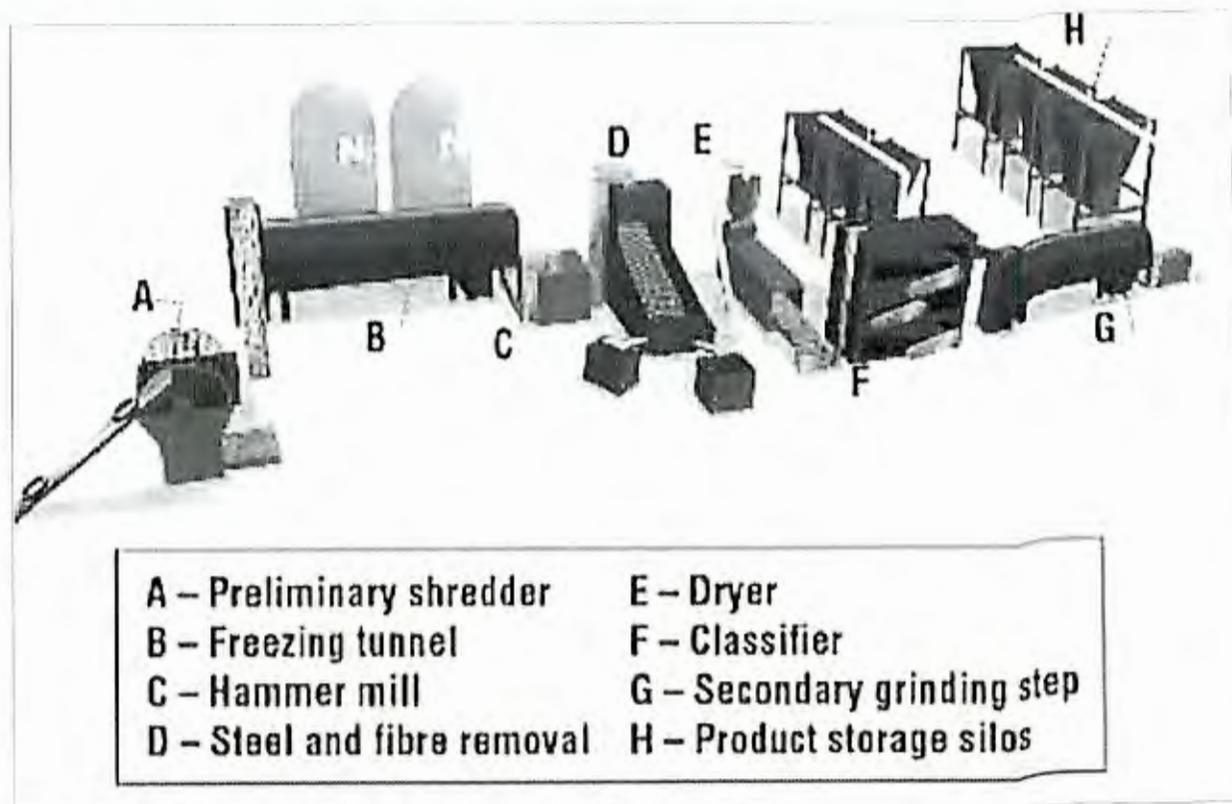
Los chips congelados son transportados hacia un molino de impacto donde son procesados; en este molino el caucho y los demás elementos se rompen en una gama de partículas con diferentes tamaños.

Al igual que el proceso a temperatura ambiente, existe una fase en la cual los elementos como el acero y las fibras son separadas del caucho; ya que los elementos a la salida del molino pueden estar húmedos, estos pasan a través de un secador.

Como se mencionó anteriormente, a la salida del último molino los elementos tienen una gama muy amplia de tamaños, por lo tanto el caucho deberá pasar por un clasificador de partículas.

En algunos casos se usa una etapa de molienda secundaria, de tal forma que la finura de las partículas mejore, así mismo se puede incluir una segunda etapa de criogenización de tal forma que la calidad del producto terminado llegue a finuras aún más exigentes. Por último la goma es transportada hacia la zona de almacenamiento. Un esquema típico de una planta para reciclaje de NFU a través de Molienda Criogénica, se muestra a en la figura 1.6.

Figura 1. 6. Esquema de una Planta de Reciclaje de NFU por medio de Molienda Criogénica.



Fuentes: WASTE MANAGEMENT WORLD [13].

***Molienda Húmeda.***

Este tipo de molienda no tiene un gran avance en la industria, en comparación con los otros dos tipos de molienda; el proceso en si contempla una serie de ruedas que muelen el caucho con la ayuda de agua pulverizada inyectada continuamente, de tal forme que se garantice el enfriamiento del polvo. Finalmente se separa el agua del polvo y se seca.

**1.3.2. Selección y Justificación del Proceso.**

Para la selección del proceso de reciclaje de NFU; se hizo uso de una matriz de comparaciones entre los procesos tomados en cuenta, de tal forma que se comparen criterios técnicos, económicos y ambientales tales como:

- a) Bajos costos de inversión de equipos de producción.
- b) Alta calidad del producto terminado.
- c) Mayor procesamiento de neumáticos por hora.
- d) Que los efectos secundarios sobre el medio ambiente sean minimos.
- e) Que el proceso contemple tecnología al alcance del mercado.

Para determinar la importancia de cada uno de los criterios anteriormente mencionados, se realizó la tabla 1.4 donde se puede observar el peso porcentual de cada uno de ellos.

**TABLA 1. 4: PESO PONDERADO DE CRITERIOS A TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.**

CRITERIO	a	b	c	d	e	Total	Peso.
a) Bajos costos de inversión.	--	2	3	5	5	15	34,25
b) Alta calidad del producto terminado	0,50	--	2	4	5	12	26,26
c) Mayor procesamiento de neumáticos por hora	0,33	0,50	--	4	5	10	22,45
d) Que los efectos secundarios sobre el medio ambiente sean mínimos	0,20	0,25	0,25	--	6	7	15,30
e) Que el proceso contemple tecnología al alcance del mercado	0,20	0,20	0,20	0,17	--	1	1,75

**Escala. 1 = Igual; 5 = Más importante; 10 = Mucho más importante;  
1/5 = Menos importante; 1/10 = Mucho menos importante**

La tabla 1.4 nos indica que para la selección del proceso de producción de reciclaje de neumáticos este deberá contemplar en gran medida de bajos costos de inversión, seguido por una alta calidad del producto terminado con una producción estable; así mismo el proceso productivo no deberá acarrear efectos



secundarios sobre el medio ambiente y por último la tecnología utilizada en el proceso deberá estar al alcance del mercado.

A continuación se mencionarán algunos datos técnicos y económicos sobre el proceso de reencauche, molienda a temperatura ambiente y criogénica, por ser estos procesos los de mayor relevancia.

1. El proceso de Reencauchado en el Ecuador consta ya de políticas bien definidas por parte de las entidades públicas, así como de normativas por parte del INEN para el proceso en sí; por otra parte los otros procesos de recuperación del caucho de los NFU por medio de reducción de tamaño para formar polvos o gránulos no cuentan con normativas INEN, pero existen decretos en desarrollo para la correcta Gestión de los NFU.
2. Si bien es cierto que el Reencauchado en la actualidad cuenta con políticas ya definidas, estas son aplicadas en aproximadamente 80% a neumáticos utilizados en automotores del tipo pesado (Camiones y buses); por lo tanto el resto de neumáticos (livianos) en mayor proporción (tabla 1,12) es no reencauchado; por lo tanto con la trituración se logra procesar un número mayor de neumáticos, lo que

implica una reducción mayor en los impactos ambientales a causa de los NFU.

3. La tecnología desarrollada para el reencauchado en la actualidad tiene avances muy significativos, lo mismo sucede con la tecnología utilizada para la trituración a temperatura ambiente; no obstante para la trituración a temperatura criogénica se deberá contar con equipos de una tecnología más sofisticada debido al uso de Nitrógeno Líquido y al proceso de secado.
4. Los costos de inversión para el proceso de Reencauchado son menores a los del proceso de Trituración a temperatura ambiente, tal como se puede observar en la tabla 1.5.
5. Las cifras en cuanto a los consumos de la molienda criogénica comparada con la molienda a temperatura ambiente son similares, (para una planta de 35.000 t/año se consumiría 400 kw/h) [9]; a pesar de esto se debe agregar el costo que surge por la adquisición de Nitrógeno líquido, que se estima en 0,7 kg/kg caucho molido. Si bien el costo capital es más baja respecto a la molienda a temperatura ambiente, el costo de operación es mucho mayor debido al precio del nitrógeno y adicionalmente se debe agregar la fase de secado.

**TABLA 1. 5. REFERENCIA DE PROCESOS REENCAUCHADO VS. MOLIENDA A TEMPERATURA AMBIENTE.**

Descripción	Reencauchado [10]	Molienda Temperatura ambiente [14]
PRECIO EQUIPOS (FOB)	\$ 450.000	\$ 1.400.000
POTENCIA (KW)	77	700
PRODUCCIÓN	22 neumáticos/4 horas; 300 kg/h	2.000 kg/h

**Fuente:** GENOX RECYCLING TECH CO [14] & Proyecto para Implementación de una Planta Reencauchadora de Neumáticos para Transporte Pesado. [10]

6. En cuanto a la calidad del producto terminado y sabiendo que en un proceso el reciclaje es de ciclo cerrado (Reencauchado) y el otro es del tipo abierto (Molienda); ambos procesos presentan excelente calidad de sus productos terminados; por otro lado al comparar los dos procesos de molienda mecánica, la calidad del proceso a temperatura criogénica es mejor (40 a 100 mesh) que el desarrollado a temperatura ambiente (0,8 mm).

En la actualidad la demanda del mercado está centralizada en el granulado a temperatura ambiente, ya que la calidad del

polvo para las aplicaciones dadas en Ecuador no justifica la duplicación en cuanto al costo de operación dado por el proceso a temperatura criogénica.

7. Debido a que en el proceso de trituración ambiental se produce polvo proveniente de los trozos de caucho y más aún cuando se produce caucho con granulometrías menores a 2 mm, en el proceso de producción se debe considerar sistemas de aspiración de polvos para mantener un ambiente de trabajo adecuado; los efectos secundarios negativos sobre el medio ambiente se ven reflejados en el alto consumo energético que una planta de este tipo puede tener, para una planta que procesa 3 t/h de NFU el consumo puede llegar a ser de 296 kW.h por cada tonelada procesada.

En base a los factores antes mencionados, se realizó la tabla 1,6; la cual nos indica el peso otorgado para cada proceso productivo.

Los criterios a, b, c, d, e que se muestran en la tabla 1.6 están descritos al principio de este subcapítulo.

**TABLA 1. 6. TABLA DE DECISIONES EN BASE MÉTODO DE VALORES PONDERADOS PARA LA SELECCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.**

Criterios	Ponderación del criterio %	Reencauchado		Molienda Temperatura ambiente		Temperatura Criogénica	
		Calificación	Total	Calificación	Total	Calificación	Total
a	34,25	5	171	3	103	1	34
b	26,26	4	105	4	105	5	131
c	22,45	2	45	5	112	3	67
d	15,30	4	61	4	61	3	50
e	1,75	5	9	5	9	1	2
<b>TOTAL</b>		<b>391</b>		<b>390</b>		<b>284</b>	

Mediante la ponderación de los criterios mostrados en la tabla 1.4, se desarrolla la tabla 1.6, donde cada calificación de los procesos mostrados están basados a criterios personales del autor, aunque en los párrafos numerados del 1 al 7 antes mencionados, se da una breve descripción de las ventajas y desventajas de cada proceso.

En la tabla 1.6 se demuestra que el proceso de reencauchado tendría similares ventajas respecto al proceso de molienda a temperatura ambiente; aunque es algo ilógico comparar estos procesos ya que los productos terminados son diferentes, estos tienen un fin común que es la reducción de NFU.

El proceso de reencauchado es preferible para la recuperación de los sólidos de los NFU aunque en Ecuador el 80% de los Neumáticos Reencauchados se dan en los del tipo pesado, mientras que el restante 20% se dan en los del tipo liviano (SUV y Pick Up); por otra parte la reducción por medio de la Molienda logra procesar los del tipo liviano en su totalidad así como los neumáticos del tipo pesado una vez que estos hayan tenido su límite de reencauchado (3 a 4 veces).

Mediante el proceso de molienda se lograría obtener un mayor procesamiento de los NFU; aunque si bien los costos son elevados el beneficio ambiental debido a la reducción de desechos también es mayor.

Por lo tanto de los tres procesos mencionados, se selecciona el proceso de ***Molienda a Temperatura Ambiente***; ya que el proceso a temperatura criogénica implicaría costos aún más elevados por el tema del Nitrógeno Líquido, si bien la calidad del producto terminado en este último proceso es elevada; los requerimientos en cuanto a la calidad del granulado o polvo para



las distintas aplicaciones en el mercado (Ecuador) no se justifican.

#### **1.4. Normas Técnicas Aplicables.**

##### **1.4.1. Normas INEN.**

En esta sección se mencionaran tanto las normas INEN como las políticas y reglamentos públicos emitidos por parte de Ministerios a cargo del sector de reciclaje de neumáticos en el país.

##### ***NTE INEN 2096 Neumáticos Aplicación y Definición [3].-***

En esta norma se establecen una serie de definiciones, así como la clasificación de los neumáticos en general. La normativa INEN 2096 indica la clasificación de los neumáticos según su servicio con o sin cámara de aire (tubo); destacan los elementos principales de los neumáticos radiales y convencionales a través de cortes en sección e ilustraciones representativas.

##### ***NTE INEN 2101:98 Neumáticos. Neumáticos para Vehículos. Dimensiones, Cargas y Presiones. Requisitos [5].-***

Aquí se establecen los requisitos dimensionales, cargas y presiones que deben cumplir los neumáticos. Es aplicable en

vehículos para pasajeros y vehículos excepto pasajeros con excepción de bicicletas. Dos de los parámetros de mayor relevancia a tomar en cuenta en este documento y que están representados en esta normativa, son sus dimensiones en cuanto al ancho de sección y diámetro exterior de los neumáticos según su tipo; estos dos parámetros técnicos son requeridos por los fabricantes de equipos de trituración al momento de realizar una cotización de sus máquinas para el proceso productivo de reciclaje [5].

***NTE INEN 2680:2013 Productos Derivados del Petróleo. Asfalto Modificado con Caucho Reciclado. Requisitos e Inspección [15].-***

En esta normativa se establecen los requisitos específicos que debe tener el polvo de caucho reciclado a ser utilizado como ligante en las mezclas Asfalto-Caucho, y que son implementadas en la construcción y mantenimiento de pavimentos [15].

***Acuerdo Ministerial No. 020.-***Abril del 2013.

***Acuerda.- "EXPEDIR EL INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS".***



Este acuerdo tiene por objetivo establecer los requisitos, procedimientos y especificaciones ambientales para la elaboración, aplicación y control del Plan de Gestión Integral de los Neumáticos Usados en el País [16].

**Decreto Ejecutivo 1327.-**Octubre del 2012

Este decreto indica que *"las entidades y organismos de la administración pública central e institucional deberán reencauchar los neumáticos, a partir del rin número 15, utilizados en sus vehículos livianos (tipo suv y pick -up) y de transporte pesado (pasajeros y carga)".* Estas deberán ser Reencauchadas en las empresas que cuenten con el aval del MIPRO [17].

#### **1.4.2. Normas Internacionales.**

En esta sección se describirán algunas de las normativas y manuales más relevantes que se tomaran en cuenta en este proyecto.

***prEN 14243-2004 Post-consumer tyre – Materials and applications [11].-***

Esta normativa Europea se refiere a la producción de materiales a partir de neumáticos fuera de uso, y contiene un apéndice

donde se proporcionan ejemplos de especificaciones técnicas para el uso de los materiales en una serie de aplicaciones.

La norma europea describe los requisitos técnicos mínimos para la designación de las cuatro categorías de materiales producidos a partir de neumáticos post-consumo que servirán para una amplia gama de necesidades industriales. La norma europea se limita a los materiales definidos en este documento que no son actualmente objeto de otros programas del CEN. La norma europea no cubre las prestaciones de funcionamiento o idoneidad para el uso de los materiales y aplicaciones que se consideran ser una función de los acuerdos entre el fabricante y el consumidor [11].

***ASTM D6270 - 08(2012).-Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications [18].***

Esta norma proporciona orientación para ensayo de las propiedades físicas, las consideraciones de diseño, prácticas de construcción, y el potencial de generación de lixiviados de las llantas de desecho triturado o entero en lugar de los materiales de ingeniería civil convencionales, tales como: piedra, grava, tierra, arena, áridos ligeros, u otros materiales de relleno.

***UNE – CEN/TS 14243 EX; Materiales Producidos a partir de Neumáticos fuera de Uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e Impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas [19].***

Mediante esta especificación técnica se proporciona las definiciones para las categorías de los materiales derivados de neumáticos fuera de uso según sus dimensiones o impurezas. Así mismo esta normativa proporciona los métodos de ensayo para determinar las dimensiones e impurezas de los materiales de caucho reciclado a partir de NFU. Es importante saber que esta normativa no cubre los productos derivados a partir de materiales producto de del caucho regenerado o desvulcanizado, polvos con la superficie modificada y los productos de pirolisis [19].

***Guidance Manual for Engineering Uses of Scrap Tires, Sponsored and funded by: Maryland Department of the Environment's Scrap Tire Program.-***

Este manual proporciona una revisión de las regulaciones federales sobre llantas de desecho en Maryland, Estados Unidos.



Se presenta propiedades ingenieriles claves del caucho triturado o entero para aplicaciones de ingeniería civil; y proporciona un análisis de aplicación de TDA en vertederos, muros de contención, sistemas sépticos, y otros proyectos de ingeniería civil. Para cada una de las aplicaciones de síntesis, se analizan las necesidades de material en general y las consideraciones de rendimiento [7].

***National Fire Protection Association (NFPA) "Standard for Storage of Rubber Tires (NFPA 231D)" [NFPA, 1998] [20]***

Esta normativa es aplicada en el almacenamiento de neumáticos nuevos al interior de naves de almacenamiento, en el apéndice C la normativa hace recomendaciones para el almacenamiento de Neumáticos fuera de uso que serán tomadas en cuenta para la distribución de planta [20].

***CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association); "Belt Conveyor for Bulk Material" [21].-***

Mediante este manual indican los parámetros técnicos que se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar un transportador para materiales a granel, así mismo indica las características a tomar

en cuenta para la correcta selección o diseño de los accesorios que forman parte de una banda transportadora [21].

### **1.5. Situación del Mercado Nacional.**

#### ***Generalidades.***

Actualmente el Gobierno por medio del MIPRO impulsa el programa denominado "Reúsa Llantas"; con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental que los Neumáticos Fuera de Uso producen; así como la reducción en salida de divisas debido a la importación de llantas nueva.

El programa "Reúsa Llantas" está centralizado en el reencauche de las llantas para vehículos pesados, ya que reduce los costos en 50% y 60%; mientras una llanta nueva para este sector cuesta aproximadamente USD 600, el reencauchado de la misma esta por los USD 200; lo que representa un ahorro por llanta de USD 400. Una llanta nueva rinde 100 mil kilómetros aproximadamente, siendo el mismo rendimiento el que tiene un neumático luego de ser reencauchado; según el trato que esta haya recibido, una llanta puede reencaucharse cuatro o cinco veces [22].

Para el 2008 la Asociación Internacional de Llantas y Cauchos (INTRA) presento cifras del reencauche de varios países en Sudamérica, dando los siguientes resultados.

**TABLA 1. 7. PORCENTAJES DE REENCAUCHE EN SUDAMÉRICA.**

<b>País</b>	<b>Porcentaje</b>
Ecuador	20%
Perú	30%
Colombia	46%
Brasil	102%
Estados Unidos	100%

**Fuente:** País Productivo Revista del MIPRO 2008[22].

A partir de la instauración en 2010 por parte del MIPRO con el programa “Reúsa Llantas”, se logró incrementar un 30 % el reencauche entre los años 2010 y 2011, de 207 mil se pasó a 280 mil llantas reencauchadas aproximadamente. Para el 2012 se proyectó un incremento de 30% adicional, es decir 84.000 llantas reencauchadas más [22].

Por otra parte y conforme al Decreto Ejecutivo 1327 emitido en el Registro Oficial No. 821 de 31 de octubre de 2012, “se dispone que todas las entidades y organismos de la administración central e

institucional, deben reencauchar los neumáticos utilizados en vehículos livianos a partir del rin quince y en las unidades de transporte pesado, para lo cual utilizarán exclusivamente los servicios de empresas reencauchadoras registradas en el Ministerio de Industrias y Productividad" [17]; al mencionar los neumáticos del rin quince en forma general son los utilizados en vehículos tipo SUV y Pick Up.

Conforme a la gestión de los Neumáticos Fuera de Uso el Ministerio del Ambiente y por medio del Acuerdo Ministerial 20, publicado en el Registro Oficial 937, expidió el "Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados", en el mismo que tiene como objetivo principal: "Establecer los requisitos, procedimientos y especificaciones ambientales para la elaboración, aplicación y control del plan de gestión Integral de los neumáticos Usados, a fin de fomentar la reducción, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización, con la finalidad de proteger el ambiente" [16].

A través de este nuevo plan estratégico toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que participen en la distribución, fabricantes, e importación de neumáticos; deberán contar con un plan para el manejo final de los neumáticos luego de su vida útil.

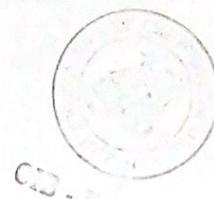
Para el presente proyecto y conforme al Acuerdo Ministerial 020 en la "SECCIÓN IV DEL SISTEMA DE ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL", nuestra situación se vería reflejada por este punto; en el cual se menciona que toda persona que realice las funciones de eliminación de neumáticos usados deberá contar con la autorización ambiental otorgada por la Autoridad Ambiental competente. Así mismo hace mención de que todo proceso para el tratamiento de neumáticos fuera de uso deberá basarse en las Normativas Técnicas Ecuatorianas INEN y la normativa Ambiental aplicable.

El plan de gestión mencionado propone metas a cumplir en cuanto a la recolección de los neumáticos fuera de uso, la meta mínima para el primer año sería de 20% del total de neumáticos puestos en el mercado, con un incremento anual de un 10% hasta alcanzar el 100% del total del plan, teniendo como mínimo un 85% de los neumáticos en el mercado.

#### *Neumáticos en el Ecuador.*

#### ***Parque vehicular nacional.***

El sector de automotores que entrarían en la categoría de livianos en todo el país abarca el 88,7% del total de vehículos hasta el 2012, mientras que los buses y camiones tienen un porcentaje de participación del 11,3%. Ver anexo B. El parque nacional automotor hasta el 2012 consta con 1.952.163 vehículos, con una participación del



32% Pichincha, el 25% Guayas y 7% Azuay, estas tres provincias conforman aproximadamente el 64% del parque automotor nacional. En la tabla 1.9 se representa el porcentaje de participación que tienen las tres provincias en el parque automotor nacional, según el tipo de vehículo. Se puede observar claramente que la mayoría de los automotores se ven acentuados en estas tres provincias. Para las tres Provincias en mención, se estima el porcentaje de participación en el mercado nacional, dependiendo del tipo de vehículo, sea este categorizados como liviano (Automóvil, camiones, SUV y VAN) y pesados (bus y camión). Ver tabla 1.8.

**TABLA 1. 8. DISTRIBUCIÓN DE AUTOMOTORES EN LAS 3 PROVINCIAS MÁS REPRESENTATIVAS; 2012**

<b>GUAYAS</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>%</b>
<b>Livianos</b>	443.199	26%
<b>Pesados</b>	48.264	22%
<b>Total.</b>	491.463	25%
<b>PICHINCHA</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>%</b>
<b>Livianos</b>	567.707	33%
<b>Pesados</b>	54.263	25%
<b>Total.</b>	621.970	32%
<b>AZUAY</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Unidades</b>	<b>%</b>
<b>Livianos</b>	128.334	7%
<b>Pesados</b>	14.269	6%
<b>Total.</b>	142.603	7%

Fuente: Autor.

TABLA 1.9. PARQUE AUTOMOTOR DE AZUAY, GUAYAS Y PICHINCHA; 2012

PROVINCIA	AUTOMÓVIL	BUS	CAMIÓN	CAMIONETA	SUV	VAN	PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN POR PROVINCIA
AZUAY	55.651	1.948	12.321	39.255	31.267	2.161	7,3%
GUAYAS	243.588	4.808	43.456	113.717	76.868	9.026	25,2%
PICHINCHA	286.637	8.232	46.031	132.954	136.584	11.532	31,9%
TOTAL 3 PROVINCIAS	585.876	14.988	101.808	285.926	244.719	22.719	64,3%
TOTAL GENERAL	843.603	28.875	192.047	516.926	339.985	30.727	-----

Fuente: Anuario 2012 AEADE

El aumento anual del parque automotriz a Nivel Nacional durante los últimos 5 años, refleja el aumento de los neumáticos fuera de uso que se podrían reciclar anualmente. El aumento porcentual desde el año 2009 hasta el 2013 se puede observar en la tabla 1.10.

**TABLA 1.10. PARQUE AUTOMOTOR DE LOS ULTIMOS 5 AÑOS**

<b>Año</b>	<b>Parque Automotor</b>	<b>Incremento anual</b>
2009	1.597.324	—
2010	1.690.088	5,49%
2011	1.830.717	7,68%
2012	1.952.163	6,22%
2013	2.065.975	5,51%

Fuente: AEADE. Anuarios 2009 al 2013

La tabla 1.10 indica que en promedio el parque automotor aumento un 6% anual en los 5 años de estudio.

#### ***Neumáticos en el Ecuador.***

Para la estimación de los neumáticos en Ecuador se tomaran en cuenta los siguientes factores.

- Parque automotor nacional.
- Estimaciones por parte del MIPRO
- Estimaciones de Neumáticos Desechados según INVEC
- Numero de neumáticos promedio según el tipo de automotor.

- Peso de los neumáticos según su tipo.

En la tabla 1.11 se estima los neumáticos en uso en Ecuador tomando en cuenta el parque automotor nacional 2012. Para el mismo año en las dos provincias con mayor participación en el parque automotor se estiman los neumáticos en uso, como se puede ver en tabla 1.12.

A partir del Decreto Ejecutivo 1327 [17], y tomando en cuenta el anuario de transporte desarrollado por el INEC para el mismo año, se podrá estimar el número de neumáticos que hubiesen sido reencauchados si el decreto se lo emitía un año atrás. En las tablas 1.13 y 1.14 se muestran el número de llantas rodando y que pueden ser recicladas o bien formar parte del programa de reencauche.

Tomando en cuenta los estudios realizados por INVEC (Corporación para la Promoción Proactiva de Inversiones), la cual indica que en Ecuador se desechan aproximadamente 55 mil toneladas de neumáticos en un año (2011) [24]; se estima que para el 2012 con un crecimiento del mercado automotriz de aproximadamente 5% se tendría 57 mil toneladas de neumáticos desechados aproximadamente. Para obtener aproximadamente 57 mil toneladas de llantas desechadas, del total de neumáticos rodando y que pueden ser reciclados a nivel nacional (8.195.556) como se puede observar en la tabla 1.14, para el



año de estudio se desecharían un total de 3.150.000 neumáticos, es decir un 38% del total de neumáticos rodando en un año (2012). En la tabla 1.15 se puede observar a más detalle lo antes mencionado.

Por otra parte el MIPRO estimo que para el 2012 se reencaucharían 364.000 neumáticos, y según este documento para el mismo año y mediante el decreto ejecutivo 1327 [17], se hubiesen podido reencauchar 54.940 neumáticos, lo cual difiere en un 85%.

Esto se debe a que en el presente proyecto no se tomaron en cuenta los valores de reencauchado que puede darse en el sector privado del parque automotor. Por lo tanto y para tener una mejor estimación de los NFU a nivel nacional tomaremos en cuenta las estimaciones realizadas por el MIPRO. Así mismo para la provincia del Guayas con un porcentaje de participación en el parque automotor del 25%, se estima que existirían 91.000 neumáticos reencauchados para el año 2012. Según el MIPRO el 80% de los neumáticos reencauchados es de camiones y buses, es decir en el sector automotor pesado

TABLA 1.11. ESTIMACIÓN DE LLANTAS EN USO EN ECUADOR PARA EL 2012

	Automóvil	Bus	Camión	Camioneta	Suv	Van	Total
Parque automotor 2012 *	843.603	28.875	192.047	516.926	339.985	30.727	1.952.163
Promedio llantas por tipo de automotor	4	6	6	4	4	4	-----
Subtotal de llantas en el país	3.374.412	173.250	1.152.282	2.067.704	1.359.940	122.908	8.250.496

Fuente: Autor;  
\*AEADE Anuario 2012.

TABLA 1. 12. ESTIMACIÓN DE LLANTAS EN USO EN 2012 EN GUAYAS Y PICHINCHA

	Automóvil	Bus	Camión	Camioneta	Suv	Van	Total de llantas
Parque automotor guayas*	243.588	4.808	43.456	113.717	76.868	9.026	-----
Parque automotor pichincha*	286.637	8.232	46.031	132.954	136.584	11.532	-----
Llantas en guayas	974.352	28.848	260.736	454.868	307.472	36.104	2.062.380
Llantas en pichincha	1.146.548	49.392	276.186	531.816	546.336	46.128	2.596.406

Fuente. Autor.  
\*AEADE, Anuario 2012

**TABLA 1. 13. AUTOMOTORES DEL ESTADO A SER CONSIDERADOS EN EL PLAN DE REENCAUCHADO EN GUAYAS Y A NIVEL NACIONAL TOMANDO EN CUENTA EL PARQUE AUTOMOTOR 2012.**

Descripción / tipo de automotor	Automóvil	Bus	Camión	Camioneta	Suv	Van	Total.
Vehículos del estado a ser tomados en cuenta para el plan de reencauche a nivel nacional [23].*	-----	536	2.026	9.436	456	-----	12.454
Vehículos del estado en guayas (15%), a ser tomados en cuenta en el plan de reencauche	-----	80,4	303,9	1415,4	68,4	-----	1.868
Vehículos a nivel nacional menos vehículos del estado tomados en cuenta para el plan de reencauchado	843.603	28.339	190.021	507.490	339.529	30.727	1.939.709
Vehículos de guayas menos vehículos del estado tomados en cuenta para el plan de reencauchado	243.588	4.728	43.152	112.302	76.800	9.026	489.595

TABLA 1.14. ESTIMACIÓN DE NFU QUE PUEDEN SER RECICLADOS EN GUAYAS Y A NIVEL NACIONAL.

<i>Descripción</i>	<i>Tipo de Automotor</i>						<i>Total.</i>
	<i>Automóvil</i>	<i>Bus</i>	<i>Camión</i>	<i>Camioneta</i>	<i>Suv</i>	<i>Van</i>	
Neumáticos a ser reencauchados a nivel nacional (DE 1327)*	---	3216	12156	37744	1824	----	54.940
Neumáticos a ser reencauchados en guayas (DE 1327)*	-----	482,4	1823,4	5661,6	273,6	----	8.241
Numero de llantas rodando y que pueden ser recicladas a nivel nacional.	3.374.412	170.034	1.140.126	2.029.960	1.358.116	122.908	8.195.556
Numero de llantas rodando y que pueden ser recicladas en guayas	974.352	28.366	258.913	449.206	307.198	36.104	2.054.139

Fuente. Autor

\*DE 1327.- Decreto Ejecutivo 132

**TABLA 1.15. NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN UN AÑO (2012), SEGÚN SU TIPO**

Descripción	Tipo de Automotores						TOTAL.
	AUTOMÓVIL	BUS	CAMIÓN	CAMIONETA	SUV	VAN	
Numero de llantas rodando y que pueden ser recicladas a nivel nacional.	3.374.412	170.034	1.140.126	2.029.960	1.358.116	122.908	8.195.556
Numero de llantas rodando y que pueden ser recicladas en guayas	974.352	28.366	258.913	449.206	307.198	36.104	2.054.139
<b>Neumáticos fuera de uso en un año 2012 ecuador (38%)*</b>	<b>1.296.971</b>	<b>65.353</b>	<b>438.213</b>	<b>780.225</b>	<b>521.998</b>	<b>47.240</b>	<b>3.150.000</b>
<b>Neumáticos fuera de uso en un año. 2012 guayas (38%)*</b>	<b>374.497</b>	<b>10.902</b>	<b>99.514</b>	<b>172.655</b>	<b>118.073</b>	<b>13.877</b>	<b>789.518</b>

Fuente: Autor

*\*Los neumáticos desechados a nivel Nacional, representan el 38% del total de neumáticos rodando en un año. (2012).*

*NOTA: En la tabla 1.15 falta el análisis del proyecto de Reencauchado.*

*La verificación de las 57 mil toneladas de neumáticos desechados se muestra en la tabla 1.17.*

En la tabla 1.16 se muestra el total de NFU, tomando en cuenta los 364 mil neumáticos reencauchados para el 2012. En la tabla se muestra un total de 309.060, esto se debe a la diferencia entre los 364 mil y los 54.940 neumáticos reencauchados estimados a partir del Decreto Ejecutivo 1327 y que ya fueron tomados en cuenta en la tabla 1.14.

**TABLA 1.16. NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN UN AÑO (2012),  
TOMANDO EN CUENTA LOS 364 MIL NEUMÁTICOS REENCAUCHADOS  
ESTIMADOS POR EL MIPRO**

DESCRIPCIÓN	Livianos	Pesados	Total
Neumáticos reencauchados según estimaciones del MIPRO para el 2012 (Ecuador)	61.812	24.7248	309.060
Neumáticos reencauchados según estimaciones del MIPRO para el 2012 (Guayas 25%)	15.453	61.812	77.265
Neumáticos desechados en un año. 2012 Ecuador *	2.646.434	503.566	3.150.000
Neumáticos desechados en un año 2012 Guayas *	679.101	110.417	789.518
<b>NFU menos neumáticos reencauchados a nivel nacional en 2012</b>	<b>2.584.622</b>	<b>256.318</b>	<b>2.840.940</b>
<b>NFU menos neumáticos reencauchados en guayas en 2012</b>	<b>663.648</b>	<b>48.605</b>	<b>712.253</b>

Fuente: Autor

\*Datos de la tabla 1.15

Se estima que en un año (2012) se pueda reciclar **2.840.940** neumáticos, de los cuales el 90% pertenecen al sector de vehículos livianos, mientras que el restante 10% corresponde al parque automotor del tipo pesado. Para la Provincia del Guayas con un porcentaje de participación del 25% del sector automotriz nacional, se estima que en un año el número de neumáticos fuera de uso sea aproximadamente de **712.253**.

En la tabla 1.17 se estima las toneladas de neumáticos fuera de uso que pueden ser reciclados en un año a nivel Nacional y en la Provincia del Guayas. Tomando en cuenta que una llanta para automóviles tiene un peso aproximado de 9,9 kg., mientras que los neumáticos de automotores tipo pesado tienen un peso aproximado 52,7 kg. Así mismo se verifican las 57 mil toneladas que según el INVEC se desechan en un año, de las cuales un porcentaje está destinado al reencauche. En la misma tabla se puede observar que el total de NFU mas las toneladas recuperadas por parte del programa de reencauchado (18,229 t.) a nivel nacional, es de 57,325 toneladas, lo cual concuerda con las estimaciones realizadas por el INVEC [24].

Otra forma de justificar los resultados de la tabla 1,17, es mediante las estimaciones dadas por el MIPRO para el año 2012. En uno de sus

estudios el MIPRO indica que para dicho año en estudio se reencaucharían el 30% del total de neumáticos desechados; en los resultados de la tabla 1.17 se estima que 18,229 toneladas son recuperadas gracias al plan de reencauche, lo cual representa el 32% del total de desechos (18.229 t/año); es decir las estimaciones dadas por el MIPRO, INVEC y las del presente proyecto son congruentes.

**TABLA 1.17. TONELADAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO SEGÚN EL PARQUE AUTOMOTOR 2012, A NIVEL NACIONAL Y GUAYAS.**

Descripción	Livianos	Pesados	Total
Unidades de NFU a nivel nacional en un año	2.584.622	256.318	2.840.940
Unidades de NFU en guayas en un año	663.648	48.605	712.253
<i>Peso promedio de NFU (kg)</i>	9,9	52,7	—
<b>TONELADAS PROMEDIO DE NFU EN UN AÑO (2012) ECUADOR</b>	<b>25.588</b>	<b>13.508</b>	<b>39.096</b>
<b>TONELADAS PROMEDIO DE NFU EN UN AÑO (2012) EN GUAYAS</b>	<b>6.570</b>	<b>2.561</b>	<b>9.132</b>
<i>TONELADAS PROMEDIO RECUPERADAS POR REENCAUCHAR A NIVEL NACIONAL (364 MIL NEUMATICOS)</i>	<i>2.883</i>	<i>15.346</i>	<i>18.229</i>
<b>TOTAL DESECHADO MAS REENCAUCHADO A NIVEL NACIONAL</b>			<b>57.325</b>

Fuente.- Autor.

Como se mencionó anteriormente los neumáticos reencauchados y que representan aproximadamente el 80% de reencauchados son los del tipo pesado, es decir los que se utilizan generalmente en camiones y buses. La mayor demanda de neumáticos del tipo pesado son los de aro 20 y aro 22.5 [10]; donde el diámetro exterior máximo es aproximadamente 1.125 y 1.135 mm respectivamente según la norma INEN 2101 [5]. *Estos valores nos indican el diámetro máximo que el triturador principal debe procesar.*

#### **Caucho reciclado a partir de NFU.**

Debido a la falta de Normativas Nacionales para los productos a partir de caucho reciclado, así como la falta de Planes de Gestión Ambiental para el tratamiento de los neumáticos desechados; en la actualidad no existen plantas industriales de gran magnitud para el procesamiento de los neumáticos desechados en nuestro País; por lo tanto no existiría una competencia directa en la producción de cauchos reciclado a partir de NFU; la gran mayoría de empresas dedicadas a este tipo de producción son del tipo artesanal, así como Gestores Ambientales dedicados no solamente a la recolección de neumáticos, sino también a otro tipo de desechos como: vidrio, papel, plásticos, etc.

Para la implementación de una planta de este tipo, se requieren de inversiones entre 1 y 3 millones de dólares; lo que dependerá de la procedencia así como de la capacidad instalada de los equipos de producción; al mencionar estos capitales de trabajo no resulta atractivos para un inversionista privado, por lo cual se esperaría que los Gobiernos Locales tengan una intervención ya sea parcial o total. En sí y para mantener claro el objetivo de este proyecto, se realizara un diseño el cual sea el más apto para la situación actual del mercado.

En la ciudad de Guayaquil existe una empresa pequeña para el procesamiento de NFU, que en primera instancia fabrica **“Polvo de Caucho”**, la materia prima que utilizó “Aliboc S.A.” fueron los neumáticos procedente de las Islas Galápagos, que para Agosto del 2012 fueron cerca de 10.000 neumáticos, entregados por el Ministerio del Ambiente. El producto terminado será utilizado para la creación de pisos sintéticos y canchas artificiales [25].

En la ciudad de Quito existe una empresa pequeña aunque innovadora, denominada como “Fui Reciclado”; sus actividades empezaron en el 2008 y hasta ahora ha procesado 1.207 kilogramos de caucho de llantas, para la producción de artículos como mochilas, billeteras y de más accesorios. [25]

Debido a que los Neumáticos Fuera de Uso, según la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente; son estos desechos categorizados como especiales, estos deberán tener un tratamiento adecuado. El procedimiento a seguir para el tratamiento de los NFU no es del todo claro en Ecuador, aunque a partir del Acuerdo Ministerial No 20 se acuerda "EXPEDIR EL INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS"; se indican ciertas recomendaciones que serán tomadas en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

El precio FOB aproximado de gránulos entre 2.5 y 3.5 mm en Chile es de aproximadamente \$0,41 el kilogramo, mientras que en China el precio FOB es de aproximadamente \$0.38 el kilogramo de caucho reciclado con una granulometría entre 2 y 3mm. El polvo de caucho con granulometrías menores a 1 mm. Tienen un precio FOB \$0.40 el kilogramo.

### **Precio de la materia prima**

Actualmente en el país no se ha establecido un precio a los neumáticos fuera de uso, pero si bien estos son un desecho del cual los centros de ventas de llantas, talleres, vulcanizadoras, entre otras se quisieran

deshacer debido al gran volumen que estas ocupan y debido al foco infección que estas pudiese provocar. Se espera que las autoridades gubernamentales mediante el plan de gestión de los neumáticos fuera de uso expedido mediante el Acuerdo Ministerial no.20 contemplen de leyes en los que se refleje el costo aproximado que pudiese tener los neumáticos según su tipos o según sea su peso; para fines de este proyecto se tomara como referencia el promedio de costos dados por una serie de estudios realizados por algunas universidades.

**TABLA 1. 18. PRECIO PROMEDIO DE NFU SEGÚN SU TIPO**

Tipo de Neumáticos	Valor unitario promedio*
Neumáticos para carros livianos hasta RIM 15	\$ 0,335
Neumáticos para Automotores pesados	\$ 1,45

**Fuente:** Autor.

*\*Factibilidad técnica y económica para la Implementación de una planta de reciclaje de Llantas [26] y Elaboración de un proyecto para la creación de una planta de Reciclado de neumáticos. [27].*

### **1.6. Justificación del Proyecto.**

En Ecuador existe un déficit de reciclado de neumáticos, que abarca cerca del 70% del total de neumáticos desechados anualmente, este déficit no toma en cuenta los depósitos históricos.

Es muy claro que para la captación de cierto porcentaje de neumáticos desechados, se deberán realizar planes de Gestión Adecuados ya sea por parte del estado o por entidades privadas, en todo caso y sabiendo que este proyecto toma en cuenta el proceso productivo, los planes de gestión estarían fuera del alcance, de este documento.

El desarrollo de este tipo de Proyectos, depende de algunos parámetros y ventajas que se listan a continuación.

1. Beneficios Ambientales.
2. Disminución en salida de divisas.
3. Aporte social.
4. Aporte Industrial e innovador.
5. En el mejor de los casos el producto puede ser exportado.

Según el INIAP, la demanda interna de caucho en Ecuador es de aproximadamente **15.000 toneladas métricas**, donde la producción nacional es de aproximadamente 5 a 6 mil toneladas; es decir que se está produciendo únicamente el 30% mientras que el 70% es importado. Este es otro punto a favor para el desarrollo de proyectos que forman parte del reciclaje del caucho.

En cuanto a la **SALIDA DE DIVISAS** como parte de la importación de caucho ya sea natural y sintético durante el año 20013, según el Banco Central de Ecuador se registraron las cifras indicadas en la tabla 1.19.

**TABLA 1.19. IMPORTACIÓN Y EXPORTACIONES DE CAUCHO EN EL 2013.**

<b>IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE CAUCHO NATURAL Y SINTÉTICO AÑO 2013</b>			
<b>NANDINA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PESO (t)</b>	<b>FOB (MILES USD)</b>
<b>IMPORTACIONES AÑO 2013</b>			
4001000000	Caucho natural, balata, gutapercha, guayule, chicle y gomas naturales análogas, en formas primarias o en placas, hojas o tiras.	5.084,00	14.198,17
4002000000	Caucho sintético y facticio derivado de los aceites, en formas primarias o en placas, hojas o tiras; mezclas de productos de la partida 40.01 con los de estas partidas en formas primarias o en placas, hojas o tiras	8.310,29	21.390,56
<b>EXPORTACIONES AÑO 2013</b>			
4001000000	Caucho natural, balata, gutapercha, guayule, chicle y gomas naturales análogas, en formas primarias o en placas, hojas o tiras.	1.147,27	2.682,22
4002000000	Caucho sintético y facticio derivado de los aceites, en formas primarias o en placas, hojas o tiras; mezclas de productos de la partida 40.01 con los de estas partidas en formas primarias o en placas, hojas o tiras	52,86	163,10

Fuente: BCE (Banco Central del Ecuador)

Según el portal del Banco Central de Ecuador los últimos 4 años se han importado 107 toneladas de **CAUCHO GRANULADO REAGLOMERADO** (sub-partida 4001292000).

En cuanto al polvo de caucho denominado como "**DESECHOS, DESPERDICIOS Y RECORTES, DE CAUCHO SIN ENDURECER, INCLUSO EN POLVO O G**" (sub-partida 4004000000) para los últimos 4 años registra importaciones de alrededor de 2.830 toneladas y en cuanto a las exportaciones de este, se registra un total de 510 toneladas.

Esto representa un factor relevante para la justificación del proyecto, ya que por importaciones de cauchos solamente natural y sintético en un año (2013) existe una salida de divisas de aproximadamente 35,5 millones USD.

En cuanto al **APORTE SOCIAL** que se logre obtener por la ejecución de este tipo de proyectos, se daría empleo a un cierto número de personas aunque el proyecto sea relativamente pequeño, este influenciaría directamente en las remesas que podría obtener un grupo familiar. De esta misma forma en la actualidad el empleador está en la obligación de asegurar a sus empleados; aquí se ve reflejada otra ventaja ya que a partir del seguro básico (IESS) otorgado por el

empleador, no solamente el empleado toma ventaja de los beneficios en cuanto a la salud aportados por dicha entidad, si no que su grupo familiar (hijos menores de edad) también formarían parte de los beneficios.

***Aporte Industrial e innovador.-***

En la actualidad la serie de aplicaciones industriales que tiene el caucho reciclado a partir de neumáticos fuera de uso está acaparando la atención tanto del sector público como del privado; ya que no solamente a partir de este proceso se otorgan un serie de beneficios ambientales al País, si no que le permite reducir la salida de divisas gracias a la no importación de elementos como por ejemplo; combustibles alternativos para la industria cementera, gránulos de caucho para la creación de canchas sintéticas, así como para la producción de pistas atléticas, adoquines; entre otros.

La utilización de los NFU se los puede subdividir en 2 grandes grupos según su valorización; como:

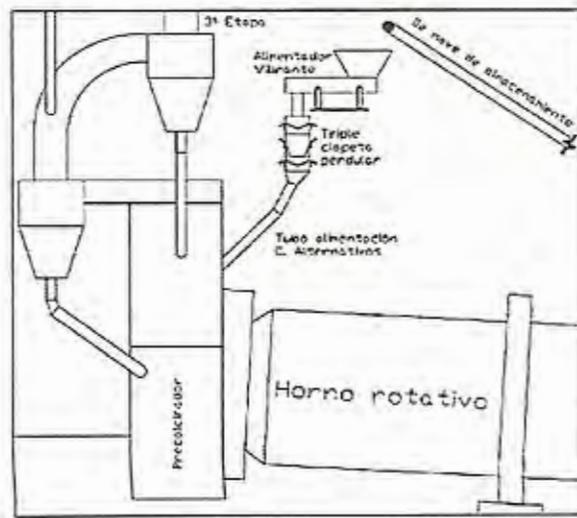
- Valorización energética.
- Valorización material.

**La valorización energética de los neumáticos**, que principalmente es destinada a la combustión en hornos de Clinker, es uno de los objetivos para el aprovechamiento de los neumáticos en desuso en Ecuador.

Varios estudios revelan que los NFU ya sea enteros o troceados pueden formar parte de los combustibles que se queman al interior de los hornos para producción de Clinker; se estima que este elemento puede llegar a sustituir hasta el 20% de los combustibles totales quemados, dependiendo del tipo de horno. Así mismo los estudios realizados revelan que por la combustión de los NFU, estos no afectan al proceso de cocción ni a la calidad del Clinker [28]. De esta forma le permite a la industria cementera ahorrar en combustibles fósiles no renovables y contribuir a la gestión de NFU. A manera de referencia se estima que 1 tonelada de NFU puede sustituir 0,7 toneladas de fuel; así mismo se estima que se queman 130 kg de carbón por cada tonelada de Clinker.

La forma de ingreso de los NFU ya sea enteros o troceados, así como la eliminación del acero, dependerá en gran medida de la tecnología con la que se cuente en las plantas Cementeras, mas puntualmente en los hornos de Clinker o en los pre calcinadores para el proceso de clinkerización, el esquema de la figura 1.4 indica el sistema de

alimentación de los combustibles alternativos en el proceso de producción de Clinker.



**Figura 1. 7.** Esquema del Sistema de Inyección en el Precalcinador de Clinker [29]

El porqué de la sustitución de combustibles convencionales por NFU se ve relacionada directamente con el poder calorífico de los mismos, mientras que el Coque (combustible convencional) aporta con un poder calorífico de 29,3 MJ/kg; los neumáticos tienen un poder calorífico entre 34 y 39 MJ/kg (8.120 kcal/kg – 9.314 kcal/kg) [6].

El poder calórico y de cenizas de los NFU utilizado como combustible puede variar dependiendo del porcentaje de acero contenidos en los neumáticos, así como de las dimensiones del NFU ya sea estos enteros, troceado o en forma de polvo. Así mismo las dimensiones del residuo de neumáticos para su valorización energética en sus tres presentaciones tiene sus ventajas y desventajas, a continuación se indicara las más relevantes [28].

- El poder calorífico del polvo de neumático es similar al del Fuel, aunque su costo es mayor que el propio combustible convencional.
- El coste de implementación de neumáticos troceados al proceso en la combustión es aproximadamente la mitad que la utilizada para la implementación de neumáticos enteros.
- El tamaño adecuado para la implementación de trozos de neumático al proceso de combustión oscila entre 50x50 mm a 300x300 mm; se sabe que en la Unión Europea se suministran trozos de 100x100 en las respectivas plantas que utilizan los NFU como combustible alternativo.

Un estudio realizado por los laboratorios LBEIN [9] revela que las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO debido a la combustión en hornos de Clinker, se ve disminuida con el reemplazo de combustibles fósiles en este caso COKE, por Neumáticos troceados. En la tabla 1.20 se puede observar

las emisiones en una planta cementera ubicada en el Reino Unido, donde se compara las emisiones por la quema de Carbón y Coque respecto a las emitidas con el reemplazo de 15% de dichos combustibles convencionales.

**TABLA 1.20: EMISIONES MEDIDAS DE LA COMBUSTIÓN DE PRUEBA DE NEUMÁTICOS EN UN HORNO DE CEMENTO EN EL REINO UNIDO**

CONTAMINANTE	COMBUSTIBLES FÓSILES (carbón y coque)	Combustibles fósiles y 15% de Neumáticos
Partículas mg/m <sup>3</sup>	60	60
mg/m <sup>3</sup> de NOx	1180	800
mg/m <sup>3</sup> de SOx	500	500
mg/m <sup>3</sup> de COx	985	948
mg/m <sup>3</sup> de cloro y flúor	1,13	1
mg/m <sup>3</sup> de VOC	129	68
mg/m <sup>3</sup> de dioxinas	0,12	0,03

**Fuente:** Aprovechamiento energético de neumáticos usados en la Industria Cementera Europea [28].

Cabe recalcar que algunos factores que afectan directamente al porcentaje de emisiones hacia el medio ambiente dependerán en gran parte de las materias primas utilizadas, del diseño de la planta, de la antigüedad, de los combustibles utilizados, entre otros.

Como se mencionó en párrafos anteriores el porcentaje de reemplazo de los combustibles fósiles por combustibles alternativos es de aproximadamente 20% del total de combustibles quemados; tomando como referencia que un horno de 4,6 m de diámetro por 74 m. de longitud tiene un consumo específico de calor de 843 Kcal/Kg. Clinker; donde el proceso de producción del Clinker es por vía seca [30].

*Se estima la relación entre las toneladas de neumáticos usados como combustible alternativo en relación con la producción en toneladas de Clinker, como se indica a continuación.*

$$\frac{\text{kg NFU}}{\text{t Clinker}} = 843.000 \frac{\text{kcal}}{\text{t clinker}} * \frac{0,2}{8.717 \frac{\text{kcal}}{\text{kg NFU}}} = 19,3$$

*Es decir que con una sustitución del 20% del total de combustible en los hornos de Clinker se podría utilizar aproximadamente 20 kg de NFU por cada tonelada de Clinker.*

En Ecuador existen 4 empresas que fabrican cemento las cuales son; Holcim Ecuador S.A. ubicada en Guayaquil y Latacunga, Lafarge Cementos S.A. ubicada en Otavalo; Industrias Guapán S.A. ubicada en Azogues y Cementos Chimborazo con sede en Riobamba. Holcim es el mayor productor de cemento en el Ecuador con aproximadamente el

66% de la producción Nacional [31], seguida de Cementos Lafarge con aproximadamente 19% de participación, cementos Guapán 9% y Cementos Chimborazo representa el 6% de la producción a Nivel Nacional.

Tomando en cuenta que la planta de producción de Clinker ubicada en Guayaquil receptoría caucho reciclado para uso como combustible alternativo, por otro lado fuentes externas indican que la planta cuenta con dos hornos cada uno con una producción de Clinker de 3.000 toneladas al día; podremos estimar el consumo máximo de caucho reciclado con un reemplazo del 20% del combustible convencional.

Con 6.000 toneladas de Clinker al día, y sabiendo que se pueden utilizar 20kg de caucho por cada tonelada de Clinker producido, entonces al día se tendría un consumo de aproximadamente 120 toneladas de caucho; esto representa aproximadamente 44.000 toneladas de caucho al año.

Otra forma de justificar la producción de caucho para valorización energética en los hornos de Clinker, son los precios de los combustibles convencionales comparados con el precio de caucho reciclado producido.

**El Coque de petróleo** tiene un precio en el mercado internacional de 285 – 300 USD/t., con un contenido de azufre entre 2 y 4 % [32]. Tomando en cuenta que el poder calorífico es de aproximadamente 34.2 MJ/kg (tabla 3.2); el precio es de 0.0085 USD/MJ.

**Otro combustible convencional en las cementeras es el Bunker**, el precio del Bunker IFO380 (Aceite Combustible intermedio con una viscosidad máxima de 380 centistoke y un contenido de azufre menor a 3.5%; tiene un precio de 533.50 USD/t. [33]; mientras que el poder calorífico es de 39,7 MJ/kg; lo que equivale a un precio de 0.012 USD/MJ.

**El Carbón tipo antracitas** en el mercado colombiano tiene un precio de exportación de para el 2013 de 408 USD/t. [34]. De la tabla 3.2 tenemos que el poder calorífico de antracitas es de aproximadamente 34.2 MJ/kg; lo que equivale tener un precio de 0.011 USD/MJ.; mientras que el carbón tipo Hullas Térmicas tiene un precio de 0.027 USD/MJ.

Bajo un análisis económico se estima que el precio de venta de **caucho reciclado** en forma de trozos con una granulometría de 20 mm, de tal forma que el proyecto sea rentable es de 400 USD/t; tomando en cuenta

que el poder calorífico es de aproximadamente 39 MJ/kg; el precio del caucho triturado es de 0.011 USD/MJ.

Esto significa que el caucho reciclado (0.011 USD/MJ) tiene un costo similar al de coque de petróleo (0.0085 USD/MJ), y menor a combustibles como el Bunker y Carbón, mencionados en este documento.

### **Valorización material**

Tomando en cuenta que el mayor mercado de aplicación de los NFU en el ámbito de valorización material, son como relleno en superficies deportivas, el más demandado es el producido por métodos mecánicos; ya que este difiere en precio del producido por método criogénico en aproximadamente el 50% menos. A continuación se mencionan las aplicaciones de mayor realce para el caucho reciclado denominado como "Crumb Rubber", según su granulometría.

Estudios realizados en campos de hierba artificial recomiendan que se utilice entre 11 y 12 kg/m<sup>2</sup> de caucho, esto amortigua las caídas y da flexibilidad a las canchas de fútbol [35]. La tendencia en Guayaquil es la construcción de canchas sintéticas con dimensiones de 25 x 45m lo que representa aproximadamente un consumo de 13 toneladas de

caucho granulado; y solamente en el norte de la Ciudad de Guayaquil existen alrededor de 20 canchas [36].

**TABLA 1.21: APLICACIONES DEL CAUCHO RECUPERADO DE LOS NFU'S EN ESPAÑA EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA.**

APLICACIONES	GRANULOMETRÍA (mm)	%
Campos de hierba artificial.	0,5 - 2,0	60
Bases elásticas en pavimentos deportivos.	1,5 - 5,0	13
Suelos de Seguridad	1,5 - 4,0	11
Industria del Caucho y Asfaltos modificados	0,0 - 0,4	6
Pistas de atletismo	1,5 - 4,0	5
Aislamiento acústico y contra el ruido.	0,5 - 1,5	3
Pavimentos Multiuso	1,5 - 4,0	1

**Fuente:** Datos del IIPNFU. Ministerio de Medio Ambiente. España, 2008.

La tabla 1,21 nos indica el porcentaje de utilización del caucho reciclado según su aplicación en España para el 2008, en Ecuador a mayoría de las aplicaciones son del tipo artesanal, esto se debe en gran parte a la falta de Normativas y reglamentos para el uso final del caucho reciclado; aunque la normativa INEN 2680 [15] indica los requisitos del caucho en forma de polvo para su aplicación en asfaltos modificados; experiencias en los Estados Unidos revelan que el caucho puede formar parte de la

capa selladora del asfalto así como formar parte del árido denominado como hormigón de asfalto modificado con caucho; utilizándose hasta 1000 neumáticos por kilómetro en capas selladoras en vías de dos carriles y entre 4500 y 7500 neumáticos cuando el caucho es utilizado como árido por cada kilómetro de carretera [37]. Se estima que en Ecuador se podrían utilizar cerca de 8.000 toneladas de polvo de caucho para la pavimentación de las carreteras [38].

La utilización de polvo de caucho mezclado con los ligantes del asfalto, proporciona ventajas tales como:

- La impermeabilización de la superficie mejora
- Disminución del ruido.
- Reducción de la fragilidad al agrietamiento.
- Aumento de la resistencia mecánica (70% mayor).
- El ligante de polvo de caucho con el asfalto eleva en punto de reblandecimiento.

### **1.7. Influencias sobre el Medio Ambiente.**

Los neumáticos fuera de uso no representan un peligro inmediato pero a largo plazo la acumulación del mismo puede causar serios problemas al momento de eliminarlos, así mismo la acumulación de estos no

permite un aprovechamiento, tanto energético ni como materia prima para la producción de otros elementos.

Debido las propiedades no degradables de los NFU, si se esperaría que de manera natural estos sean eliminados, se tardaría aproximadamente unos 500 años en suceder la degradación del mismo, el caucho vulcanizado ha sido desarrollado de tal forma que no exista una degradación natural cuando estos estén en uso; por esto y más, se puede considerar al caucho vulcanizado como un material XENOBIOTICO.

*Entiéndase por XENOBIOTICO como la palabra derivada del griego xeno ('extraño') y bio ('vida'). Se aplica a los compuestos cuya estructura química en la naturaleza es poco frecuente o inexistente debido a que son compuestos sintetizados por el hombre en el laboratorio. La mayoría han aparecido en el medio ambiente durante los últimos 100 años.*

En general un proyecto para el reciclaje de un material determinado tiene una serie de impactos ambientales positivos. Un resumen en cuanto a los beneficios ambientales se tiene que:

- Disminución de contaminantes en suelo de los botaderos, debido al espacio que estos usan y por su difícil forma de compactación.
- Reducción de posibles incendios difíciles de extinguir debido a la composición química que los NFU, y su alto poder calorífico. La incineración descontrolada produce humos tóxicos y líquidos aceitosos contaminando en suelo y aguas aledañas.
- Debido al reciclaje de los NFU se puede evitar la proliferación de mosquitos, ya que los neumáticos actúan como fuente de almacenamiento de aguas lluvia donde es el hábitad adecuado para ciertos tipos de insectos causantes de enfermedades en algunos casos mortales para el ser humano.

El impacto ambiental proveniente de los polvos de caucho, ya sea estos provenientes del proceso de reciclaje o bien el generado debido al desgaste normal de los neumáticos denominado como "Tyre Debris"; se puede traducir en lixiviados del ZnO, se señala que el óxido de zinc es una sustancia peligrosa para el medio ambiente y con altos niveles tóxicos para organismos acuíferos. Acorde a la norma DIN 18035-7 se puede ensayar la concentración de lixiviados en superficies deportivas así como en el césped de caucho molido [9].

Con el reciclaje de los neumáticos se evitaría la incineración descontrolada de los mismos, si bien la forma más rápida de deshacerse de éstos es por medio de la incineración, esta tendría un efecto positivo si la quema de los neumáticos fuese en forma controlada, una forma de controlar las emisiones por la quema de los NFU y realizar un aprovechamiento positivo de los mismos es mediante el uso de estos como combustible alternativo en los hornos de Clinker de las cementeras (ver sección 3.2).

La incineración descontrolada produce emisiones y residuos peligrosos de una toxicidad elevada. Entre las emisiones hacia la atmosfera se tiene las dioxinas y furanos, las dioxinas son compuestos químicos con un nivel de toxicidad elevado; se los ha caracterizado por ser uno de los componentes químicos tóxicos extremadamente potentes, lo que implica que no existan niveles mínimos de emisiones que sean seguros para el ser humano [8].

Otro tipo de emisiones por la quema descontrolada de NFU es la de metales pesados; la peligrosidad de estos se ve reflejado en los agentes cancerígenos que estos tienen. Los metales pesados asociados a la incineración de NFU son cadmio, cromo, plomo, arsénico, cobre, mercurio, estaño y níquel [8].

Los gases de efecto invernadero tales como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> entre otros, también son emitidos debido a la quema descontrolada de NFU [8].

## CAPITULO 2

### INGENIERIA Y DISEÑOS

#### 2.1 Ubicación de la Planta.

La planta se ubicará en la provincia de Guayas dentro de bien la parroquia de Pichincha rodeada un área porcentual de humedales 32% comparado con 25% que se deposita en la provincia de Guayas como lo indica la KEADE en el 2013. La implantación se realizará en la ciudad de Guayaquil ya que allí se ubica el principal mercado para la venta de caucho reciclado. Se estima que la demanda de este producto sea de unas 45.000 toneladas anuales lo suficiente para utilizar el producto como combustible alternativo en el proceso de moler el Caucho.

Se recomienda que la planta sea ubicada en el sector industrial de Guayaquil denominada como "Vía Nueva" ya que esta zona cumple acorde con las recomendaciones para la zona de riesgo 100% (Zona 100%) esta zona es adecuada para la

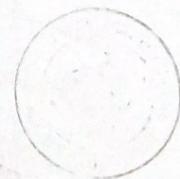
## CAPITULO 2

### 2.INGENIERÍA Y DISEÑOS.

#### 2.1.Ubicación de la Planta.

La planta se ubicará en la provincia de Guayas, aunque si bien la provincia de Pichincha concentra un mayor porcentaje de automotores 32% comparado con 25% que se concentra en la provincia de Guayas como lo indica la AEADE en el 2012. La implantación se realizara en la ciudad de Guayaquil, ya que aquí se ubica el principal mercado para la venta de caucho reciclado, se estima que la demanda de este producto sea de unas 45.000 toneladas anualmente, solamente para utilizar el producto como combustible alternativo en el proceso de cocción del Clinker.

Se recomienda que la planta esté ubicada en el sector industrial de Guayaquil denominado como "Vía Daule", el terreno debe ser tal que cumpla con las recomendaciones emitidas por la norma NFPA 231D [20].Este sector es recomendado ya que:



- Existe disponibilidad de servicios básicos adecuados para el funcionamiento de la planta.
- Se cuenta con vías de acceso de gran importancia como lo son la "Vía perimetral" y la "Vía Daule"
- Existe disponibilidad de terrenos.
- Ciertas industrias como reencauchadoras están ubicadas en este sector, lo que representa que pudiesen ser proveedores de los neumáticos no reencauchados, se estima que alrededor del 20% de los neumáticos que llegan a las reencauchadoras no son aptos para el proceso, por lo que se convierten en neumáticos fuera de uso.
- Así mismo el sector deberá ser de fácil acceso para bomberos.

## 2.2. Procesos y Etapas de Producción.

Tanto el proceso para la valorización de los NFU como materia prima o como combustible van de la mano, ya que el principal proceso para la producción de estos elementos es la Trituración Mecánica a Temperatura Ambiente.

Para que la producción se mantenga constante se deberá contar con sistemas de Gestión bien definidos; si bien los planes de gestión para este tipo de desechos denominados como *desechos especiales* en la

actualidad no están concretamente definidos, se puede tomar en cuenta las recomendaciones emitidas en abril del 2013 mediante el acuerdo ministerial 020 [16]; en el cual se expidió el "Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados".

En todo caso el proceso productivo para este proyecto, tomara en cuenta los lineamientos respectivos desde la llegada de la materia prima a las zonas de almacenamiento, hasta el almacenamiento del producto terminado, así como el despacho.

El diagrama de flujo de la figura 2.1 indica el proceso productivo de la Planta de Reciclaje de NFU.

### **2.2.1. Recepción y Almacenamiento.**

Los neumáticos fuera de uso serán transportados por medio de camiones hacia el centro de acopio de la planta, para llevar un control de la materia prima se pesaran los camiones a la entrada de la planta. Los neumáticos serán almacenados dependiendo de su tipo, ya sean estos del tipo liviano o pesado, estos deberán estar libres de rocas o algún otro tipo de desperdicios que no pertenezcan al neumático.

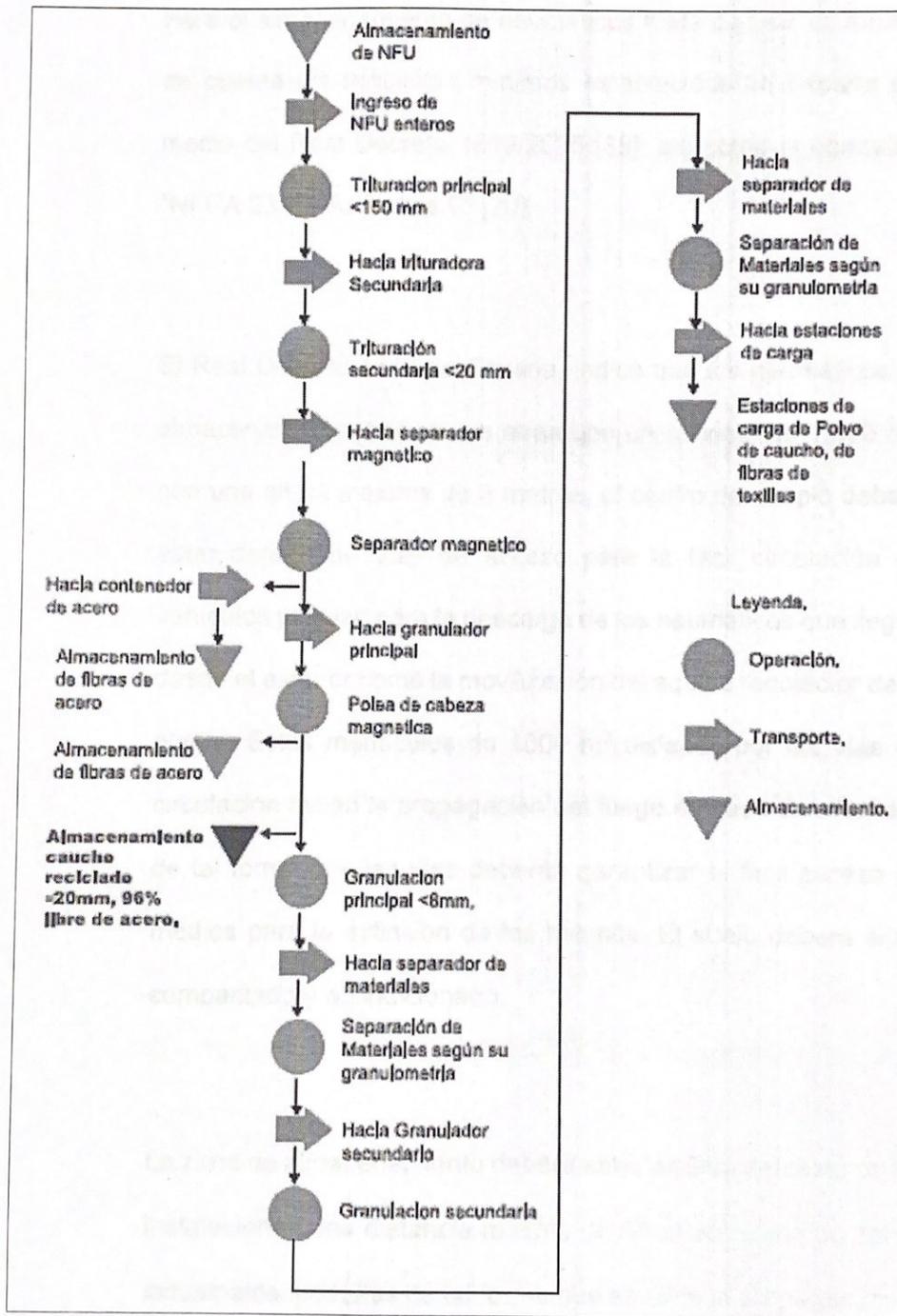


Figura 2. 1. Diagrama de Flujo del Proceso Productivo.



Para el almacenamiento de neumáticos fuera de uso, se tomara en cuenta los requisitos mínimos establecidos en España por medio del Real Decreto 1619/2005 [39]; así como la normativa “NFPA 231D, Apéndice C” [20].

El Real Decreto 1619 de España, indica que los neumáticos se almacenaran en celdas que abarquen un máximo de 1.000 m<sup>3</sup>, con una altura máxima de 3 metros, el centro de acopio deberá estar dotado de vías de acceso para la fácil circulación de vehículos ya sean para la descarga de los neumáticos que llegan desde el exterior como la movilización del equipo recolector de la planta. Estos montículos de 1000 m<sup>3</sup> aislados por las vías de circulación evitan la propagación del fuego en caso de incendio, de tal forma que las vías deberán garantizar el fácil acceso de medios para la extinción de los mismos. El suelo deberá estar compactado y acondicionado.

La zona de almacenamiento deberá estar aislada del resto de las instalaciones una distancia mínima de 61 m así como de zonas industriales aledañas de tal forma que se evite la propagación de incendios [20]. Pero también se indica que si no se dispone del

espacio requerido, se construirá una pared de 1.5 veces la altura máxima de la pilas.

Las pilas de neumáticos deberán tener como máximo 14 m. de ancho y 84 m. de largo; la separación entre las pilas se basara de acuerdo a la figura 2.2, extraída de la norma NFPA 231D.

**Table C-10 Representative Minimum Exposure Separation Distances (See Note 2.)**

Exposed Face Dimensions (ft)	Tire Storage Pile Height (ft)						
	8	10	12	14	16	18	20
25	56	62	67	73	77	82	85
50	75	84	93	100	107	113	118
100	100	116	128	137	146	155	164
150	100	116	128	137	146	155	164
200	100	116	128	137	146	155	164
250	100	116	128	137	146	155	164

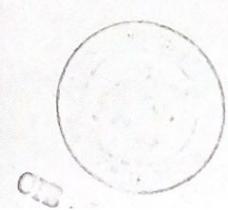
Notes:  
 1. For SI units, 1 ft = 0.3048 m.  
 2. Separation distances are based on the "Fire Safety Assessment of the Scrap Tire Storage Methods," by Robert Brady Williamson, PhD and Robert Allen Schroeder, MS.

**Figura 2. 2.** Minimas distancia de separación de pilas de NFU. [20]

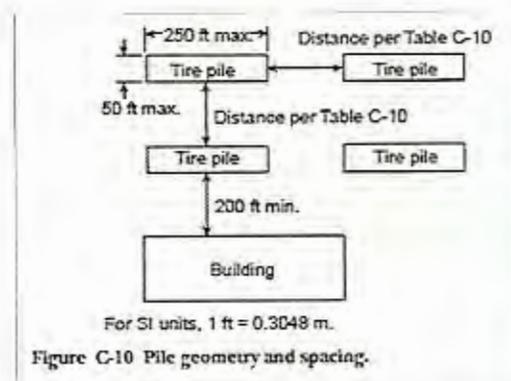
### 2.2.3. Etapa de Triturado.

Un esquema de la ubicación de las pilas de neumáticos fuera de uso, se puede ver en la figura 2.3.

El centro de acopio deberá estar cerrado en todo su perímetro, de tal forma que se restrinja el acceso a personal no autorizado.



En cuanto a las instalaciones del centro de acopio, estos deberán de contemplar con las correspondientes normas vigentes para evitar incendios, si bien la auto-ignición no es relativamente fácil, los incendios debido a la combustión de los neumáticos son extremadamente difíciles de extinguir. El poder calorífico de los neumáticos es cercano a los 40.000 kJ/kg, lo que generalmente es el doble de otros materiales combustibles comunes.



**Figura 2. 3.** Geometría de las pilas de NFU y la separación [20].

El área del centro de acopio será calculada para almacenar neumáticos fuera de uso que sirvan para la producción de aproximadamente 15 días; considerando el aumento porcentual anual de la producción. El cálculo de esta área será determinado en la sección 2.9, mientras se realice la distribución de planta.

En la figura 2.4 se puede observar un almacén de neumáticos en una fábrica para producción de caucho granulado.



**Figura 2. 4.** Ejemplo de Almacén de Neumáticos Fuera de Uso.

De acuerdo a las prohibiciones emitidas por el Acuerdo Ministerial No. 20, entre lo que más se destaca es el no almacenamiento de neumáticos usados a cielo abierto, almacenar estos cerca de cuerpos de agua o quemar dichos elementos a cielo abierto.

### **2.2.2. Inspección Visual.**

Lavado y eliminación de residuos como rocas, plásticos, entre otros. El tamaño máximo de los neumáticos para ingresar a la etapa de trituración no deberá ser mayor a 1.500 mm; para tamaños mayores se deberá cortar antes de introducirse en el triturador.

El operador del equipo que transporta los neumáticos desde el centro de acopio hasta las cercanías de la banda transportadora principal, formara montículos de tal forma que se coloquen en forma manual los neumáticos sobre la banda transportadora; en esta parte se deberá colocar el 30% de solamente neumáticos del tipo pesado y el restante 70% neumáticos del tipo liviano, de esta forma se podrá mantener una producción homogénea.

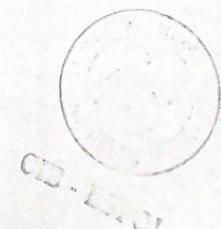
### **2.2.3. Etapa de Triturado.**

Los neumáticos enteros transportados por la banda principal, se descargan en una tolva en la parte superior de la trituradora principal, se estima que a la salida de este equipo los trozos de caucho con acero tienen un tamaño menor de 150 mm. El tamaño de los trozos puede variar dependiendo del fabricante del equipo, para este caso se tomó en cuenta los equipos en la marca

Alemana *ZERMA Machinery & Recycling Technology* [40] que es el fabricante seleccionado (ver sección 2.6.1). El fabricante indica que la trituradora trabaja por desgarrado, por lo tanto el caucho y el acero son bastante diferenciables.

Los trozos de caucho menores a 150 mm son receptados por un transportador en la parte inferior del triturador principal, estos trozos son transportados hacia la tolva del segundo triturador; mediante cuchillas rotatorias se obtienen chips de caucho con una granulometría aproximada de 20 mm, con esta dimensión el acero que contienen los neumáticos puede ser retirado hasta el 96% del mismo, debido al desgarramiento otorgado por el triturador principal.

Para la remoción del acero, a la salida del triturador secundario el producto cae sobre una banda transportadora que moviliza el caucho y el acero a una sección en la cual, por encima de dicha banda transportadora existe una banda magnética, el contenido ferroso existente a la salida del triturador secundario es retirado y enviado hacia un contenedor; mientras que el materia no ferroso (caucho y fibras), continua con su viaje hacia otra banda transportadora que lleva el material hacia la tolva del primer



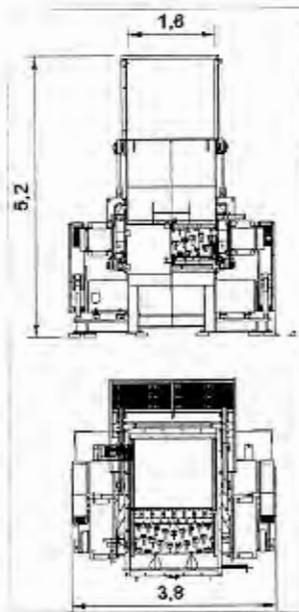
granulador; la polea de cabeza del ultimo transportador es especial, ya que esta es magnética y retira por segunda vez el material que no fue retirado por la banda magnética; en este punto se garantiza que el caucho a la entrada del granulador principal cuenta con un porcentaje del 96% libre de materiales ferrosos.

En este punto del proceso productivo se cuenta con caucho reciclado con una granulometría de aproximadamente 20mm que puede ser utilizada en los hornos de cocción del Clinker, en la figura 2.5 y 2.6, se pueden observar un esquema del triturador principal y secundario respectivamente.

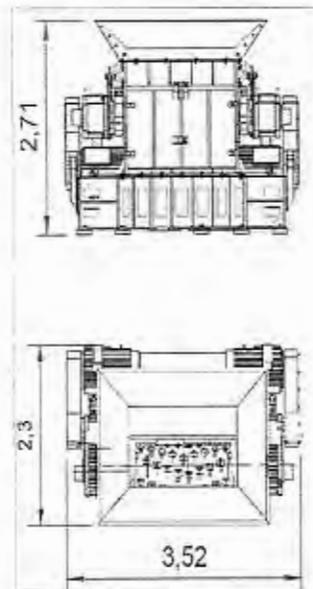
#### **2.2.4. Etapa de Granulación Primaria.**

El producto 96% libre de metales ferrosos, es colocado en la parte superior de un granulador; a la salida de este equipo el producto cuenta con una granulometría menor a 8 mm, el producto cae sobre una especie de contenedor de tal forma que mediante un sistema de transportación neumático, los blowers producen la presión adecuada para que el material sea

transportador hacia la parte superior de una separador de materiales.



**Figura 2. 5.** Triturador de Neumáticos enteros. [40]



**Figura 2. 6.** Triturador secundario [40].

Estos separadores de materiales o también denominadas mesas vibratorias, clasifican los productos de tal forma que a la salida del equipo el material con una granulometría determinado sea enviado hacia el segundo granulador, otra porción sea enviado directamente a la estación de carga de productos con tamaño

aproximado de 4 mm; el polvo de caucho con dimensiones menores a 1mm así como las fibras también son enviadas a otra sección; por último el polvo, textiles y aceros de menor tamaño y densidades son enviados hacia una central de recolección de polvo fibras y acero, este producto es considerado como desechos.

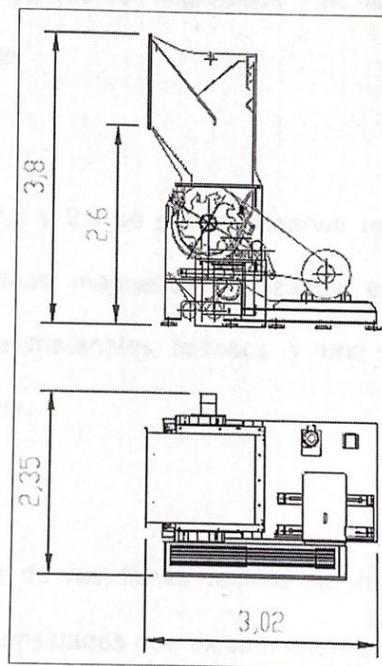


Figura 2. 7. Granulador principal. [40]

### 2.2.5. Separación de Metales y Textiles.

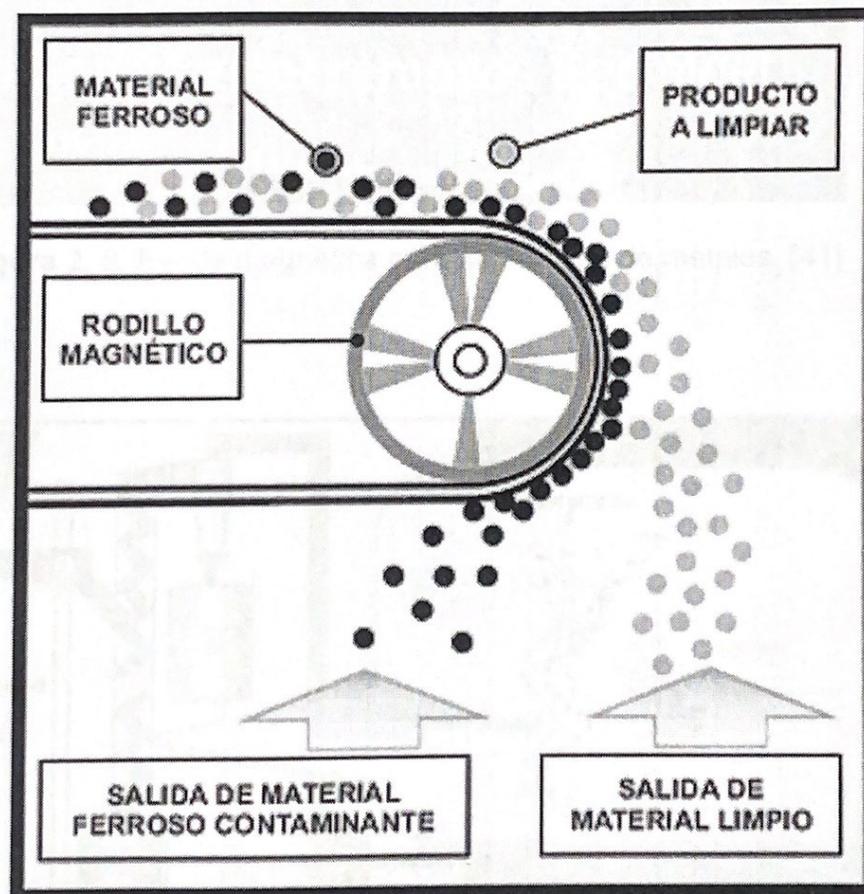
La etapa de separación se metales se da por medio de dos equipos, una banda cruzada magnética a la salida del triturador

secundario, y se realiza otra separación de materiales ferrosos mediante el uso de la polea de cabeza en la banda transportadora que lleva el material hacia la tolva del granulador principal. De esta forma el fabricante ZERMA Machinery & Recycling Technology [40] garantiza que se eliminara el 96% de los metales contenidos en el caucho. Cabe recalcar que el número de separadores magnéticos y su tipo dependerán de cada fabricante.

En la figura 2.8 y 2.9 se puede observar un esquema de los rodillos o poleas magnéticas utilizadas en el proceso de separación de materiales ferrosos y una banda magnética respectivamente.

La separación de las fibras textiles se realiza mediante la diferencia de densidades que existen entre estos elementos y el caucho; los fabricantes seleccionados utilizan tanto las mesas vibratorias como un sistema separador tipo cascada denominado como "Zigzag Sifter"; en el sistema tipo cascada se utiliza un flujo de aire y debido a la forma de este se logra separar la fibra del caucho. Las mesas vibratorias como su nombre mismo lo indican

trabajan bajo el principio vibratorio de tal forma que se realiza la separación no solamente de las fibras sino que también se logra separar el caucho dentro de ciertos rangos de granulometría. En la figura 2.10 podemos observar un esquema del denominado sistema separador tipo cascada.



**Figura 2. 8:** Esquema de polea magnética.



Figura 2. 9. Banda magnética para separación de metales. [41]

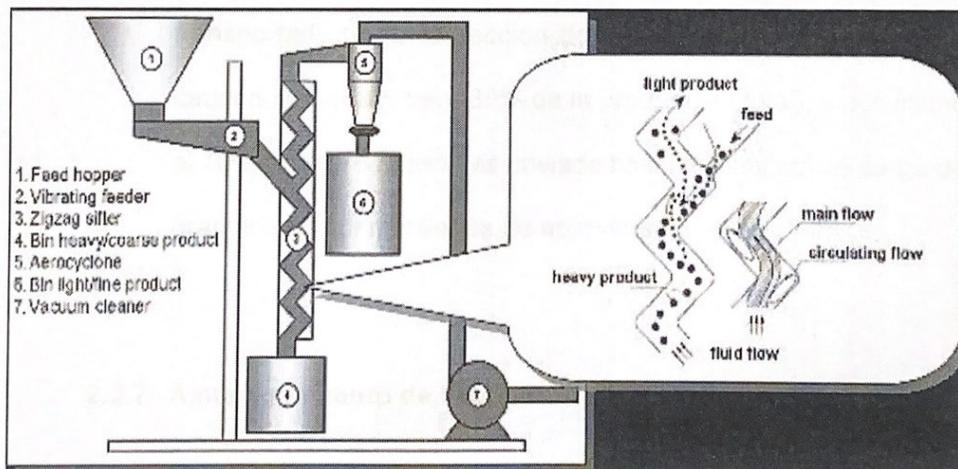


Figura 2. 10. Esquema sistema separador de fibras.

### **2.2.6. Etapa de Granulación Secundaria.**

Los productos provenientes de las mesas vibratorias que tienen una granulometría de aproximadamente 8 mm, son transportados por medio de un sistema neumático hacia la parte superior del granulador secundario; a la salida del granulador secundario el tamaño del caucho es menor a 4 mm, así mismo como sucede a la salida del primer granulador el material es transportado hacia una mesa vibratoria para separación del producto. A la salida de este separador el material es enviado a 4 secciones, el producto que tenga dimensiones aún mayores a 4 mm es retornado hacia el granulador principal, también existe una porción de material que es enviado hacia desecho, otra parte del producto es transportado hacia la sección donde se despacha el polvo de caucho menor a 1 mm (30% de la producción total), y por último el 70% de la producción es enviado hacia la estación de carga de gránulos con dimensiones de aproximadamente 4 mm.

### **2.2.7. Almacenamiento de Producto Terminado.**

Los "Chips" con una granulometría de 20 mm y libres de metal en un 96% del peso total, serán almacenados en una bodega; es decir que el producto será almacenado al granel donde la pila

tendrá una altura máxima de 3 m [39]. Esta bodega deberá contar con el debido sistema contra incendios, y con el acceso adecuado de un cargador y de una zona de despacho donde se podrán cargar los vehículos de distribución, como se puede ver en los planos.

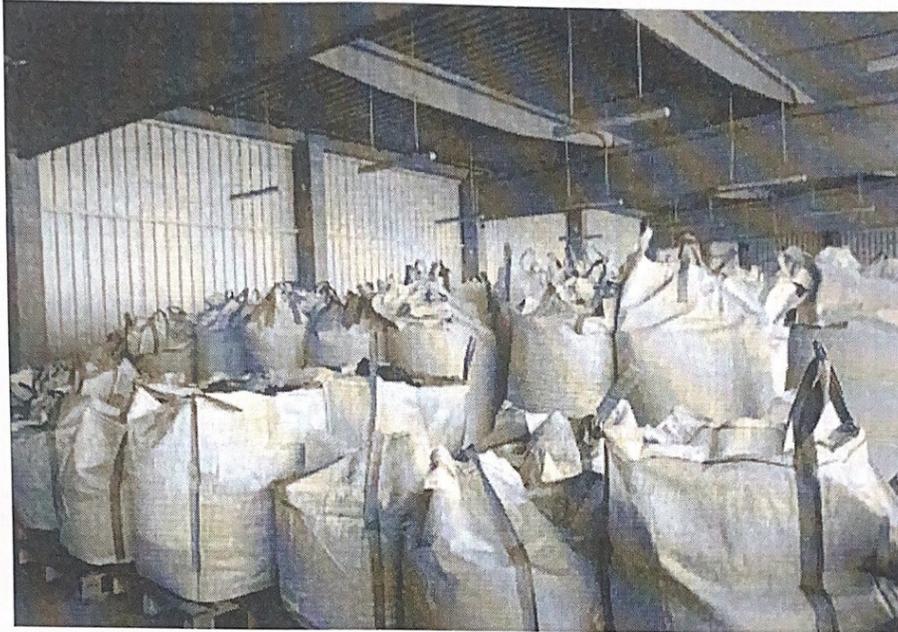
Para el almacenamiento de gránulos de 4 mm y de polvo de caucho menor a 2 mm, se contará con un galpón de 20x18 donde se apilarán de a dos filas los respectivos Big.Bag; esta zona cuenta con las respectivas vías de circulación para los montacargas y el debido sistema contra incendios, aledaño a este galpón se contará con un sector de carga de vehículos como se puede observar en los planos. Las denominadas celdas de almacenamiento de caucho triturado, se puede observar en la figura 2.11.; cabe recalcar que para nuestro proyecto este almacén estaría bajo techo. Las estaciones de carga de big bag con gránulos o polvo de caucho se pueden observar en la figura 2.12; mientras que en la figura 10.13 se observa un almacén para sacos con caucho granulado.



Figura 2. 11.Celdas de almacenamiento de caucho triturado. [42]



Figura 2. 12.Estaciones de llenado de Big.Bag [42].



**Figura 2. 13.** Almacén de Sacos con caucho reciclado. [42]

### **2.3.Producto Terminado.**

A manera de información, el caucho reciclado según la norma española prEN 14243, y según ASTM D 6270 se clasifica según su granulometría como se observa en la tabla 2.1 [4].

El producto terminado tendrá como destino final dos grandes grupos que son: La valorización energética en hornos o precalcinadores para la producción de Clinker, donde por lo general se utiliza chip de caucho

reciclado y el otro es la valorización material donde el caucho está en forma de gránulos o polvo.

**TABLA 2. 1.- DESIGNACIONES PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE CAUCHO PROCESADOS EN EUROPA, SEGÚN CWA14243, ETRA (2002) Y EN LOS EE.UU., SEGÚN LA NORMA ASTM D 6270-98, ASTM (1998).**

CWA 14243 (Europe)		ASTM 6270-98	
Designación	Tamaño	Designación	Tamaño
Polvo Fino	<500 um	Granulado	425 um - 12 um
Polvo	<1 mm	Caucho Molido	425 um - 2 mm
Granulado	1 - 10 mm	Chips	12 - 50 mm
Chips	10 - 50 mm	Triturado	50 - 305 mm
Triturado	50 - 300 mm	Triturado Áspero	50x50x50 <X< 762 x50x100

**Fuente:** Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications [4]

Las especificaciones técnicas del producto terminado para la Valorización Energética, dependerá de los parámetros establecidos por las Cementeras; pero en general el combustible alternativo utilizado para la cocción del Clinker debe cumplir ciertos factores, como se los menciona a continuación:

- No deberá afectar a la calidad del Clinker, ni al proceso de cocción.

- Las emisiones de gases o cenizas producto de la quema del combustible alternativo no deben incrementar respecto a la quema de combustibles convencionales.
- El uso de NFU en el proceso de cocción del Clinker no debe aumentar los costos de producción.
- El máximo reemplazo de combustibles convencionales por caucho proveniente de neumáticos fuera de uso no excederá en un 20% respecto al total de combustibles quemados.

Como se mencionó en la sección 1.6, la mejor manera de agregar los NFU como combustible es en forma de trozos, ya que la tecnología utilizada en estos casos tiene un costo menor que la utilizada cuando se agregan neumáticos enteros en los sistemas de combustión de los hornos o precalentadores de Clinker.

Para minimizar el riesgo de obstrucciones o aglomeraciones del caucho, así como para tener una buena combustión; generalmente los chips de caucho pueden tener un tamaño de hasta 4 cm [28]. Para la valorización energética Columbus McKinnon [43] recomienda que en mayor porcentaje se usen neumáticos del tipo liviano, ya que estos contienen mayores porcentajes de textiles que los neumáticos de camión o buses; lo cual no es ventajoso para el caso de la valorización material; tomando

en cuenta que 5% del peso total de un neumático del tipo liviano está conformado por textiles, mientras que en los tipos pesado el porcentaje es aproximadamente 0%; cabe recalcar que la granulometría adecuada dependerá solamente del tipo de tecnología con la que se cuente en el proceso de cocción del Clinker. Ya que los porcentajes mínimos de acero contenido en el caucho, dependerán exclusivamente de la tecnología disponible para la cocción del Clinker que se lleva a cabo en las cementeras del País; el contenido mínimo de acero puede estar entre 1% y 5% del peso total del caucho y porcentajes menores al 8% en cuanto al contenido de textiles en el producto terminado; estos valores son lo que lleva a cabo la empresa SIGNUS (Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados) en España [44]. Estos mismos proveedores de caucho reciclado a nivel de Europa indican que los chips con una granulometría de 20 mm aproximadamente pueden ser utilizados en la valorización energética como sustituto de combustibles fósiles en los hornos de cocción de Clinker.

El producto terminado para uso en canchas sintéticas preferentemente debe tener una granulometría de entre 2 y 4 mm con un porcentaje de contenido de materiales ferromagnéticos del orden del 0,1% mientras que el porcentaje de textiles es del orden del 0,5% del peso total; así

mismo se indica que el porcentaje de impurezas no debe sobrepasar el 0,25% del peso total del caucho [6].

La norma INEN 2680 [15], nos indica los requisitos del caucho reciclado de neumático para formar parte de los asfaltos modificados; el caucho debe contener menos del 0,75% de humedad en peso, la gravedad específica debe ser de  $1,15 \pm 0,05$ , no debe contener partículas visibles de metales no ferrosos y no más de 0,01% en peso de partículas de metales ferrosos así mismo indica que el contenido de fibra no debe sobrepasar el 0,5% en peso del caucho para usarlo como ligante en mezcla caliente; la normativa indica que al menos el "15% en peso de caucho de la mezcla total generalmente es necesaria para proporcionar propiedades aceptables en la mezcla del asfalto"; en cuanto al tamaño de las partículas se recomienda que todas tenga un tamaño capaz de pasar a través del tamiz de 2,36 mm según la norma NTE INEN 154.

La tabla 2.2 indica las características recomendadas para el caucho reciclado que actualmente tienen una mayor relevancia en el mercado local; ya sea por costos de producción, por normativas vigentes o por la aplicación final.

Mediante la tabla 2.2, se puede observar que para el mercado local existe la posibilidad de comercializar 3 tipos de productos, si bien es cierto una línea de reciclaje podría producir todos estos materiales es muy claro que para granulometrías de menor tamaño como lo son el polvo de caucho, el costo de producción así como el costo de inversión de los equipos sería mayor que el costo estimado para la producción de chips; por otra parte el valor agregado que se le daría al polvo de caucho es mucho mayor que el otorgado a los chips, ya que el polvo puede formar parte de aplicaciones ingenieriles. (Capítulo 3)

**TABLA 2. 2.- CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA CAUCHO RECICLADO DE NFU SEGÚN SU APLICACIÓN.**

<b>Aplicación más relevantes*</b>	<b>Presentación</b>	<b>Granulometría</b>	<b>Contenido Acero</b>	<b>Contenido Textil</b>
TDF (Tire Derived Fuel)	CHIPS	Entre 20 y 40 mm	Entre 1-5 %	<8%
Relleno en Canchas de hierba sintética, suelos de seguridad y parques infantiles, losetas	GRÁNULOS	2 - 4 mm	0,10%	0,50%
Asfaltos Modificados con polvo de caucho.	POLVO DE CAUCHO	< 2 mm	0,01%	0,50%

**\*Actualmente existen numerosas aplicaciones para el caucho reciclado, como las enunciadas en el Capítulo 3 de este documento.**

Para determinar el producto que represente mayores ventajas en un proyecto como este, se tomarán en cuenta los siguientes factores técnicos y económicos.

- a) Demanda del producto terminado según sus aplicación.
- b) Costos de producción según la granulometría del producto final.
- c) Valor agregado del producto terminado.
- d) Tecnología apta para el medio.

En cuanto a la demanda del producto terminados, en la sección 1,6 se menciona que solamente el caucho triturado en forma de chip utilizado como combustible alternativo es de aproximadamente 45 mil toneladas anuales; en cuanto al polvo de caucho se podría consumir hasta 8.000 toneladas para la pavimentación de carreteras a nivel nacional; para el uso del granulado de caucho no se cuenta con cifras relevantes pero se sabe que en campos de hierba artificial para futbol de 6 jugadores por bando, se puede utilizar hasta 13 toneladas de caucho granulado; el caucho reciclado de NFU que se puede utilizar en las canchas es de menor costo que otro tipo de caucho que cumple las mismas funciones como es el procedente de la molienda criogénica, el encapsulado con

poliuretano, el pintado, el EPDM (caucho de etileno propilenodieno) coloreado o el TPE (Elastómero termoplástico) coloreado; así mismo se puede utilizar los gránulos en pistas de atletismo; en adoquines el caucho granulado forma parte de hasta el 90% del total del volumen del adoquín mientras que el otro 10% es ocupado por pigmentos o químicos. Mientras que las dimensiones del granulo son menores, el costo de producción es mayor, como se lo puede observar en la sección 2.6.1 el costo de inversión para la producción de polvo de caucho es mayor que el costo de inversión para la producción de chips, ya que para el proceso productivo de caucho reciclado en forma de polvo se utiliza más equipos que en el proceso para la producción de chips en una planta de reciclaje.

En cuanto a las normativas vigentes; el INEN solamente ha emitido los requisitos para el polvo de caucho que se utilizaría en los asfaltos modificados [15]; aunque si bien en Ecuador no existe un reglamento en el cual se exija el uso de Asfaltos Modificados con caucho, datos revelan que en Europa como en Estados Unidos se ha tenido grandes resultados [9]; en cuanto a los chips utilizados como combustibles alternativos no existen una normativa para los requisitos del mismo, pero si existen una serie de factores generales para que el caucho sea utilizado como combustible alternativo. En cuanto a los requisitos

técnicos que se deben tomar en cuenta para uso de granulados en las distintas aplicaciones, en Ecuador se puede hacer referencia a la normativa INEN 1488 [45]; en la cual se indican los requisitos para la producción de adoquines de hormigón.

El valor agregado para los chips utilizados como combustible alternativo, se tienen las reducción de emisiones de NOx, COx, VOC, entre otros como se puede observar en la tabla 1.20; en general el carbón utilizado en el proceso de clinkerización tiene un mayor costo que el caucho triturado con un poder calorífico similar. El polvo de caucho en las carreteras prolonga la vida de servicio de las mismas, disminución del coste de mantenimiento, posibles ahorros materiales por disminución de espesores de capa [6]; los gránulos usados en las canchas de hierba artificial amortiguan las caídas y dan flexibilidad a las canchas de futbol aunque solo se produciría en color negro.

La cementera ubicada en la ciudad de Guayaquil puede poseer la tecnología adecuada para la incorporación del chip como combustible en sus hornos de cocción del Clinker; en cuanto a la tecnología utilizada para el procesamiento del polvo de caucho en los asfaltos modificados, esta podría formar parte del Ministerio de Obras Públicas. Para la producción de adoquines de caucho reciclado las prensas utilizadas son



Tomando en cuenta los factores descritos y a través de la tabla 2.3 se otorgara el peso porcentual de cada criterio según su importancia, de tal forma que se pueda tomar una decisión del producto terminado a desarrollarse.

**TABLA 2. 3. PESO PONDERADO DE FACTORES A TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO**

CRITERIO	a	b	d	e	Total.	Peso.
a) Demanda del producto terminado según sus aplicación	--	1	5	5	11	49,13%
b) Costos de producción según la granulometría del producto final.	1	--	3	3	7	31,26%
d) Valor agregado del producto terminado.	0,2	0,33	--	3	3,53	15,77%
e) Tecnología apta para su aplicación.	0,2	0,33	0,33	--	0,86	3,84%

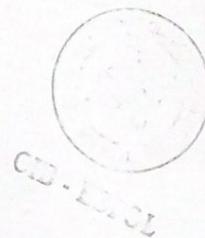
**Escala. 1 = Igual; 5 = Más importante; 10 = Mucho más importante;**

**1/5 = Menos importante; 1/10 = Mucho menos importante**

TABLA 2. 4. TABLA DE DECISIONES EN BASE MÉTODO DE VALORES PONDERADOS.

Criterios	Ponderación del criterio %	ALTERNATIVAS DE PRODUCTO FINAL					
		CHIP		GRÁNULOS		POLVO DE CAUCHO	
		Calificación	Total	Calificación	Total	Calificación	Total
a) Demanda del producto terminado según sus aplicación	49,13	5	245,6	2	98,3	3	147,4
b) Costos de producción según la granulometría del producto final.	31,26	4	125,1	3	93,8	2	62,5
d) Valor agregado del producto terminado.	15,77	4	63,1	3	47,3	5	78,8
e) Tecnología apta para el medio.	3,84	2	7,7	3	11,5	3	11,5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>441,4</b>		<b>250,9</b>		<b>300,3</b>

La tabla 2.4 nos da un indicio del producto terminado que representaría mayores ventajas tanto técnicas como económicas; si bien es cierto los chip representan mayores ventajas respecto a los otros dos productos; para llegar a una decisión final a más de los factores representados en la tabla 2.4, se tomará en cuenta la factibilidad de producir los 3 productos con la disponibilidad de materia prima existente en el medio



(Aproximadamente 7.000 toneladas de NFU anuales); así como la mínima capacidad instalada estándar recomendada por los fabricantes de equipos (ver sección 2.6.1).

*Bajo una evaluación económica (sección 4.2) y bajo la evaluación de los fabricantes de equipos (sección 2.6.1) para el proceso productivo, se produciría 3 productos con las siguientes características.*

**TABLA 2. 5. PRODUCTO TERMINADO A ELABORAR.**

Presentación	Granulometría	Contenido Acero	Contenido Textil
CHIPS	Aprox. 20 mm	96 % libre de acero	<5%
GRÁNULOS	Entre 2 y 4 mm	99 libre de acero	99 libre de fibra
POLVO DE CAUCHO (30% del total de la producción)	< 2 mm	Libre de acero	Libre de fibra

**Fuente:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

#### **2.4. Capacidad de Producción de la Planta.**

Del total de neumáticos desechados en un año para la provincia del Guayas como se puede observar en la tabla 1,17, se estima que el 8% se emplea en reciclaje de tipo artesanal así como para la fabricación de

gránulos de caucho [25]; por lo tanto se tiene una disponibilidad de aproximadamente 90% de los neumáticos desechados, es decir de las 9.132 toneladas de NFU que se generan en un año, 8.200 toneladas son enviadas a vertederos; es por esta razón que la capacidad de procesamiento para la planta de Reciclaje de NFU se ha estimado en un procesamiento de 5.000 toneladas al año. El Acuerdo Ministerial 020, indica que se espera una recolección del 20% de los neumáticos desechados en el país en el primer año de implementación del Plan de Gestión Ambiental para los NFU expedido por parte del Ministerio del Ambiente; el 20% representaría aproximadamente 10.000 toneladas de neumáticos de los 50.000 desechadas anualmente en el País.

El procesamiento de 5.000 toneladas de NFU anualmente es relativamente baja, especialistas en el área de reciclaje de neumáticos como Pallman de procedencia Alemana [42] o ELDAN de procedencia Danesa [41] tienen un estándar de procesamiento anual mínimo de aproximadamente 10.000 a 15.000 toneladas, así mismo el fabricante Zerma [40] tiene equipos que procesan un mínimo de 3 t/h que anualmente representaría cerca de 5.700 toneladas, trabajando en turnos de 8 horas diarias 240 días del año, al 100% de su capacidad.



*Estos 3 fabricantes con años de experiencia en el procesamiento de NFU han recomendado una capacidad instalada para la planta de 3 t/h como mínimo.*

*Con una capacidad instalada de 3 t/h se podría procesar idealmente hasta 17.000 toneladas de neumáticos anualmente trabajando 24 horas al día 240 días al año; para este proyecto el primer año se procesaría aproximadamente 4.032 toneladas de neumáticos fuera de uso trabajando al 70% de la capacidad instalada, en turnos de 8 horas diarias, 240 días al año. Mientras que el aumento anual de la producción se estima en un 5%, teniendo como tope una producción del 90% de la capacidad instalada en el quinto año.*

Por lo tanto en el primer año, trabajando al 70% de la capacidad instalada y sin tomar en cuenta los desperdicios, se produciría.

- 75% de caucho vulcanizado, aproximadamente 3024 toneladas.
- 20% de acero, aproximadamente 774 toneladas.
- 5% de textil, aproximadamente 201 toneladas.

## **2.5. Factores de Influencia para Selección de Equipos.**

Los siguientes factores técnicos analizados en este proyecto y adaptados según la situación actual del mercado, que influyen

directamente en la selección de los equipos para la planta de reciclaje se describen a continuación.

**TABLA 2. 6.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO**

Descripción	Granulometría aproximada (mm)
Chips	Aprox. 20
Gránulos	Entre 2 y 4
Polvo	< 2

**Fuente:** Autor

- Capacidad instalada de la planta 2-3 t/h.
- Disponibilidad de materia prima, aproximadamente 7.000 toneladas de NFU al año.
- Demanda de los productos terminados.
- Precios competitivos del mercado.
- Materia prima disponible, 70% de neumáticos de tipo liviano y 30% neumáticos de camión y buses.
- Diámetro máximo de neumáticos a procesar, 1.200 mm.
- Peso promedio de neumáticos de coche, 9,9 kg.
- Peso promedio de neumáticos de camión, 52,7 kg.
- Relación media de acero en neumáticos de coche, 17%
- Relación media de acero en neumáticos de camión, 25%

- Relación media de fibra en neumáticos de coche, 6%; en neumáticos de camión, 1%.
- Ingreso de Neumáticos manual, recomendado cuando se dispone de neumáticos de diferente tipo.
- Almacenamiento intermedio de los trozos de neumático antes de pasar a las fases de granulación.
- Frecuencia eléctrica para equipos, 60 Hz.
- Sistemas colectores de polvo antiexplosivo o standard.
- Niveles máximos de ruido 80 dB.

## **2.6. Selección de Maquinaria.**

En la sección 1.3.2 se seleccionó el proceso de producción para el reciclaje de neumáticos fuera de uso, la molienda mecánica a temperatura ambiente fue la seleccionada; en donde el equipo más crítico es el triturador principal ya que de este dependerá en gran medida la productividad de la planta, el costo de inversión para este equipo con una capacidad de 3 t/h tiene un valor aproximado de USD 325.000 y para un granulador con una capacidad instalada similar a la del triturador tiene un costo de USD 147.000 [40]. En el proceso productivo todos los neumáticos tendrán que pasar por este equipo en primera instancia, ya sea el producto destinado para la valorización energética o valorización material; por ejemplo para la producción de



CID - 11701

gránulos con dimensiones de aproximadamente 4 mm se utilizaría un mínimo de 4 equipos y para la producción de trozos de caucho de 50 mm se utilizaría solamente la trituradora principal en algunos casos; el número de equipos para una línea completa para el reciclaje de neumáticos dependerá de la tecnología que lleve a cabo el fabricante; en este caso se hace referencia a la tecnología a cargo de la empresa Alemana Zerma Machinery & Recycling Technology [40].

A continuación se realizará una selección del fabricante más adecuado comparando los factores técnicos y económicos otorgados por cada proveedor y relacionándolos con los requisitos establecidos en este documento.

#### **2.6.1. Selección de Equipos Principales.**

Para la selección de los equipos ofertados por los fabricantes consultados, se tomara en cuenta los siguientes factores.

- Capacidad instalada en t/h.
- Costo de equipos y herramientas en USD.
- Potencia instalada en kW.

- Calidad garantizada del producto terminado basado en la granulometría, en el porcentaje de acero y textiles contenidos en el caucho reciclado.
- Factibilidad para futuras ampliaciones de la planta.
- Costos de mantenimiento.
- Procedencia.
- Garantías.

Tomando en cuenta que se procesara neumáticos fuera de uso, los cuales tiene una alto nivel de elasticidad debido al caucho y al acero; **los trituradores con cuchillas rotativas son los equipos aptos para el procesamiento de NFU**; en el mercado existen numerosos tipos de trituradores como por ejemplo, los trituradores de Quijadas el cual consiste de caras planas de las cuales una es fija y la otra móvil, ideal para el procesamiento de solidos con un alto índice de dureza como piedras; en este caso y debido a las propiedades elásticas del caucho vulcanizado este no es el adecuado; así mismo existen los molinos de martillos en el cual el principio de funcionamiento es el impacto entre los martillos colocados a lo largo de un ejes y la coraza que los rodea, por ende este tipo de triturador tampoco es apto para el procesamiento de neumáticos fuera de uso, este tipo de impacto

produciría un aumento de temperatura del caucho vulcanizado haciéndose imposible realizar la reducción ya que la viscosidad del caucho se elevaría; estos dos últimos tipos de trituradores mencionados cumplen con el principio de impacto y fricción lo cual no resulta idóneo para la trituración de materiales elásticos como lo es el caucho vulcanizado y el acero contenido en los neumáticos.

Los trituradores con cuchillas rotativas por ende son los recomendados por los especialistas en el área de reciclaje de neumáticos fuera de uso.

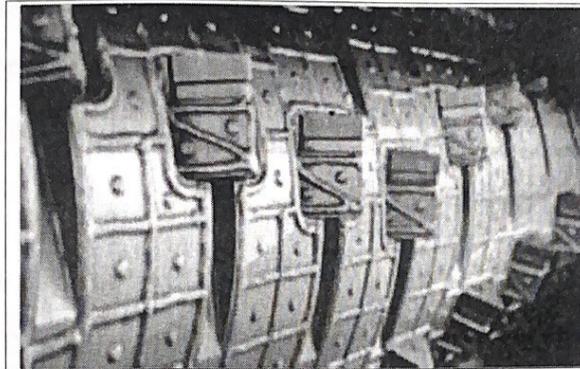
Dividiremos los fabricantes en grupos tomando en cuenta la tecnología disponible para el triturador principal que se basa en cuchillas rotativas.

- Grupo A.- Triturador principal de un Solo Eje.
- Grupos B.- Triturador principal de Doble Eje.

**Triturador de un solo eje.-** Dos de los fabricantes consultados como lo son Zerma de procedencia Alemana [40] y ELDAN de procedencia Danesa [41], cuentan con todos los equipos para el procesamiento de NFU para la producción de caucho reciclado

en varias granulometrias y calidades, para la trituración de los neumáticos enteros los dos se basan en la utilización de cuchillas rotativas montadas en un solo eje; Zerma usa cuchillas cóncavas especiales con base cuadrada fijadas en portacuchillas especiales dispuestas en una forma alternante, estas cuchillas se pueden voltear cuando uno de sus lados se desgasta, aparte de realizar el corte de los neumáticos enteros también realizan la función de desgarramiento del caucho adherido al acero. Por otro lado las trituradoras ELDAN cuentan con un sistema de corte con un diseño diferente pero bajo el mismo principio de guillotina como la tecnología de Zerma, las cuchillas de corte así mismo están dispuestas en forma alternante y estas son intercambiables y pueden ser rectificadas. En las figuras 2.14 y 2.15 se puede observar la disposición de las cuchillas de los trituradores de Zerma y ELDAN respectivamente. La diferencia muy notoria está en la energía consumida para procesar una tonelada de materia prima, como se puede observar en la tabla 2.7, los trituradores de ZERMA utilizados para trabajos pesados consumen tentativamente 50 kW.h por cada tonelada, mientras que el triturador ofertado por ELDAN tiene un consumo tentativo de 17,7 kW.h por cada tonelada de materia prima procesada; esto brinda un indicio en donde se

reflejan los costos de producción, a mayor consumo energético el costo de productividad será mayor y viceversa



**Figura 2. 14.** Cuchillas rotativas montadas en un solo eje, marca Zerma. [40]

El triturador principal ofertado por ELDAN Recycling, está sobre dimensionado para la capacidad instalada de la planta que se esperaría sea de 2 t/h; el consumo de energía es aproximadamente 64,4 % menor que el estimado para el equipo ofertado por ZERMA Machinery & Recycling Technology [38] el cual tiene una capacidad para procesar hasta 3t/h, lo cual representa el 33% de lo que procesaría la trituradora ofertada por ELDAN que tiene una capacidad de procesamiento de aproximadamente 9 t/h.





**Figura 2. 15.** Perspectiva de las cuchillas del triturador marca ELDAN, montadas en un solo eje.[41].

**TABLA 2. 7.-FABRICANTES DE EQUIPOS PARA RECICLAJE DE NFU, CON TRITURADOR PRINCIPAL DE UN SOLO EJE.**

<b>GRUPO A.- TRITURADOR PRINCIPAL DE UN SOLO EJE.</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Capacidad (t/h)</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación (kW/t/h)</b>
ZERMA Machinery & Recycling Technology	Alemania	3	150	50,0
ELDAN Recycling	Dinamarca	9	160	17,7

**Fuente:** ZERMA [40], ELDAN [41].

Los equipos ofertados por ELDAN [41] tienen la ventaja de que se puede realizar una ampliación de la planta en futuras ocasiones, aunque toda la línea con los equipos granuladores

tiene una capacidad instalada de 1,5 t/h como se puede observar en la tabla 2.8, con la implementación de estos equipos se espera un consumo de 359 kW.h por cada tonelada, mientras que con la implementación de los equipos de ZERMA se tendría un consumo eléctrico de 296kWh por cada tonelada de NFU procesada.

**TABLA 2. 8.-LÍNEA COMPLETA PARA EL PROCESAMIENTO DE NFU CON TRITURADOR DE UN SOLO EJE.**

DESCRIPCIÓN DE PLANTAS CON TRITURADOR DE UN SOLO EJE					
Fabricante	Capacidad de la planta(t/h)	Potencia (kW)	Relación (kW/t/h)	Precio USD	Producto Terminado
ZERMA Machinery & Recycling Technology	3	890	296	1.105.725 FOB Shanghai	4 mm libre 99% libre de metal y fibra y 30% menor a 2mm
ELDAN Recycling	1,5	539	359	2.243.131 FCA Dinamarca	1-4 mm, 98% libre de metal y fibra.

**Fuente:** Autor.

**Datos tomados de:** ZERMA [40], ELDAN Recycling [41].

En cuanto a la calidad del producto terminado garantizado por cada fabricante, se puede observar que tanto ZERMA como

ELDAN indican que el producto terminado tendría similares características donde predomina una granulometría de 4mm, lo que indica que estos valores están en el rango de trabajo adecuado para nuestro proyecto.

El grupo Danés de la marca ELDAN, indica que las cuchillas del triturador principal pueden procesar hasta 600 toneladas antes de pasar por un proceso de mantenimiento, en donde las cuchillas pueden ser rectificadas hasta 5 veces; por lo que la vida útil del set de cuchillas del triturador principal es de aproximadamente 3.600 toneladas; lo que representaría un cambio de cuchillas cada 6 meses.

Los dos fabricantes ofertan los sistemas de aspiración de polvos; caso contrario no se garantizan las respectivas calidades del producto terminado.

De los fabricantes ZERMA y ELDAN, **se selecciona el fabricante de procedencia Alemana (Zerma)** ya que este presenta las siguiente ventajas por sobre el fabricante de procedencia DANESA.



- Por ser la marca de procedencia Alemana, ésta representa en el mercado excelentes referencias en cuanto a sus cualidades técnicas y de calidad.
- La capacidad de procesamiento tanto del triturador como de la planta completa (3 t/h), no representa un sobredimensionamiento abismal, como lo es el triturador de ELDAN con capacidad de hasta 9 t/h mientras que la planta en si solo podría producir 1,5 t/h.
- Si bien solamente el triturador principal de la marca ZERMA tiene un consumo de 50 kW por cada toneladas procesada, mientras que el triturador de la marca ELDAN tiene un consumo menor 17 kW.h por cada tonelada; la planta completa de la marca ZERMA tiene un menor consumo energético (296kW.h/t) comparado con el consumo estimado de la planta en la marca ELDAN (359 kW.h/t).
- Los precios de inversión de los equipos de la marca Zerma son menores que los de procedencia Danesa, como se puede observar en la tabla 2.8.

- En cuanto a la calidad del producto terminado los fabricantes tienen similares características adecuadas para este proyecto.
- Las garantías para los equipos son de 12 meses a partir de su operación o 2000 horas, la que se cumpla primero.

**Triturador principal de doble eje.-** Los proveedores consultados como se puede observar en la tabla 2.9; se los agrupo por ofertar el triturador principal con doble eje trabajando bajo el principio de cuchillas rotativas montadas en los ejes, el fabricante ECO GREEN Equipment [46] representa mayores ventajas en cuanto al consumo energético que se da en el proceso de trituración de los NFU enteros, mientras que los trituradores de ECO-GREEN producen hasta 8 toneladas por hora con una potencia de 110 kW, el triturador ofertado por la marca Phoenix Industries, LLC [12] produce menos (4,5t/h) y con una potencia mayor (175 kW); así mismo los fabricantes SHERD-TECH [47] con una capacidad de 7,5 toneladas por hora tiene una potencia mayor e igual a 187 kW; en cuanto a futuras ampliaciones todos los fabricantes representan una buena

opción, aunque el fabricante SHERD-TECH únicamente fabrica trituradores para NFU mas no la línea completa de reciclaje.

Así mismo los kW.h consumidos para el procesamiento de 1 toneladas de materia prima, nos brinda un indicio general de los costos de producción; en la tabla 2.9 el fabricante Eco-Green Equipment de procedencia Estado Unidense [46] representaría menores costos operacionales en su triturador principal; el mismo fabricantes como se indica en la tabla 2.9 con la planta completa representaría menores costos operacionales ya que tentativamente la planta tendría un consumo aproximado de 274 kW.h por cada tonelada procesada.

SHERD-TECH	Canada	7.5	187	24.9
------------	--------	-----	-----	------

La capacidad instalada de la planta respecto a la capacidad del triturador principal, varía de acuerdo a las especificaciones de los equipos otorgados por los fabricantes; si bien el triturador principal del fabricantes ECO-GREEN Equipment [46] es de aproximadamente 8t/h y la planta tiene una capacidad de producir un máximo de 3 t/h; se debe a que los equipos subsiguientes en el proceso de molienda como lo son los granuladores, molinos o pulverizadores son de menor capacidad,

lo mismo ocurre con los equipos de Phoenix Industries, LLC [13], aunque con capacidades diferentes.

**TABLA 2. 9.- FABRICANTES DE EQUIPOS DE RECICLAJE DE NFU, CON TRITURADOR PRINCIPAL DE DOBLE EJE.**

<b>GRUPO B.- TRITURADOR PRINCIPAL DE DOBLE EJE.</b>				
<b>Fabricante</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Capacidad (t/h)</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Relación (kW/t/h)</b>
ECO GREEN Equipment	EEUU	8	110	13,8
Phoenix Industries, LLC	EEUU	4,5	175	38,9
GENOX RECYCLING TECH CO	China	-----	180	-----
SHERD-TECH*	Canadá	7,5	187	24,9

**Fuente:** Eco Green Equipment [46], Phoenix Industries [13], Genox Recycling Tech CO [14], Sherd-Tech [47]

*\*Sherd-Tech son proveedores únicamente de trituradores y el producto terminado tiene una granulometría aproximada de 2 pulgadas, los equipos cotizados por este fabricante tienen un valor de 713.460 USD FOB Ontario Canadá.*

Se estima que la planta ofertada por ECO-GREEN trabajaría a un 72% de su capacidad máxima, la planta de la marca Phoenix Industries, LLC estaría trabajando a 88% de su capacidad instalada, y por último GENOX [14] trabajaría al 100%.

Las plantas otorgadas por los fabricantes indicados en la tabla 2.10 cumplen con los requisitos establecidos en la sección 2.4, donde se estima el procesamiento de 2 a 3 toneladas de NFU por hora.

En cuanto a los costos de producción, estos se los puede relacionar con los kW.h consumidos para la producción de una tonelada de producto terminado; de los fabricantes mencionados en la tabla 2.10 el que menores costos representaría es el fabricante Eco-Green Equipment [46]; ya que este representa aproximadamente 32% menos de consumo energético que el fabricante Phoenix Industries y 56% menos que el fabricante Genox de procedencia China.

La calidad del producto terminado es otorgada siempre y cuando se adquiera los sistemas colectores de polvo que el fabricante oferta. El producto terminado garantizado tiene las características necesarias para este proyecto, además de la calidad garantizada del producto como se puede observar en la tabla 2.10, con los equipos ECO-GREEN se pudiese fabricar chip con una granulometría entre 16 y 44 mm, que pueden ser

destinados como TDF, mientras que con el fabricante Phoenix Industries, LLC se podrían producir chips de 19x19 mm

**TABLA 2. 10. LÍNEA COMPLETA PARA EL PROCESAMIENTO DE NFU CON TRITURADOR DE DOBLE EJE.**

DESCRIPCIÓN DE PLANTAS CON TRITURADOR DE DOBLE EJE.					
Fabricante	Capacidad de la planta(t/h)	Potencia (kW)	Relación (kW/t/h)	Precio USD	Producto Terminado
ECO GREEN Equipment	2,5 – 3	686	274,4	2.105.221 Ex-Works Factory Utah-USA	0-2 mm, 99,9% libre de acero y textiles
Phoenix Industries, LLC	1,5 – 3	912,5	405,6	3.170.000 FOB Las Vegas, Nevada, USA	0,5 - 3 mm, 99,9% libre de metal, 99,5% libre de textil
GENOX RECYCLING TECH CO	2	1260	630,0	1.397.700 FOB China	0,8 mm libre de metal y fibra

**Fuente:** Eco Green Equipment [46], Phoenix Industries [13], Genox Recycling Tech CO [14],

La garantía de los equipos ECO-GREEN es válida por doce (12) meses desde la fecha de primer uso, en base a una semana de 5 días de trabajo y de ocho (8) horas de trabajo por día, o dieciocho (18) meses a partir del momento en que se envía el artículo primero al Comprador, la que se produce la primera.

Mientras que el fabricante Phoenix Industries, LLC otorga una garantía de un año desde la puesta en marcha o 2.000 horas de operación, lo que ocurra primero.

Los costos de mantenimiento indicados por el fabricante ECO-GREN, son representados en cierta forma por los costos de desgaste estimados entre \$13 y \$16 USD por tonelada.

Si bien el precio de los equipos de Eco-Green (2.105.221 USD) [46] no es menor que el de los equipos de la marca GENOX con un valor total de 1.397.700 USD [14]; esto no garantiza que a largo plazo se obtenga mayores ventajas por utilizar equipos de procedencia CHINA. Es claro que actualmente en el mercado los equipos de procedencia Americana tienen un mayor costo de inversión, pero a largo plazo se obtienen mayores ventajas debido a su calidad.

De los fabricantes descritos en el Grupo B, **se selecciona el fabricante de procedencia Estado Unidense, ECO-GREEN Equipment [46]**, por representar mayores ventajas como:

- Porcentaje de ocupación de 72%, menor a los otros dos fabricantes, esto indica que se puede realizar una ampliación a futuro de hasta 38% de su producción.
- Costo de operación menor (274 kW.h/t) respecto a los otros dos fabricantes.
- Costo de inversión menor ((2.105.221 USD) comparado con Phoenix Industries, LLC de igual procedencia Estado Unidense, que indica un costo en sus equipos de 3.170.000 USD, para obtener un producto terminado de similares características.

De los dos fabricantes preseleccionados como lo son ZERMA Machinery & Recycling Technology [40], y ECO-GREEN Equipment [46], a continuación se realizara una selección definitiva.

- El costo de inversión en cuanto a los equipos de la marca Zerma tiene un menor valor (1'105.725 USD) respecto a los equipos de la marca ECO-GREEN con un valor de 2'105.221 USD.
- La planta ofertada por el fabricante ZERMA contempla una potencia instalada (890 kW), mientras que el fabricante

ECO-GREEN tiene estima que la potencia instalada de su planta sea de 686 kW; esto implica que ZERMA tenga similares costos de operación ya que se tendría un consumo aproximado de 296kW.h por cada tonelada procesada, mientras que la línea completa ofertada por ECO-GREEN tendría un consumo de 274 kW.h por cada tonelada producidas.

- ECO-GREEN garantiza que el producto terminado tenga una granulometría de 0 a 2 mm con 99,9% libre de aceros y textiles; mientras que ZERMA garantiza un producto terminado con una granulometría por debajo de los 4 mm, con el 30% de sus partículas menores a 2mm y 99% libre de metal y textiles. Los dos fabricantes pudiesen fabricar chips destinados como combustibles para cementeras; ZERMA garantiza producir CHIPS con una granulometría de aproximadamente 20 mm y 96% libres de metal; mientras que con los equipos de ECO-GREEN se pudiese producir CHIPS con un tamaño aproximado de entre 16 y 44 mm.
- La duración de las cuchillas se puede estimar en unas 3.500 horas de trabajo.

*Tomando en cuenta las ventajas técnico-económicas que representaría ZERMA [40] por sobre el fabricante ECO-GREN [46]; se selecciona los equipos fabricados por ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].*

ZERMA [40] es una compañía Alemana que tiene más de 60 años en el mercado mundial. Como tantas otras empresas mudó la fábrica a Shanghai por obvios ahorros en mano de obra para competir en los mercados actuales. La gran diferencia es que los directivos, técnicos e ingenieros alemanes se mudaron también a China y actualmente viven allí y controlan todos los procesos y la calidad personalmente.

Por otro lado los equipos Zerma tienen certificación TUV, ISO 9001-2000, CE. Muchos de los componentes importantes son de renombradas marcas como Siemens, SEW, Moeller entre otras [40].

Una descripción de los equipos principales utilizados para el proceso de reciclaje de neumáticos, recomendados por la marca ZERMA Machinery & Recycling Technology [40], se lista a continuación.

**TABLA 2. 11. EQUIPOS PRINCIPALES SELECCIONADOS.**

Ítem #	Cant.	Descripción	Potencia (kW)
1	1	<b>TRITURADOR PRINCIPAL.</b> ZERMA Single-shaft Shredder Type ZXS1500T	150
2	1	<b>TRITURADOR SECUNDARIO.</b> ZERMA Single-shaft Shredder Type ZTTS 1500	180
3	1	<b>GRANULADOR PRINCIPAL.</b> ZERMA Heavy duty Granulator Type GSH 800/1200-H9-3	132
4	1	<b>GRANULADOR SECUNDARIO.</b> ZERMA Heavy duty Granulator Type GSH 800/1200-H9-3	132

**Fuentes:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

**TABLA 2. 12. ESPECIFICACIONES DEL TRITURADOR PRINCIPAL.**

Descripción	
<b>ZXS 1500 T</b>	
<b>ZERMA Single-shaft Shredder Type ZXS1500T</b>	
Diámetro del rotor (mm)	750
Capacidad (t/h)	3
Peso (kg)	17.000
Ancho del rotor (mm)	1500
Velocidad del rotor (rpm)	46
Potencia (kW)	2 x 75
Cuchillas del rotor (pzs)	76
Cuchillas fijas (filas)	1
Potencia del empujador (kW)	11
Tamaño de criba/tamiz (mm)	>60
Volumen de la cámara de corte (m2)	7.75
Área de trabajo real (mm)	1500 x 1490

**Fuente:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

**TABLA 2. 13. ESPECIFICACIONES DEL TRITURADOR  
SECUNDARIO.**

Descripción	
<b>ZTTS 1500 ZERMA Single-shaft Shredder Type ZTTS 1500</b>	
Diámetro del rotor (mm)	760
Capacidad (t/h)	3
Peso (kg)	13.000
Ancho del rotor (mm)	1500
Velocidad del rotor (rpm)	45
Potencia (kW)	2 x 90
Cuchillas del rotor (pzs)	76
Cuchillas fijas (filas)	1 o 2
Tamaño de criba/tamiz (mm)	>16
Área de trabajo real (mm)	1005x1620

**Fuente:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

**TABLA 2. 14. ESPECIFICACIONES DEL GRANULADOR  
PRINCIPAL Y SECUNDARIO.**

Descripción	
<b>GSH 800/1200-H9-3 (1st) ZERMA Heavy duty Granulator Type GSH 800/1200-H9-3</b>	
Diámetro del rotor (mm)	800
Capacidad (t/h)	3
Peso (kg)	11.000
Ancho del rotor (mm)	1200
Potencia (kW)	132
Cuchillas del rotor (filas)	5 o 7 o 9
Cuchillas fijas (filas)	2 o 3
Tamaño de criba/tamiz (mm)	>8
Área de trabajo real (mm)	1150 x 915

**Fuente:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

### 2.6.2. Selección de Equipos Auxiliares.

Los equipos auxiliares utilizados en el proceso de reciclaje de neumáticos que son considerados por el fabricante seleccionado en la sección 2.6.1 se listan a continuación.

**TABLA 2. 15. EQUIPOS AUXILIARES DE LA PLANTA.**

Item #	Cant.	Descripción	Potencia (kW)
1	1	Banda transportadora de neumáticos enteros. (BANDA 1) Ancho de banda 1.200 mm.	2.2
2	1	Banda transportadora de trozos menores a 150 mm. (BANDA 2) Ancho de banda 580 mm.	1.5
3	1	Banda transportadora salida de trituradora secundario. (BANDA 3) Ancho de banda 580 mm.	1.5
4	1	Banda transportadora de metal (BANDA 4) Ancho de banda 980 mm.	1.5
5	1	Banda transportadora, ingreso a granulador principal. (BANDA 5) Ancho de banda 580 mm.	1.5
6	1	Separador magnético tipo banda.	1.5
7	1	Polea de cabeza magnética en BANDA 5	
8	1	Mesas Vibratorias para separación de materiales. (MV1)	30
9	1	Mesa Vibratoria para separación de materiales.(MV2)	30
10	1	Separador de fibras tipo cascada.	15
11	1	Separado de tambor magnético.	

**Fuente:** ZERMA Machinery & Recycling Technology [40].

Los ductos que forman parte del sistema neumático de transportación son dimensionados por el fabricante. Los sistemas

de separación de fibras y materiales ferrosos que son recomendados por el fabricante, garantizan la calidad del producto.

***Agua de enfriamiento.***

Para el proceso de producción se utilizara agua para el enfriamiento del triturador secundario, donde el consumo de agua es de 50l/h, a una presión de 3-5 bar y a una temperatura de 20°C [40].

Bajo estos parámetros se estima el calor que el agua de procesos debe ganar para que el equipo a refrigerarse tenga las condiciones de trabajo adecuadas.

El cálculo de la capacidad de la unidad enfriadora se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$Q = \dot{m} * C_p * (t_f - t_o)$$

Donde:

Q: Calor sensible (J/s)

m: Flujo másico de agua

Cp: Poder calorífico del agua (4.18 J/g°C).

tf: Temperatura final del agua 25°C.

to: Temperatura inicial del agua 20°C.

$$\dot{m} = q * \delta$$

Donde.

Q= Consumo de agua (lt/h)

δ= Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

Entonces:

$$\dot{m} = 50 * 1000 * \frac{1}{1000}$$

$$\dot{m} = 50 \text{ kg/h}$$

Por lo tanto:

$$Q = \left( \frac{50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3.6} \right) * \frac{4.18 \text{ J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (25 - 20)$$

$$Q = 292.6 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 0.29 \text{ kW} = 0.08 \text{ TR.}$$

La capacidad de la unidad refrigeradora es de 0.08 toneladas de refrigeración. Dado que este valor es relativamente bajo, el sistema de enfriamiento por lo general ya está incorporado en los trituradores de este tipo.

***Sistema contra incendios.***

El diseño del sistema contra incendios esta fuera del alcance de este documento, aunque se mencionara algunos datos que se deberán tomar en cuenta para diseñar dicho sistema.

La principal normativa que se debe tomar en cuenta para el almacenamiento de neumáticos es la NFPA 231D denominada como "Standard for Storage of Rubber Tires" [20]; para los neumáticos fuera de uso en el apéndice C de esta normativa se dan algunas recomendaciones tanto para el almacenamiento de los NFU como para el sistema contra incendios, se brinda ciertas generalidades que se deberán tomar en cuenta.

Así mismo se deberá tomar en cuenta la norma NFPA 13, para la instalación del sistema de rociadores, que será montado sobre los almacenes de Neumáticos fuera de uso enteros, de caucho triturado y el almacén de caucho en forma de gránulos y polvo que serán almacenados en big-bags.

Todo el diseño del sistema contra incendios para una planta de este tipo deberá ser desarrollada minuciosamente, aunque si bien la auto ignición del caucho es difícil, la extinción del mismo es extremadamente difícil debido al alto poder calorífico que estos tienen, alrededor de 40MJ/kg (similar al carbón).

Para el diseño de las tuberías y sistemas de distribución de agua se tomara en cuenta la normativa NFPA 14. Los requerimientos para los equipos de bombeo del sistema contra incendios deberán regirse a los parámetros establecidos en NFPA 20. En cuanto a los depósitos de agua que se requieren para el sistema se deberá tomar en cuenta la normativa NFPA 22, mientras que el suministro de agua se regirá en las especificaciones emitidas en NFPA 24.

En cuanto al suministro de agua se indica que el sistema deberá proveer un mínimo de 2.000 gpm durante un tiempo de 6 horas cuando las pilas de neumáticos tienen un volumen mayor a 1.416 m<sup>3</sup>. Para el presente proyecto se realizó la distribución de planta para que los almacenes de neumáticos tengan una capacidad de aproximadamente 1.500 m<sup>3</sup>.

## 2.7. Diseño de Tolvas y Bandas Transportadoras.

### 2.7.1. Criterios de Diseño.

*Los criterios tomados en cuenta para el diseño de las tolvas de alimentación son:*

Se procederá al diseño de la tolva de alimentación de la banda transportadora de trozos de caucho de 20 mm 96% libre de acero, la capacidad dependerá de la disponibilidad de espacio en las instalaciones de la zona de producción así como el ángulo necesario para que el material fluya libremente.

La tolva tendrá una pequeña cubierta, para evitar las posibles nubes de polvo en la zona de trabajo, la cubierta deberá acoplarse a la sección de la banda de alimentación, permitiendo que el material fluya sin obstrucción alguna.

*Para el diseño de las bandas transportadoras se tomara en cuenta los siguientes criterios.*

- La transportación de los materiales deberá representar el mínimo de peligrosidad para el personal de la planta.

- La construcción y montaje deben ser sencillos, rápidos y autosuficientes.
- De fácil mantenimiento.
- De bajo costo operacional.

Para el diseño de las bandas transportadoras se deberá tomar en cuenta los parámetros técnicos emitidos por CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), mediante el manual "Belt Conveyor for Bulk Material" [21].

Debido a la distribución de los equipos de producción otorgado por el fabricante, la banda transportadora extra que se diseñara para el transporte de caucho con granulometrias de 20 mm y 4% de acero, deberá ser tal que se adapte a las características de la planta.

### **2.7.2. Tolvas.**

La tolva deberá ser capaz de canalizar el caucho triturado de 20 mm, desde una banda de alimentación hacia la banda transportadora extra, ver planos.

La capacidad de la tolva dependerá únicamente de la geometría de la banda de alimentación y la banda de descarga, como se puede observar en la figura 2.16. Se estima que el 50% de la producción sea de trozos de caucho de 20 mm; por lo tanto durante este tiempo la Banda Transportadora 5 deberá de descargar su producto hacia una banda y esta descargara el producto a una Banda Extra. Por lo tanto la tolva deberá acoplarse a la geometría de estas dos bandas. Cabe recalcar que la Banda Transportadora 5 en el proceso de producción, normalmente descargaría el producto hacia la tolva del granulador principal, tal como se puede observar en los planos.



Figura 2. 16. Ubicación tolva extra.

La distancia existente entre la banda de alimentación y la banda de descarga es de aproximadamente 540 mm en la zona más alta y de 410 mm en la zona más baja; la pendiente de la banda de descarga es de aproximadamente  $13^\circ$ . Tanto la banda de alimentación como la banda de descarga tienen un ancho de 450 mm, las dos bandas son planas con una capacidad nominal de 3 t/h, trabajando a una velocidad de 0.5 m/s.

La sección de la descarga tendrá una sección rectangular y estará paralela a la banda de descarga, como se puede observar en la figura 2.18; el ancho de la descarga será de 350 mm. Los ángulos de la tolva deberán ser mayor al ángulo de fricción entre el caucho y las paredes de la tolva. El material a usar será acero ASTM A36.

Considerando la velocidad de la banda de alimentación de 0.5 m/s, el diámetro de la polea motriz de 200 mm; podremos estimar la trayectoria del material al abandonar la banda de alimentación; este cálculo también nos ayudara a estimar la ubicación más adecuada de la banda de descarga.

En el instante en que el material abandona la banda se cumple que [48]:

$$\frac{v^2}{g * r} = \cos\beta$$

Donde:

v: velocidad de la banda

g: aceleración de la gravedad

r: radio de la polea.

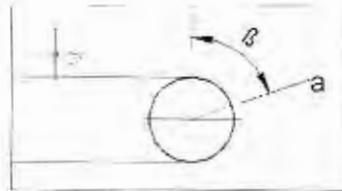
B: ángulo de fuga del material desde la banda.

$$\frac{v^2}{g * r} = \frac{0.5^2}{9.8 * 0.2} = 0.1275$$

Al abandonar la banda de alimentación el material tiene una trayectoria tangente al radio de la polea de cabeza, el punto "a" por donde el material abandona la banda está determinado por el "ángulo de fuga del material desde la banda"; como se lo indica en la figura 2.17.

Para el presente caso se tiene una banda horizontal trabajando a una velocidad relativamente baja, por lo tanto si la expresión

$v^2/gr$  es menor a la unidad; la descarga empieza en el punto "a"; en donde el valor está reflejado por el  $\cos \beta$  [49].



**Figura 2. 17.** Punto de fuga del Material de la banda.

Por lo tanto el ángulo es de:

$$\cos \beta = 0.1275$$

$$\beta = 82^\circ$$

La distancia recorrida del material a través de la tangente antes mencionada, se estima con la expresión  $x=v*t$ ; mientras que la trayectoria vertical que realiza el material que es afectada por la gravedad es  $y=gt^2/2$ .

Según la ubicación de la banda de alimentación y descarga, el punto más alto de descarga es de 447 mm, desde el punto de descarga; por lo que podríamos estimar el tiempo con la expresión [48]:

$$y = \frac{gt^2}{2}$$

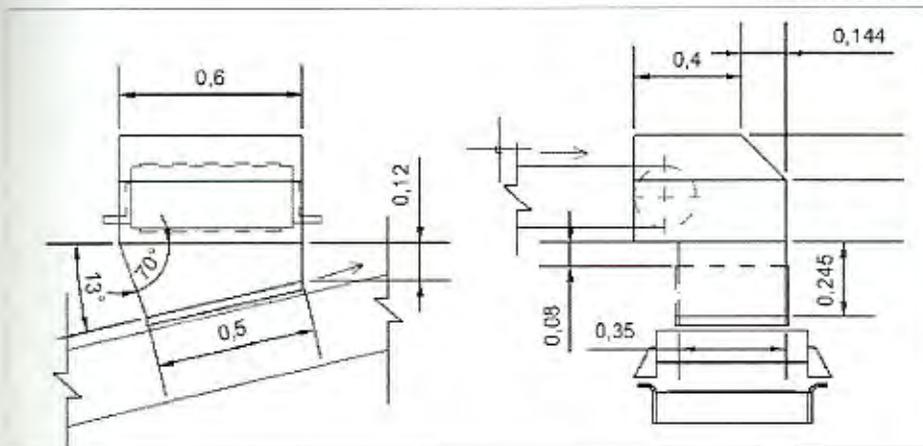
$$t = 0.30 \text{ s.}$$

Entonces la trayectoria:

$$X = v \cdot t = 0.5 \cdot 0.3 = 0.15 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

### **Diseño geométrico.**

El ángulo de inclinación de la tolva será de  $60^\circ$  y  $70^\circ$ , como se puede observar en la figura 2.18, estos ángulos son mayores al ángulo de fricción entre el material y el acero, por lo tanto no se tendrá problemas de flujo.



**Figura 2. 18.** Dimensiones principales de tolva.

El ancho de la abertura para evitar la formación de arcos por superposición de partículas, deberá ser 3 a 4 veces mayor que el tamaño de la partícula [48]. Las partículas de caucho son de aproximadamente 20 mm por lo que el ancho mínimo sería de 80 mm; el ancho seleccionado será de 350 mm x 500 mm; de tal forma que el caucho pueda fluir libremente. Este ancho se acopla al ancho de la banda de descarga.

Tomando en cuenta la trayectoria del material y considerando que este no se almacenara en la tolva, el material solamente impactara sobre una cara de la tolva. La presión de impacto sobre la cara de la tolva se calcula con la siguiente ecuación [48].

$$P = \rho \cdot v^2 \cdot \text{sen}^2\theta$$

Donde:

P=presión de impacto del material.

V=velocidad de impacto.

$\rho$ =densidad aparente.

$\theta$ =ángulo de impacto

La velocidad de impacto asumiendo que el material impactara verticalmente sobre la pared inclinada de la tolva, de tal forma que la presión actúa en la parte inclinada con un ángulo  $\theta=20^\circ$  la velocidad será [48].

$$V = \sqrt{2 * g * h}$$

Donde:

$g$ = aceleración de la gravedad

$h$ = distancia desde el punto de descarga del material hasta el punto analizado de la tolva.

Por lo tanto se tiene que:

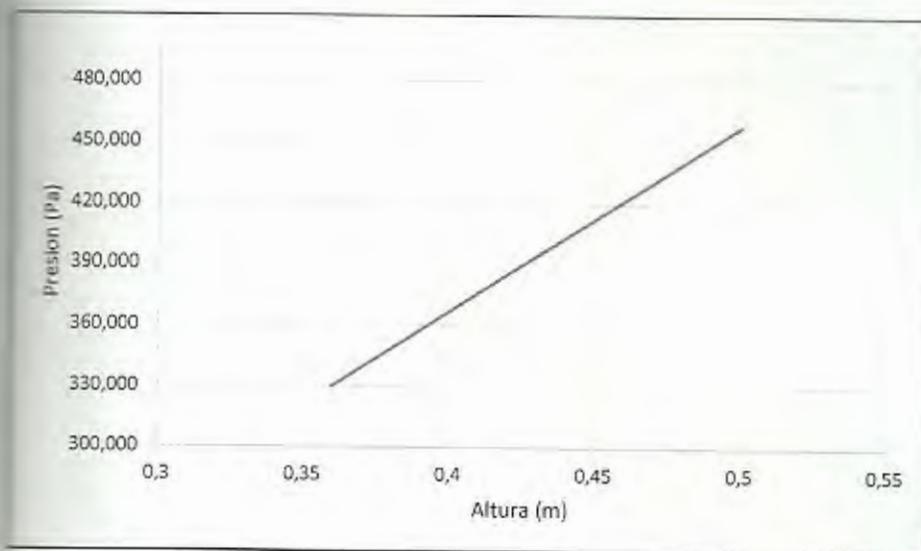
$$p = 2 * \rho * g * h * \text{sen}^2\theta$$

Donde la altura mínima de impacto es de aproximadamente 360 mm y la altura máxima de 500 mm.

Como se puede observar en la figura 2.19, la presión de impacto máxima sobre una cara de la tolva es de 458 Pa.

Con esta presión de impacto, modelamos la tolva en el programa Autodesk Inventor, y se realiza una simulación de los esfuerzos de Von Mises sobre las paredes de la tolva donde el material

impacta; los resultados de la simulación los podemos observar en la figura 2.20. Se considera que la tolva estará fija a la estructura de la banda de alimentación debido al espaciamiento del sitio. Así mismo se considera la aceleración de la gravedad.



**Figura 2. 19.** Presión de impacto cara de tolva.

Con un espesor de 1.5 mm; los esfuerzos debido al impacto del material y al peso del mismo, no sobrepasan la fluencia del material, teniendo como máximo esfuerzo de 12.91 MPa, donde el esfuerzo a la fluencia del acero ASTM A36 es de 250 MPa aproximadamente. Así mismo el software calcula la máxima

deformación que es de 0.8 mm. Para propósitos de fabricación de la tolva, el acero ASTM A36 tendrá un espesor mínimo de 3 mm.

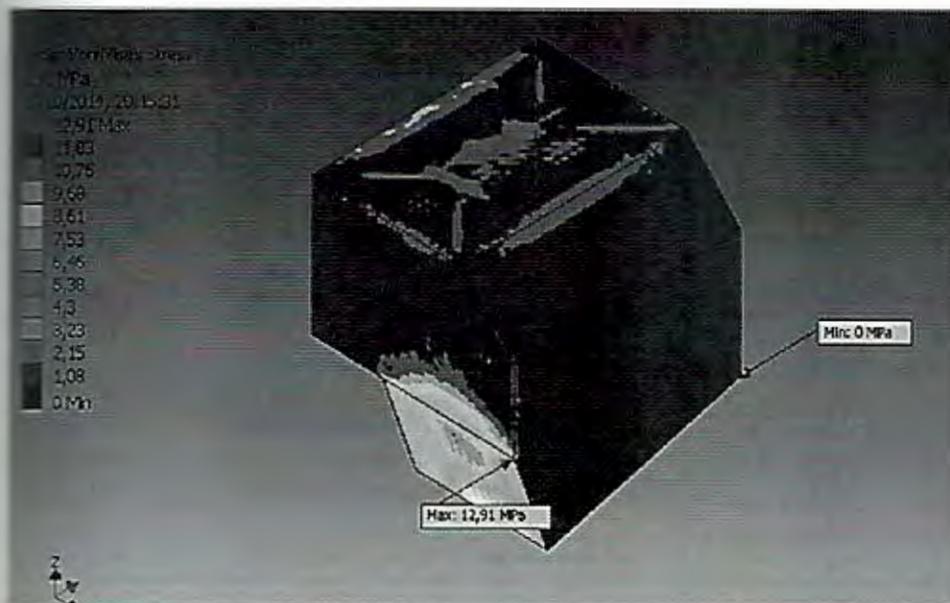


Figura 2. 20.Esfuerzo Resultante en Tolva de Alimentación.

### 2.7.3. Bandas Transportadoras.

Parámetros requeridos de diseño.

Se denominara a la banda diseñada como Banda Transportadora Extra (BTe).

***Material a transportar.-***

- Trozos de caucho con una granulometría aproximada de 20 mm, 96% libre de acero.
- Densidad aparente.- aproximadamente 400 kg/m<sup>3</sup>.
- Angulo de reposo del material 32°
- Angulo de sobrecarga. 5 – 15°.
- Angulo máximo de inclinación recomendado en bandas llanas. 18°
- Angulo máximo de inclinación recomendado en bandas moldeada hendida 30-35°
- Temperatura del material. 25 – 27°
- Material fuertemente abrasivo.

***Capacidad requerida de transportación.***

Dado que la planta procesa como máximo 3 toneladas de neumáticos fuera de uso por cada hora, la banda transportadora tendrá como capacidad requerida de transporte de 3 t/h.

***Trayectoria de la banda transportadora.-***

El punto de carga para el transportador estará por debajo de la banda transportadora que lleva el caucho de 20 mm y 96% libre

de metales, el cual normalmente descarga en la tolva del granulador principal. Para uso del transportador a diseñar, la tolva de descarga del material deberá ser tal que en un tiempo determinado este desemboque en las tolvas del granulador y en otro instante se descargue el material en la banda transportadora extra de la cual se realizara el diseño.

En los planos se puede observar la ubicación de la banda transportadora, así como las restricciones por la movilización de montacargas por debajo de la misma. Se considera un montacargas para 4 toneladas. Y se recomienda que la altura del montículo de caucho no sea mayor a 3 m.

#### ***Ancho de la cinta transportadora.-***

El ancho de la cinta transportadora mínimo, se lo puede determinar en base al tamaño de los materiales a transportar; CEMA indica que para tamaños de 50 mm o menores se pueden usar como mínimo anchos de banda de 450 mm (18"). Como regla general CEMA indica que el ancho de la banda tendrá como mínimo 3 veces en tamaño del trozo máximo [21].

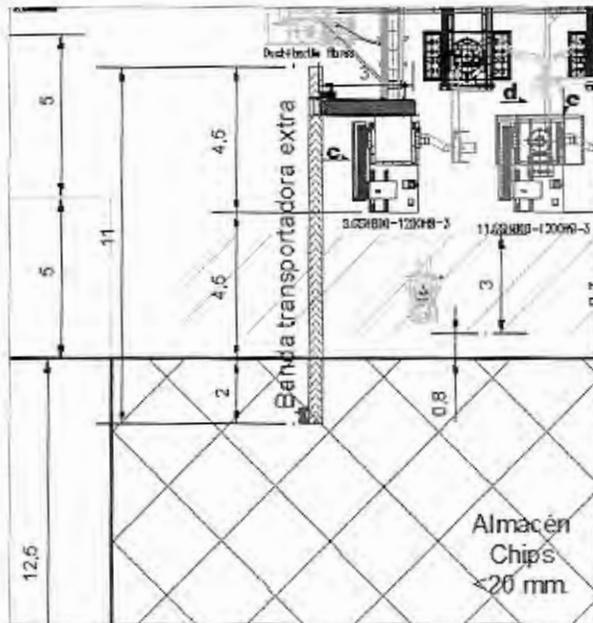


Figura 2. 21. Vista Planta de la trayectoria de la Banda extra.

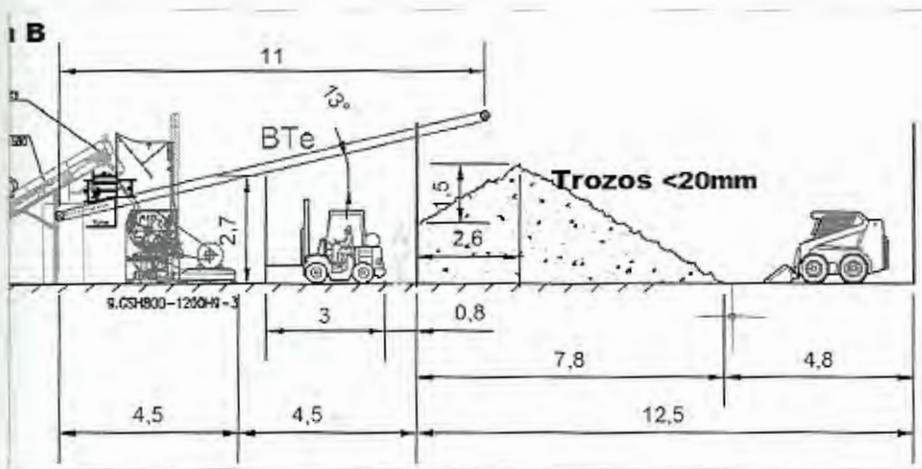
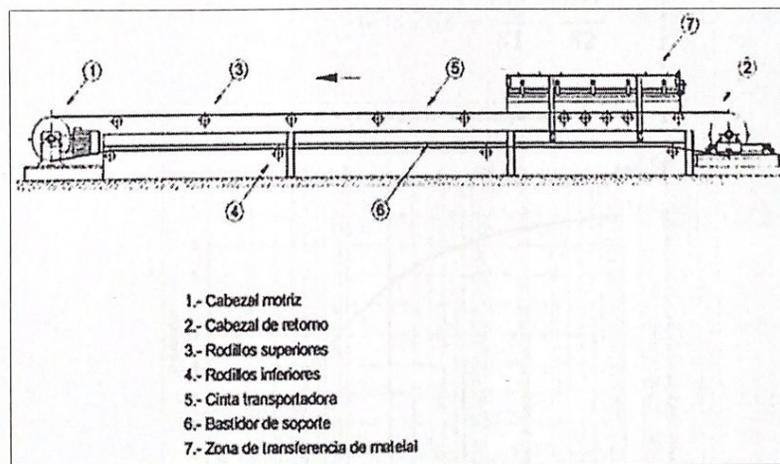


Figura 2. 22. Vista lateral de la banda extra.

### **Velocidad de la banda transportadora.-**

Los valores máximo recomendados de velocidad en función del tamaño de las partículas así como del ancho de la banda y la densidad del producto, indican que para el caucho granulado la velocidad máxima recomendada es de aproximadamente 2.5 m/s. Se considera una velocidad de 0.5 m/s ya que esta es similar a la velocidad de la banda transportadora de alimentación, denominada en el plano como "Banda número 5".

Una banda transportadora consta básicamente de los elementos mostrados en la figura 2.23



**Figura 2. 23.** Elementos de una Banda Transportadora. [29]

A continuación se calculará algunos requisitos a tomar en cuenta para la selección o diseños de los elementos de la banda transportadora.

La potencia teórica requerida para movilizar el material desde el punto de carga hasta la descarga, se ve afectada por las fuerzas que se deben ejercer sobre la cinta transportadora para movilizar la carga; estas fuerzas son [49]:

- Fuerza necesaria para movilizar la cinta vacía y los componentes de giro ( $F_1$ ).
- Fuerza necesaria para movilizar la carga horizontalmente ( $F_2$ ).
- Fuerza necesaria para elevar la carga ( $F_3$ ).

La suma de estas fuerzas será la fuerza total a ejercer sobre la banda.

Cabe recalcar que las tensiones en la cinta transportadora dependerán de otros factores de fricción, debido a rascadores, arrastre debido a las guías de carga, entre otras.

**Factores de fricción que afecta a las fuerzas.**

Para una banda transportadora en condiciones normales de trabajo el coeficiente de fricción debido a las partes giratorias del transportador es de aproximadamente 0.020.

Así mismo se debe considerar un factor de fricción secundario  $C$ , que considera la fricción debido a los tambores, fricción de rascadores, entre otros.

La ecuación para el factor  $C$  que relaciona la longitud proyecta de la cinta inclinada es:

$$C = 15.9L^{-0.61} + 0.77$$

$$C = 15.9 * 11^{-0.61} + 0.77$$

$$C = 4.45$$

La ecuación anterior se deriva de una gráfica, según DIN 22101; la gráfica se puede ver en la figura 2.24.

**Peso de partes móviles de la banda.**

El peso de las partes móviles de la banda transportadora, toma en cuenta el peso de la cinta, el peso de los rodillos superiores y

el peso de los rodillos de retorno. La ecuación para el cálculo del peso de las partes móviles de la banda es la siguiente [49].

$$G = 2Gb + \frac{Grs}{S1} + \frac{Gri}{S2}$$

Donde:

$G_b$ , peso de la cinta transportadora.

$G_{rs}$ : Peso de rodillos superiores.

$G_{ri}$ : Peso de rodillos inferiores.

$S_1$ : Separación de rodillos superiores.

$S_2$ : Separación de rodillos inferiores.

$$G = 2Gb + \frac{Grs}{S1} + \frac{Gri}{S2}$$

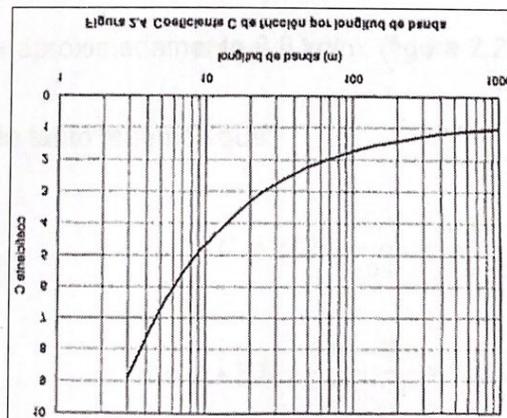


Figura 2. 24. Coeficiente de Fricción por longitud de Banda [49].

La separación de los rodillos superiores es de 1,5 m; mientras que la separación de los rodillos inferiores es de 3 m. Estos valores están por debajo del valor máximo de separación recomendado por CEMA. Dado que el transportador es para servicio liviano, se selecciona rodillos de clase CEMA B4 y debido a que con los rodillos tipo "Flat Carrier" es suficiente para la capacidad deseada de transportación; los pesos de estos según el ancho de la banda y según el fabricante PPI (Precision Pulley & Idler) se puede observar en la figura 2.25.

Para los rodillos superiores en bandas de 18" o 450 mm; el peso es de 19 lbs. (8.6 kg.). Mientras que los rodillos de retorno en calidad CEMA B4 el peso de estos para bandas de 18" es de 19 lbs. (8.6 kg.). El peso de la cinta transportadora seleccionada es de aproximadamente 8.8 kg/m. (figura 2.29)

Por lo tanto tenemos que:

$$G = 2Gb + \frac{Grs}{S1} + \frac{Gri}{S2}$$

$$G = 2 * 8.8 + \frac{8.6}{1.5} + \frac{8.6}{3} = 26.2 \text{ kg}$$

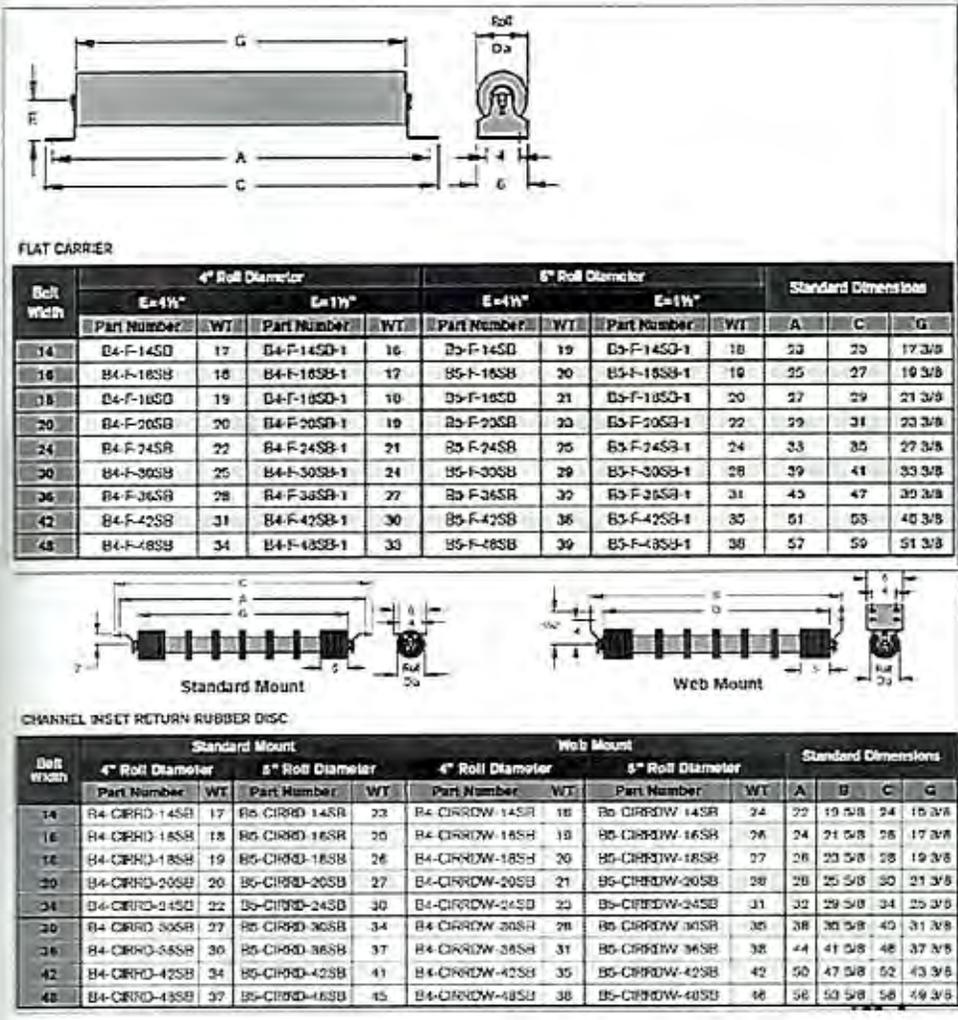


Figura 2. 25. Características de Rodillos CEMA B [21]

La fuerza para mover la cinta vacía se la puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F1 = [C * f * L * G] * g$$

$$F1 = [3.75 * 0.020 * 15.5 * 26.2] * 9.8$$

$$F1 = 298.4 \text{ N.}$$

La fuerza para movilizar el material horizontalmente, esta es la fuerza necesaria para vencer la inercia del material [49]. Esta fuerza puede ser calculada de la siguiente manera.

$$F2 = \left[ \frac{C * f * L * Qt}{3.6 * v} \right] * g$$

Donde Qt es la capacidad a transportar en t/h.

V: velocidad de la banda: 0.5 m/s

$$F2 = \left[ \frac{4.45 * 0.020 * 11 * 3}{3.6 * 0.5} \right] * 9.8$$

$$F2 = 16 \text{ N.}$$

La fuerza para elevar la carga se puede calcular mediante la ecuación.

$$F3 = \left[ \frac{H * Q}{3.6 * v} \right] * g$$

$$F3 = \left[ \frac{2.5 * 3}{3.6 * 0.5} \right] * 9.8$$

$$F3 = 40.8 \text{ N.}$$

La potencia requerida está compuesta por la potencia necesaria para movilizar la carga más la potencia requerida para vencer las

fuerzas de fricción de las guías de carga que puede ser calculada por.

$$P_s = 0.08 * v * L$$

$$P_s = 0.08 * 0.5 * 1.5$$

$$P_s = 0.06$$

Para determinar la potencia necesaria para movilizar la carga y vencer la fricción, esta se calcula a partir de la suma de las fuerzas antes calculadas y la velocidad de la banda.

$$P_t = \frac{[F_1 + F_2 + F_3] * v}{1000} + P_s$$

$$P_t = \frac{[298.4 + 16 + 40.8] * 0.5}{1000} + 0.06$$

$$P_t = 0.23 \text{ kW}$$

Así mismo se debe considera la eficiencia de los motores que por lo general es de aproximadamente 85 a 90% de la potencia instalada del motor. La eficiencia mecánica debido a los reductores de engrane recto según CEMA es de aproximadamente 90%. Por lo tanto la potencia requerida para el motor se estima en:

$$P_m = \left( \frac{P_t}{e * n} \right)$$

Dónde:  $n$  es la eficiencia del motor;

$e$ : es la eficiencia del sistema de transmisión.

$$P_m = \left( \frac{0.23}{0.9 * 0.85} \right)$$

$$P_m = 0.3 \text{ kW} = 0.40 \text{ HP}$$

Para la banda transportadora diseñada se seleccionara un motor de  $\frac{1}{2}$  HP.

Para la selección de la cinta transportadora, esta deberá ser capaz de soportar las tensiones existentes a lo largo de la misma.

Las tensiones en la polea motriz son, la tensión en el lado flojo, en el lado apretado y la tensión efectiva. Dado el diagrama de fuerzas en la polea motriz, como se indica en la figura 2.26; se tiene que:

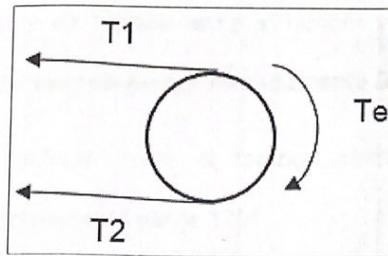
$$T_e = T_1 - T_2$$

Donde:

$T_e$ : Tensión efectiva.

$T_1$ : Tensión en el lado apretado.

$T_2$ : tensión en el lado flojo.



**Figura 2. 26.** Diagrama de fuerzas de la polea motriz.

Para determinar la tensión efectiva, esta depende de la potencia teórica y de la velocidad de la banda.

$$T_e = \frac{1000 * P_t}{v}$$

$$T_e = 1000 * \frac{0.23}{0.5} = 460 \text{ N.}$$

La tensión en el lado apretado (T1) se la determina mediante la siguiente ecuación.

$$T_1 = T_e * m$$

Dónde: m es el coeficiente de accionamiento calculado de la siguiente manera.

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{u * \theta \pi / 180} - 1} \right]$$



$\mu$ : es el coeficiente de fricción entre el tambor y la banda, se estima que el este valor es de aproximadamente 0.35.

$\theta$ : Angulo de contacto entre el tambor motriz y la cinta transportadora; aproximadamente  $120^\circ$

Entonces:

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{0.35 \cdot 120\pi/180} - 1} \right] = 1.92$$

De tal forma que:

$$T1 = 460 * 1.92 = 883 \text{ N}$$

Normalmente los transportadores mayores a 50 m deben contemplar de contrapesos, ya sea estos automáticos o por gravedad; para nuestro caso ya que se tiene un transportadora de aproximadamente 11 m se utilizan tensores manuales o de husillo por lo tanto el valor de la tensión en lado apretado según CEMA se incrementara en un 20%; así tenemos que:

$$T1 = 883 * 1.20 = 1059.84 \text{ N.}$$

La tensión en la banda debido a la diferencia de altura se calcula mediante la ecuación:

$$T_{banda} = Gb * H * g$$

Donde:

Gb: Peso de la banda (8.8 kg/m).

H: Diferencia de altura entre el punto de carga y descarga (2.5 m).

G: Gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

Entonces:

$$T_{banda} = 8.8 * 2.5 * 9.8 = 215.6 \text{ N.}$$

Esta tensión adicional debido a la altura neta de descarga; se debe sumar a la tensión en el lado flojo y en el lado apretado.

De tal forma que la tensión en el lado apretado es:

$$T1' = 1059.84 + 215.6 = 1275.44 \text{ N.}$$

La tensión en el lado flojo es:

$$T2 = T1' - Te = 1275.44 - 460 = 815.44 \text{ N.}$$

Para la selección de la banda adecuada se toma en cuenta la tensión unitaria de trabajo; la cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Tu = \frac{T1'}{1000 * b}$$

$$Tu = \frac{1275.44}{1000 * 0.45} = 2.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 2.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Esto significa que la banda a seleccionar deberá ser capaz de soportar 2.83 N por milímetro de ancho de la banda. Este valor es relativamente bajo por lo que se seleccionara una cinta para servicio liviano.

Si bien el ángulo máximo de inclinación es de  $18^\circ$  y en nuestro diseño se tiene una pendiente de  $13^\circ$ ; para garantizar la transportación del caucho se seleccionara una cinta con una superficie ranurada o superficie con nervios. Según la forma de las ranuras y la altura de las ranuras en ángulo de inclinación máximo de transportación para el caucho pudiese ser de hasta  $30^\circ$  como se lo indica al inicio de este subcapítulo. En la figura 2.27 se muestra un ejemplo de cinta con ranuras trabajando en la industria de reciclaje de neumáticos fuera de uso.

Así mismo en la figura 2.28 muestra un rollo de cinta con nervios en "V".

Por lo tanto la banda seleccionada es del tipo EP 200/2 donde la máxima tensión de trabajo es de 20 kN/m como se indica en la figura 2.29. Este tipo de cinta si bien está sobredimensionado

para la tensión máxima en la cinta, son las que el fabricante Canning Conveyor oferta para este tipo de aplicaciones con superficies ranuradas.



Figura 2. 27. Cinta con nervios en la industria del reciclaje de NFU. [42]



Figura 2. 28. Rollo de Cinta transportadora con nervios en V [50].

TYPE	THICKNESS	WEIGHT	MINIMUM DRUM DIAMETER			MAX WORKING TENSION
RATING	O/A (MM)	KG/M2	DRIVE (MM)	TAIL (MM)	SNUB (MM)	KN/M/WIDTH
EP200/2 2+1	5.5	6.2	250	200	200	20
EP250/2 2+1	5.5	6.2	250	250	200	25
EP315/2 3+1.5	7.0	8.0	315	250	200	31
EP315/3 3+1.5	8.0	8.6	315	315	250	31
EP400/3 3+1.5	8.0	8.6	350	315	250	40
EP400/3 4+2	9.5	12.0	400	315	250	40

Figura 2. 29. Características de Cinta seleccionada. [50].

En la figura 2.29 se indica el tipo de nervio C15. Según el fabricante Canning Conveyor la descripción de este tipo de ranurado es como se lo indica en la figura 2.30, tomando en cuenta el ancho de la banda que es de 450 mm.

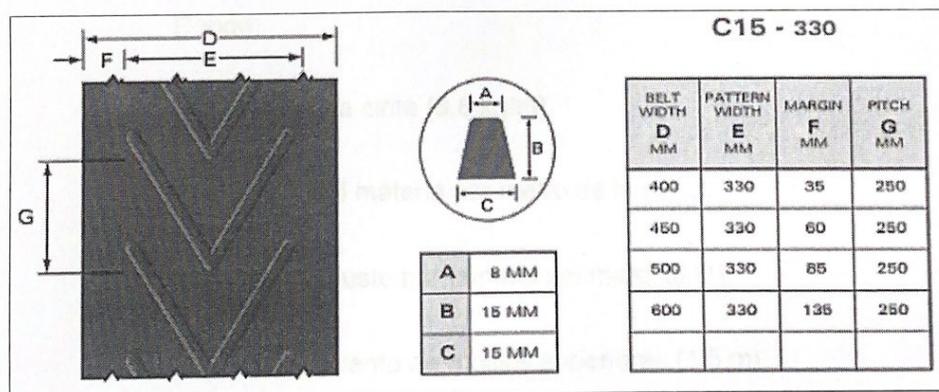


Figura 2. 30. Descripción de cinta seleccionada con nervios en "V". [50]

*Para los limpiadores de fajas moldeadas hendidas se recomienda el uso de limpiadores tipo rotatorios con hojas de caucho [45].*

### **Selección de rodillos.**

Dado que la carga sobre los rodillos es ligera; los rodillos de la clase CEMA B4 donde la carga permisible es de aproximadamente 220 lb, es más que suficiente para la carga que producida en éstos.

La carga sobre los rodillos superiores se calcula de la siguiente manera [48]:

$$Crs = [(Gb + k * Pm) * S1] + Cdr$$

Donde:

Gb: Peso de la cinta (8.8 kg/m).

Pm: Carga del materia por metro de la banda.

K: factor de ajuste por tamaño del material (1).

S1: Espaciamiento de rodillos superiores (1.5 m)

Cdr: Carga por desalineamiento de rodillos.

La carga del material por metro de la banda es:

$$P_m = \frac{Q}{3.6 * v} = \frac{3 \text{ tph}}{3.6 * 0.5 \text{ m/s}} = 1.7 \text{ kg/m}$$

La carga por desalineamiento de rodillos puede ser calculada mediante la ecuación:

$$C_{dr} = \frac{m * T_1}{g(6 * S_1)}$$

Donde:

m: desalineamiento de los rodillos (0.003 m.)

T1: Tensión en el lado apretado (1275.44 N)

g: Gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>).

S1: Separación de rodillos superiores (1.5 m.).

$$C_{dr} = \frac{0.003 * 1275.44}{9.8 * (6 * 1.5)} = 0.044$$

Por lo tanto la carga en los rodillos superiores es de:

$$C_{rs} = [(8.8 + 1 * 1.7) * 1.5] + 0.044$$

$$C_{rs} = 15.75 \text{ kg} = 34.7 \text{ lbs.}$$

Para los rodillos inferiores la carga es:

$$C_{ri} = G_b * S_2 + C_{dr}$$

$$C_{ri} = 8.8 * 3 + 0.044$$

$$C_{ri} = 26.44kg = 58.17 lbs.$$

Por lo tanto los rodillos clase CEMA B, resistirían estas cargas. Las capacidades de carga para los rodillos en esta calidad se pueden observar en la figura 2.34. (220 lbf)

BELT WIDTH	TROUGHING ANGLE			RETURN & FLAT	UNEQUAL	
	30°	35°	45°		20°	35°
18	410	410	410	220		
24	410	410	410	190	360	410
30	410	410	410	165	240	390
36	410	410	380	155	200	240
42	390	363	351	140	170	240
48	390	353	342	123	160	200

Figura 2. 31. Capacidades de carga de rodillos clase CEMA B [21]

### *Díámetro de los tambores*

Para la polea motriz y polea conducida, el diámetro mínimo recomendado por el fabricante de la cinta es de 200 mm; este valor será el seleccionado para la Banda Extra. Cada fabricante

de cintas transportadoras recomiendan los diámetros de las poleas, y esto depende del tipo de carcasa el tipo de cubierta, el espesor así como el ancho de la banda.

### ***Diámetro del eje de tambores.***

Por otro lado se debe seleccionar el diámetro mínimo del eje del tambor motriz y conducido. Para calcular el diámetro del mismo se debe considerar dos criterios como lo es la deformación por flexión y torsión [48].

Para esto se debe calcular la fuerza resultante sobre los tambores motriz y conducido, como se indica a continuación [48].

$$R_{t1} = (T1' + T2) * \text{sen} \frac{\theta}{2} \text{ para el tambor motriz}$$

$$R_{t1} = (2T2) * \text{sen} \frac{\theta}{2} \text{ para el tambor conducido}$$

Por lo tanto la tensión resultante en el tambor motriz es:

$$R_{t1} = (1275.44 + 815.44) * \text{sen} \frac{180}{2}$$

$$R_{t1} = 2090.88 \text{ N}$$

Mientras que la fuerza resultante en el tambor conducido es:

$$Rt1 = (2 * 815.44) * \text{sen} \frac{180}{2} = 1630.88 \text{ N}$$

Para determinar el torque sobre el eje del tambor se tiene que [46].

$$T = \frac{Pm * 60 * 10^6}{2\pi * wt}$$

Donde.

T= torque N.mm

Pm= Potencia del motor kW

wt= velocidad angular del tambor r.p.m

Para determinar la velocidad angular del tambor se puede utilizar la siguiente ecuación [43].

$$wt = \frac{60.000 * v}{\pi * D}$$

Donde:

V= velocidad de la banda (m/s)

D= diámetro del tambor (mm)

Por lo tanto se tiene que:

$$wt = \frac{60.000 * 0.5}{\pi * 200} = 47.7 \text{ r.p.m.}$$

Entonces el torque es:

$$T = \frac{1 * 60 * 10^6}{2\pi * 47.7}$$

$$T = 200.194,89 \text{ N.mm}$$

Para determinar el momento flector sobre el eje del tambor se tiene que [46].

$$M = \frac{Rt * (Bc - F)}{4}$$

Donde:

Bc: Distancia entre apoyos (850 mm)

F: ancho de la cara del tambor (455 mm)

Entonces se tiene que:

$$M = \frac{2090.88 * (850 - 455)}{4}$$

$$M = 412.948,8 \text{ N.mm}$$

Con estos valores de torque y momento flector se puede determinar el diámetro mínimo del eje del tambor motriz mediante la siguiente ecuación [48].

$$ds = \sqrt[3]{\frac{16 * \eta}{\pi * Sy} (\sqrt{(kb * M)^2 + (T)^2})}$$

Donde:

n: Factor de seguridad (5.8 para fatiga)

Sy= esfuerzo de fluencia del material de eje (acero AISI C1018;

Sy=370 MPa)

kb: 2.5 (factor por carga de transmisión)

M: momento flector (N.mm)

T: Torque (N.mm)

Entonces se tiene que:

$$ds = \sqrt[3]{\frac{16 * 5.8}{\pi * 370} \left( \sqrt{(2.5 * 412.948,8)^2 + (200.194,89)^2} \right)}$$

$$ds = 43.78 \text{ mm.}$$

*Por lo tanto para el eje del tambor motriz de 200 mm de diámetro se selecciona un eje de Acero AISI C1018 con un diámetro de 2".*

La selección del eje del tambor conducido se realizara mediante la tabla 2.16 donde se toma en cuenta el ancho de la cara y la fuerza resultantes (1.6 kN).

**TABLA 2. 16. DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA EJES DE TAMBOR SEGÚN LA FUERZA RESULTANTE**

Diámetros recomendados por Dodge para ejes de tambores en función de la fuerza resultante  $R_t$  (kN)

diám. del eje (pulg)	BC - F (mm)	ANCHO DE CARA DEL TAMBOR (pulg) (mm)															
		12 300	14 350	16 400	18 450	20 500	22 550	26 650	32 800	38 950	44 1100	51 1275	57 1425	63 1575	66 1650		
1 3/16	50	4.5	4.1	3.5	3.0	2.6	2.4	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7		
	150	2.5	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4		
	250	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3		
	350	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2		
1 7/16	75	6.7	6.7	6.2	5.3	4.9	4.2	3.5	2.8	2.3	2.0	1.6	1.5	1.3	1.3		
	150	4.5	4.5	4.2	3.7	3.2	2.9	2.4	1.9	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8		
	250	3.1	3.1	2.9	2.5	2.2	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6		
	350	2.4	2.4	2.3	2.0	1.7	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4		
1 11/16	75	10.7	10.7	10.7	10.2	8.9	8.0	6.7	5.3	4.4	3.7	3.2	2.8	2.5	2.4		
	150	7.1	7.1	7.1	7.1	6.2	5.3	4.5	3.6	2.9	2.5	2.1	1.9	1.7	1.6		
	250	4.9	4.9	4.9	4.9	4.3	3.8	3.1	2.5	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.2		
	400	3.5	3.5	3.5	3.3	2.9	2.6	2.2	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8		
1 15/16	75	16.5	16.5	16.5	16.5	15.6	13.8	11.6	9.4	7.6	6.2	5.3	4.9	4.4	4.2		
	150	11.1	11.1	11.1	11.1	10.7	9.4	8.0	6.2	4.9	4.4	3.7	3.3	3.0	2.9		
	250	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	6.7	5.3	4.3	3.6	3.0	2.6	2.3	2.1	1.9		
	400	5.3	5.3	5.3	5.3	4.9	4.5	3.7	3.0	2.5	2.1	1.8	1.6	1.4	1.4		
2 3/16	75	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	22.7	18.7	14.7	12.5	10.7	8.9	8.0	7.1	6.7		
	200	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.5	10.2	8.5	6.7	5.8	4.9	4.4	4.0	3.8		
	300	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.4	7.6	6.2	4.9	4.3	3.7	3.3	2.9	2.8		
	450	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	5.3	4.4	3.6	3.1	2.6	2.4	2.1	2.0		

Fuente: Software para diseño de bandas transportadoras [48].

Por lo tanto el eje seleccionado para un ancho de cara del tambor de 455 mm y una fuerza resultante de 1.9 kN; se tiene un diámetro recomendado de 1 11/16 plg.

## 2.8. Distribución de Planta.

Una buena distribución de planta es aquella que representa condiciones óptimas de seguridad, un buen aprovechamiento del terreno disponible con proyección a futuros crecimientos de la planta.

Se toma en cuenta la producción de la planta si esta trabajaría al 100% de tal forma que se tome en cuenta futuros aumentos de producción, ya que el primer año la planta trabajaría al 70% de la capacidad instalada, con un aumento anual de 5%.

Las áreas a tomar en cuenta para determinar las dimensiones de la planta son:

- Almacenamiento de Neumáticos fuera de uso.
- Área de Producción
- Almacenamiento de Producto terminado.
- Área de Oficinas.
- Parqueadero.
- Zonas de carga y descarga.
- Garita.
- Zonas de tránsito.
- Garita.
- Áreas verdes.

Para determinar las dimensiones de la nave para almacenamiento de neumáticos fuera de uso, se tomó en cuenta una capacidad para almacenamiento de aproximadamente 15 días de producción en el primer año de funcionamiento.

Datos.

- Neumáticos utilizados para 15 días de producción.- 16.970 livianos y 1.385 pesados.
- Densidad de los neumáticos enteros.- Aproximadamente 163 kg/m<sup>3</sup>
- Peso de los neumáticos Livianos.- 9.9 kg/NFU
- Peso de los neumáticos pesados.- 52.7 kg/NFU

**TABLA 2. 17. VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO DE NFU**

Tipo de NFU	Peso Total (kg).	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen de diseño (m <sup>3</sup> )
Livianos	168.000	1.031	1.000
Pesados	73.000	447.8	500

Se recomienda que la altura máxima para el almacenamiento de NFU sea de 3m, y de que cada montículo tenga como máximo un volumen de 1.000 m<sup>3</sup> [36].

Para el almacenamiento de  $1.000 \text{ m}^3$  de neumáticos del tipo liviano y con una altura de 3 m como máximo, se estima que el área ocupada sobre el suelo del almacén sea aproximadamente de  $334 \text{ m}^2$ . Por lo tanto el área ocupada para el almacenamiento de neumáticos livianos es de  $25 \times 14 \text{ m.}$ ; el área ocupada por los neumáticos pesados es de  $14 \times 14$  lo que podría representar un volumen de hasta  $588 \text{ m}^3$  con una altura de 3 m.

La distribución de las zonas de almacenamiento de neumáticos será tal como se indica en la sección 2.2.1 que toma en cuenta la normativa NFPA 231D [20].

Tomando en cuenta los parámetros previamente establecidos se requiere de una nave de almacenamiento de  $44 \times 96 \text{ m.}$ , que contara con el respectivo sistema contra incendios. Tal como se lo recomienda en la norma NFPA 231D [20].

Para el área de producción se toma en cuenta el Lay-Out otorgado por el fabricante seleccionado, en este caso la marca ZERMA Machinery & Recycling Technology [40]; por lo que se estima un área de  $36 \times 20 \text{ m.}$ , donde la altura máxima de los equipos es de 9 m. En esta área podrá



circular un montacargas para trasladar los Big.Bag con producto terminado, así mismo se podrá realizar cualquier maniobra de mantenimiento. Dentro de esta zona se encuentran las oficinas de producción y los respectivos talleres. Así mismo se evaluó la distribución de planta de varios suministradores de equipos, tal como se mencionó en la sección 2.6.1.

Para el área administrativa se considera el espacio otorgado para las oficinas, vestidores, comedor, sala de reuniones, baños; lo que representa un área aproximada de 300 m<sup>2</sup>. Además se cuenta con un área de parqueos de aproximadamente 170 m<sup>2</sup>.

La zona destinada para el almacenamiento de los chips de caucho al granel, y los gránulos y polvo de caucho contenido en Big-Bag, deberá estar bajo techo; el dimensionamiento para el almacén de Chips de caucho <20mm, que puede almacenar hasta 15días de producción en el primer año (90 t.), estimando que el 50% de la producción sean trozos de caucho de 20 mm. Para el dimensionamiento de este sector se toma en cuenta la densidad de los chips de caucho de 20 mm que es aproximadamente 400 kg/m<sup>3</sup> y una altura máxima del apilamiento de 3 m. El volumen ocupado por 90 t. chips es de aproximadamente 225m<sup>3</sup>.

Tomando en cuenta la ubicación de la banda extra la forma de apilamiento de los trozos de caucho será como se muestra en la figura 2.32. La altura máxima de apilamiento es de 3 metros, mientras que el Angulo de reposo es de aproximadamente  $30^\circ$ ; con estos datos referentes se calcula el área de la sección transversal de la pila que es de aproximadamente  $13.6 \text{ m}^2$ . A partir de este valor y considerando el volumen ocupado por las 90 toneladas cada 15 días ( $225 \text{ m}^3$ ); la longitud de la pila se estima en 16.5 m. En el LayOut general se tiene un área de almacenamiento de  $12 \times 26 \text{ m}$ .; con estas dimensiones se pretende que un cargador pueda movilizarse al interior del almacén y realizar las respectivas actividades de carga de camiones.

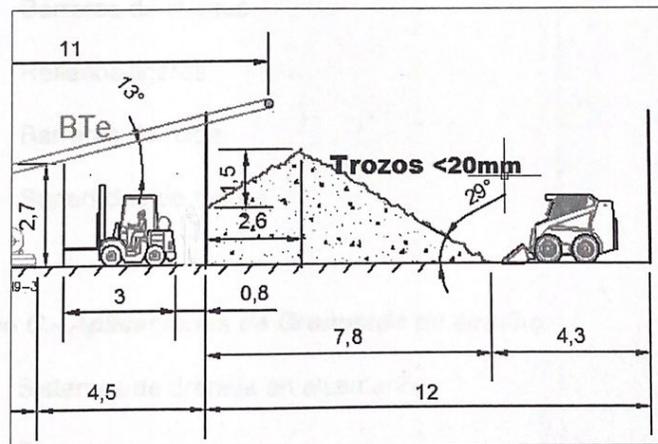
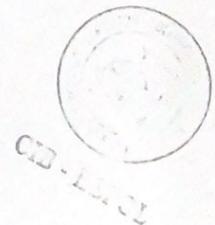


Figura 2. 32.Vista lateral de Almacén de Chips de Caucho de 20 mm.



Para el almacenamiento de Big-Bag, se considera el almacenamiento del 50% de la producción, donde la densidad del polvo de caucho con dimensiones menores a 2mm es de aproximadamente  $1.150 \text{ kg/m}^3$ , y  $500 \text{ kg/m}^3$  la densidad de los gránulos de caucho con dimensiones de aproximadamente 4 mm. Tomando en cuenta la densidad de los dos productos, se estima que 1000 kg de gránulos ocupa aproximadamente  $2 \text{ m}^3$ , mientras que 1 tonelada de polvo de caucho ocupa  $0.86 \text{ m}^3$ . La producción de 35% será destinada para gránulos de 4 mm lo que significa que anualmente se tiene 1.512 toneladas es decir 126 toneladas mensuales; mientras que el 15% de la producción es polvo de caucho que anualmente es de 648 toneladas (54 t/mes).

En la tabla 2.18 se observan el área ocupada de los big bag si estos se almacenan en una sola fila durante un mes de producción.

La tabla 2.18 indica que se necesitarían de 84 big bag del tipo "A" para el almacenamiento de 126 toneladas mensuales de gránulos de caucho, mientras tanto se utilizaría 54 Big-Bag de 1 toneladas para el almacenamiento mensual de 54 toneladas.

**TABLA 2. 18. ÁREA OCUPADA POR BIG.BAG CON GRÁNULOS Y POLVO DE CAUCHO**

Producto terminado	Volumen ocupado por 1 tonelada (m <sup>3</sup> )	Presentación para la venta	# Big-Bag	Área Ocupada (m <sup>2</sup> )
Gránulos de caucho	2	1.5 t.	Tipo A.=84	42
Polvo de Caucho	0.86	1 t.	Tipo B.= 54	27

\*Tipo A.- Big.Bag con 100 x 100 cm de base y 150 cm de altura.

\*Tipo B.- Big-Bag con 100 x 100 cm de base y 100 cm de altura.

El fabricante recomienda que se pueden apilar un máximo de 2 big bag, se tiene que el área proyectada para el big-bag con gránulos sea de 42 m<sup>2</sup>, mientras que el área proyectada para el big-bag con polvo de caucho es de 27 m<sup>2</sup>. Tomando en cuenta las áreas de separación recomendadas y las vías para el tránsito se tiene un galpón de 18 x 18 m.

Todas las áreas antes mencionadas, más las áreas verdes, vías de acceso, entre otras; son la base para determinar el tamaño del terreno que es de 107 x 106 m. Ver planos.

## CAPITULO 3

### 3.APLICACIONES DEL CAUCHO RECICLADO.

#### 3.1.Aplicaciones Civiles.

Una serie de aplicaciones con caucho recuperado de los neumáticos fuera de uso hoy en día son investigadas y en muchos casos estos ya están siendo aplicadas. Para el listado se ha optado por categorizar el producto según sean sus formas, es decir el uso de los neumáticos ya sea enteros, triturados, granulados o en forma de polvo.

#### ***Grupo A.- Aplicaciones de Neumáticos enteros.***

- Arrecifes artificiales.
- Contrafuerte de puentes
- Balas para la construcción.
- Diques.
- Aislamiento para ruidos.
- Ingeniería para confinamiento y estabilización de superficies.

- Estabilización de pendientes.
- Barreras de choque.
- Rellenos ligeros.

**Grupo B.- Aplicaciones de neumáticos triturados.**

- Sistemas de drenaje en alcantarillas
- Diques.
- Aislamiento para el ruido.
- Capa drenante en vertederos.
- Ingeniería para confinamiento y estabilización de superficies.
- Estabilización de pendientes.
- Aislamiento térmico.
- Barreras de choque.
- Rellenos ligeros.
- Barreras de ruido
- Superficies de recreo

**Grupo C.- Aplicaciones de Granulado de caucho.**

- Sistemas de drenaje en alcantarillas.
- Diques.
- Aislamiento para el ruido.
- Base para raíles de tranvías y trenes.



- Barreras de choque.
- Juntas de expansión.
- Equipamientos viales y ferroviarios.
- Capas superficiales.
- Capa superior del pavimento.
- Vías ecuestres.
- Campos de futbol y golf.
- Pavimentos de seguridad.
- Superficies de recreo.
- Baldosas.
- Materiales para techos / tejados.
- Bloques de concreto con agregado de caucho.

***Grupo D.- Aplicaciones de polvo de caucho.***

- Caucho del asfalto.
- Recubrimientos.
- Juntas de expansión.
- Equipamientos viales y ferroviarios.
- Sellantes.
- Capas superficiales.
- Capa superior del pavimento.
- Baldosas

- Materiales para techos / tejados.

### ***Concreto con agregados de caucho triturado.***

Actualmente se realizan investigaciones del concreto con agregados de caucho triturado aunque este no podría ser utilizado para propósitos estructurales sino más bien es utilizado para propósitos arquitectónicos como fachadas y elementos decorativos; esto se da ya que al agregar caucho triturado a la mezcla de concreto se pierde resistencia mecánica por lo que se da una pérdida razonable de la resistencia a la compresión y a la tensión, estudios revelan que para que la resistencia mecánica no se vea del todo afectada y el concreto tenga similares características en cuanto a su resistencia a la tensión y a la compresión, el contenido máximo de caucho no debería sobrepasar un 20% del total del volumen de agregado [51]. A parte de sus usos mencionados anteriormente, el concreto podría ser utilizado en aceras para peatones, caminos para ciclistas; en otras palabras se podría aplicar la mezcla de concreto con caucho reciclado para aplicaciones en las cuales no se aplique una gran carga y el nivel de criticidad sea relativamente bajo. Se estima que para una acera peatonal generalmente se podría utilizar hasta 4,9 toneladas por kilómetro; algunas de las características más sobresalientes de la mezcla de concreto con caucho se menciona a continuación.

- El peso unitario disminuye conforme el agregado de caucho aumenta, esto se debe a que la densidad del caucho es menor que la densidad del agregado.
- El aumento de aire aumenta con el aumento de agregado de caucho en la mezcla.
- Aumento de la resistencia a impactos debido al contenido de caucho, así como ayudan a suprimir el sonido.
- Mejoramiento de la capacidad de aislamiento térmico en morteros de cemento.

#### ***Asfalto modificado con caucho***

Otra de las aplicaciones de mayor realce en la construcción, son las carreteras donde los NFU son utilizados en forma de gránulos o polvos, para la fabricación de Betunes-caucho; o directamente como áridos para las mezclas bituminosas.

El uso del polvo de caucho actúa como un espesante, aumentando la viscosidad del ligante. Este aumento de viscosidad es mayor que con los elastómeros convencionales que se utilizan en las mezclas bituminosas [52].

Por otra parte al utilizar polvo de caucho en las mezclas bituminosas, este modifica la reología de los betunes, lo cual se ve reflejado en un aumento de la elasticidad y resiliencia a temperaturas elevadas [52].

Existen dos métodos para la fabricación de caucho-asfalto, la una se conoce como vía seca y la otra como vía húmeda. El proceso de vía seca consiste en mezclar primero el caucho con el agregado antes de hacerlo con el cemento asfáltico; mientras que el proceso denominado como vía húmeda se mezcla el caucho con el asfalto antes de mezclarla con los agregados

Para la fabricación de Betún-Caucho o también denominado "vía húmeda"; en el proceso se mezcla el polvo de caucho con el betún a temperaturas entre 150°C y 200°C por un tiempo de 1 a 2 horas. A este proceso se le suele añadir diluyentes, aceites aromáticos así como polímeros hasta conseguir que la mezcla tenga una elevada viscosidad, recuperación elástica y adhesividad. La norma INEN 2680 [15], establece los requisitos y métodos de ensayo que debe cumplir las mezclas asfalto-caucho que son empleadas para uso como ligante en la construcción y mantenimiento de pavimentos.

La incorporación del caucho granulado como parte del árido de la mezcla se conoce como "Vía Seca". Esta mezcla por lo general es utilizada en capas de rodadura y cuya principal aplicación es en zonas de formación de hielo, ya que de esta forma se permite el despegue y rotura de la capa de hielo por la acción del tráfico.

Actualmente los betunes convencionales se están reemplazando por betunes modificados con polímeros, entre los polímeros más utilizados se encuentra el SBS (estireno-butadieno-estireno), EVA (Acetato de vinilo-etileno), polietilenos, EPDM (monómero dieno-etileno-propileno).

Debido a que en el proceso "Vía Húmeda", se consumen cauchos vírgenes como el SBS o EVA, el polvo de caucho podría reemplazar el uso total o parcial de estos elastómeros; por lo general el porcentaje que se emplea de polvo de caucho reciclado en el betún esta entre el 10 y 20% del peso total de la mezcla.

En cambio para el proceso "Vía Seca" el polvo de caucho no reemplazaría a un elastómero de alto coste, sino más bien sustituye a un árido; aunque el consumo de áridos en las mezclas bituminosas es mucho mayor que la de los polímeros [9]

Las ventajas debido al uso del polvo de caucho reciclado en las mezclas bituminosas son:

- Resistencia al agrietamiento elevada, debido a la fatiga como a la flexión.
- Resistencia al envejecimiento es mayor.
- Nivel sonoro se reduce cuando la aplicación es en rodaduras.
- Mejoramiento de la adherencia de los vehículos al asfalto.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Elevada vida de servicio.
- Mayor resistencia a la oxidación que las mezclas convencionales.
- Se podría ahorrar en materiales, ya que el espesor de la capa disminuiría.

En la figura 3.1 se puede observar dos tramos de carretera construidos en un mismo año, el tramo de la izquierda contiene asfalto convencional mientras que la foto de la derecha contiene asfalto modificado con caucho.

Esta carretera fue construida en 1990, los dos tramos corresponden a la interestatal 40 cerca de Flagstaff, Arizona, Estados Unidos. Luego de 8 años en 1998 se pudo observar que el tramo construido con asfalto convencional (izquierda) presentó graves agrietamientos, mientras que el tramo con asfalto-caucho (derecha) presenta un mejor aspecto [13].



**Figura 3. 1.** Fotos de dos tramos de carretera con asfalto convencional y asfalto-caucho. [13]

Un estudio revela que el caucho asfalto podría generar una reducción del ruido de hasta el 75% en niveles de decibeles medidos [51]. Otra investigación reveló que el costo de las barreras de protección de ruido que se construyen usando asfalto convencional tiene un costo de hasta 10 veces mayor que el caucho asfalto utilizado en las carreteras [51].

En términos económicos resulta ventajoso el uso de estos materiales cuando la vía es de alto tráfico y en donde se tenga problemas de

constantes agrietamientos y deterioros del asfalto; debido al excesivo tráfico o condiciones de temperatura extrema.

El alto costo del caucho asfalto que es alrededor del doble del asfalto convencional, es viable económicamente en vías donde se requiera periodos de vida grandes

El consumo se estima en 1.553 neumáticos por kilómetro por carril con una capa de aproximadamente 5 cm de caucho asfalto; a pesar de que los costos del caucho asfalto pueden ser el doble que los asfaltos convencionales, existe la viabilidad económica para usar este tipo de materiales bajo ciertas condiciones.

A continuación se presentan 3 situaciones en las cuales se analiza los costos del ciclo de vida del caucho asfalto en un periodo de análisis de 40 años; en la tabla 3.1 se demuestra que para los tres escenarios el uso del caucho asfalto es más viable económicamente que el asfalto convencional.

#### ***Rellenos ligeros en terraplenes.***

En EEUU se han utilizado caucho reciclado ya sea troceados o granulados, para el relleno ligero en el interior de terraplenes. En este

tipo de aplicación se pueden utilizar grandes cantidades de neumáticos fuera de uso; mejorando la permeabilidad así como la resistencia a la penetración de heladas; así mismo aumenta su durabilidad y el peso es reducido.

**TABLA 3. 1. RESULTADOS DE UN ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA USANDO CAUCHO-ASFALTO (HICKS ET AL., 1998).**

escenario	valor actualizado del costo (\$/m <sup>2</sup> )					Ahorro con Caucho asfalto (\$/m <sup>2</sup> )
	Rehabilitación	MTTO	ahorro	retraso	total	
<b>Preservación - sello granular</b>						
Convencional	19,45	1,71	1,15	2,73	22,74	4,91
Caucho - Asfalto	16,39	1,69	2,30	2,05	17,92	
<b>Preservación - Cubierta delgada de Hot Mix Asphalt</b>						
Convencional	22,02	1,75	0,75	2,87	25,89	6,20
Caucho - Asfalto	18,06	1,66	2,15	2,14	19,70	
<b>Cubierta Estructural</b>						
Convencional	24,11	1,66	1,90	2,40	26,28	8,78
Caucho - Asfalto	14,20	1,78	0,60	2,13	17,50	

**Fuente:** Gomas trituradas: Estado del arte, situación actual y Posibles usos como materia prima en Puerto Rico [51].

El uso de caucho de neumáticos fuera de uso en los terraplenes es principalmente utilizado cuando se requiere de cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas a los

cimientos. Estos rellenos también pueden utilizarse en tuberías enterradas o estructuras, lo que reflejaría una baja de las cargas sobre dichas estructuras; esto se da debido a la gran elasticidad y deformabilidad que representa el caucho; lo que brindaría un efecto de bóveda sobre estas instalaciones [51].

Los laboratorios de CEDEX en España, desarrollaron una guía para los proyectos y la ejecución de rellenos varios en donde se utiliza neumáticos troceados; las pautas más relevantes de esta manual se listan a continuación [6].

- El caucho triturado únicamente se colocara en el núcleo de los rellenos.
- La cara inferior de las capas de caucho triturado deben estar colocadas por lo menos 1 m sobre la cota superior del terreno natural.
- La superficie superior de la capa de caucho triturado utilizado en los terraplenes, deberá estar como mínimo a 1 m de la superficie superior de la coronación del terraplén.
- Los espesores de las capas de caucho triturado no deberá ser mayor a 3 m.

La ASTM bajo la normativa ASTM D6270-08 (2012) indica más claramente los requisitos establecidos para los rellenos ligeros con NFU en las aplicaciones de Ingeniería Civil.

***Relleno en césped artificial.-***

Las normativas emitidas por la FIFA para los campos de fútbol con césped artificial, deben ser tomadas en cuenta cuando se trata de aplicar el caucho granulado en canchas de este tipo. Por lo general las canchas para la práctica de fútbol constan de una base asfáltica, seguida de una capa de arena y otra de gránulos de caucho de neumáticos fuera de uso y por último las fibras de hierba artificial. La figura 3.2 representa una sección de cancha con hierba artificial y sus elementos antes mencionados.

Como se menciona en la sección 1.6, se utiliza entre 11 y 12 kg de caucho por cada metro cuadrado de las instalaciones de césped artificial. La granulometría del caucho está comprendida entre 1 y 2,5 mm [6].

Las principales ventajas que representa el uso de caucho reciclado en canchas de hierba artificial, son la resistencia a condiciones climáticas

ya sea en calor o frío extremos, prevención de lesiones, ahorro en costos de mantenimiento.

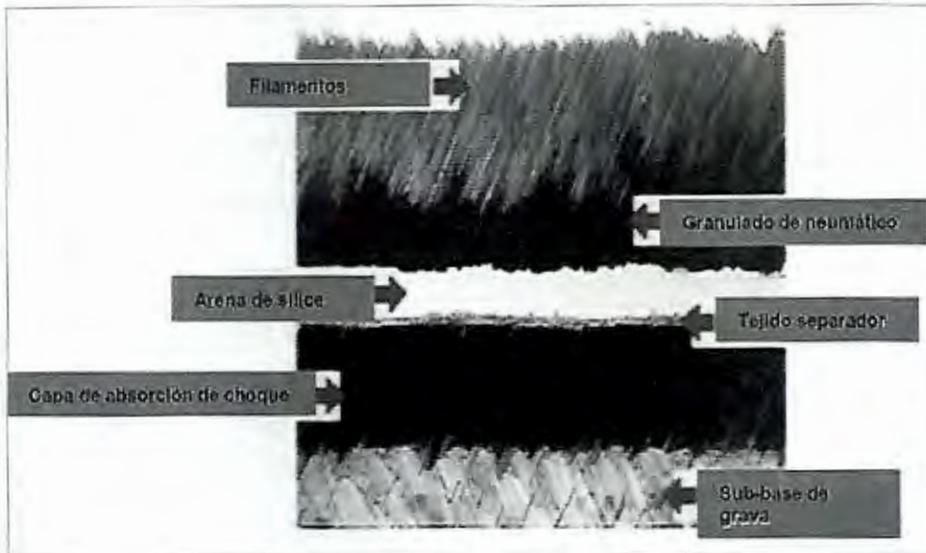


Figura 3. 2.Elementos principales en canchas de hierba artificial. [44]

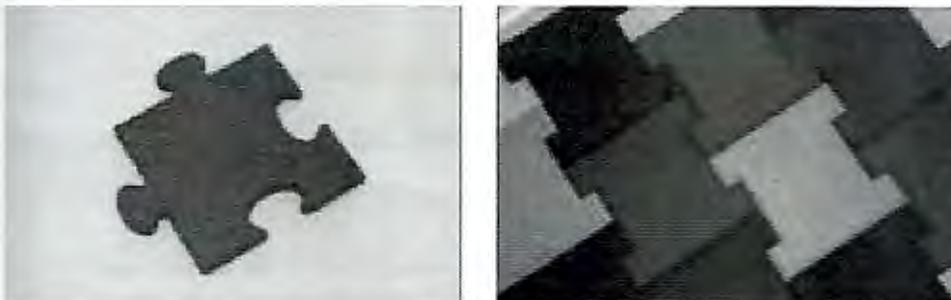
#### ***Pavimentos y losetas de seguridad.-***

La principal ventaja de los neumáticos triturados con una granulometría entre 2 y 8 mm se pueden colocar sobre cualquier superficie, lo que representa un ahorro en cuanto a los costos de mantenimiento debido a la gran resistencia climáticas, así mismo estos pavimentos de caucho en parques infantiles tiene un acabado limpio ya que terminado, éste se puede mezclar con pinturas. Otro punto importante del uso del caucho

en este tipo de aplicaciones, es la disminución de las lesiones debido a caídas [6]. Para esta aplicación el caucho deberá estar libre de acero.

En la figura 3.4 se puede observar como los obreros colocan los suelos de seguridad, estos son fabricados con aglomerados de resina y colorantes mediante un molde; actualmente existen una serie de moldes de tal forma que se produzca una serie de modelos.

En la figura 3.3 se observa losetas o adoquines producidos con caucho reciclado; uno de los fabricantes de equipos para la producción de estos elementos es Salvadori de procedencia Italiana.



**Figura 3. 3.** Losetas de seguridad en varios colores.



Figura 3. 4. Colocación de Suelos de seguridad. [44]

#### ***Barreras de seguridad.-***

Una de las aplicaciones en las cuales se utiliza el neumático fuera de uso enteros, son las barreras de seguridad en circuitos de Formula 1 y pistas de prueba. Con la misma funcionalidad los neumáticos enteros pueden ser utilizados para la amortiguación de colisiones de vehículos en rotondas.

#### ***Aislamiento térmico.-***

El caucho proveniente de los NFU tiene características de aislamiento término de hasta 8 veces superior a la del suelo, es por esto que el uso del caucho triturado como relleno evita una penetración de la helada al

suelo subyacente; evitando pérdidas de la capacidad portante de los suelos durante el deshielo en algunas zonas climáticas críticas, la capacidad portante es un factor crítico en el diseño de carreteras en zonas frías [51].

#### ***Aislamiento acústico.-***

Otra propiedad del caucho triturado es la buena absorción acústica, por lo que es adecuado para la fabricación de pantallas anti-ruido en las carreteras. También se construyen paneles de caucho granulado, mezclado con resina de poliuretano denominadas como, "barreras acústicas prefabricadas" [9].

### **3.2. Aplicaciones Energéticas.**

Debido al gran poder calorífico de los neumáticos (34 – 39 MJ/kg), mayor que el del carbón. El caucho de los NFU se está utilizando en plantas industriales como cementeras, papel, acerías; otro uso es en centrales térmicas, aprovechando el elevado poder calorífico que este tiene. En la tabla 3,2 se puede comparar el poder calorífico de algunos materiales respecto al de los NFU.

**TABLA 3. 2. PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE ALGUNOS  
COMBUSTIBLES.**

<b>Combustible</b>	<b>PCS (MJ/kg)</b>
maderas	14,4 - 19
turba	21,3
lignito	28,4
hulla	30,6
antracita	34,3
coque	29,3
coque de petróleo	34,2
carbón de madera	31,4
neumáticos usados	34 - 39
fuel - oil	40,6
gasolina	43,9
gas natural	44
butano	49,7

**Fuente.-** Aprovechamiento energético de residuos [53].

El caucho proveniente de neumáticos fuera de uso, se puede utilizar en **calderas específicas para centrales eléctricas**, las calderas deberán tener un tiempo de retención apropiado, de tal forma que se dé la combustión completa del caucho reciclado.

Otra aplicación para aprovechar la energía del caucho de neumáticos, es el uso de estas en las **fábricas de celulosa y papel**; en este caso se utiliza caucho granulado y libre de acero, de tal forma que se mejore

la combustión cuando se trata de generar vapor para las operaciones de proceso.

Como se menciona en la sección 1.6 el uso de los NFU en la **industria cementera** del país es factible ya que el caucho podría reemplazar hasta el 20% del combustible total utilizado en los hornos o precalentadores de Clinker, no afecta al proceso de producción ni a la calidad del mismo. Otro punto importante de la utilización de los cauchos procedentes de los NFU es de que este no produce variaciones relevantes en cuanto a la emisión de los gases en el proceso de cocción en comparación con el uso de combustibles fósiles convencionales; exceptuando la reducción de los óxidos de nitrógeno y del SO<sub>2</sub>, debido al menor contenido de azufre del que el combustible convencional [53].

Debido a las altas temperaturas de operación de los hornos, superior a 1200°C así como el largo tiempo de permanencia de 2 a 6 segundos, garantizan la destrucción efectiva de los componentes del caucho vulcanizado. El caucho vulcanizado aporta con propiedades adecuadas y que no afectan a la calidad de cocción del Clinker. La gran inercia térmica y el ambiente alcalino, crean un potencial para la destrucción de las sustancias orgánicas.



Los neumáticos por contener bajos porcentajes de azufre y cloro, así mismo por poseer las características caloríficas elevadas. Son calificados como buenos combustibles para la cocción del Clinker. Generalmente los combustibles alternativos reemplazan hasta en un 20% del total de combustibles que se utilizan en el proceso de cocción del clinker. Para que el proceso no se vea afectado por lo general se deben controlar las condiciones de oxidación así como la velocidad de alimentación de los NFU.

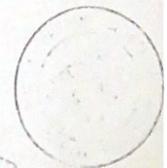
Con porcentajes de sustitución mayores al 20%, la relación del aluminio y hierro puede verse afectada, por lo que se incurriría en una pérdida de la capacidad de producción neta en hornos con precalentadores [28].

Se ha demostrado que la sustitución de combustibles como petróleo o carbón por NFU ha mantenido sin incremento significativo algunas emisiones gaseosas nocivas, como se puede observar en la tabla 1.20. Esto se debe también a las buenas prácticas que se llevan a cabo en el proceso de combustión [28]. Debido al bajo contenido de nitrógeno en muchos casos se puede lograr una reducción de las emisiones de NOx.

Los NFU aparte de ser una buena fuente de aportación calorífica para el proceso de cocción, también con una fuente de hierro y cinc que proviene de los refuerzos de acero y que son incorporados a la estructura de los minerales del Clinker [28], siempre y cuando se alimente a los hornos con neumáticos enteros.

En conclusión se puede decir que los combustibles alternativos como los NFU utilizados para los procesos de cocción del Clinker, representan una buena opción de reemplazo ya que estos representan ahorros de combustibles fósiles. Los NFU cuando se usan en las porciones adecuadas y se tienen un buen control del proceso, estos no afectan de manera significativa las emisiones de contaminantes hacia la atmosfera, así mismo no afecta a la calidad del Clinker. *(Revisar sección 1.6)*

Para una mejor apreciación del uso de neumáticos como combustible en las cementeras, en la figura 3.5 se puede observar un esquema de la tecnología denominada "Mid-Kiln"; donde se utilizan neumáticos. Cabe recalcar que esta tecnología tiene un costo de instalación de casi el doble que la tecnología utilizada para ingresar neumáticos triturados al proceso de cocción.



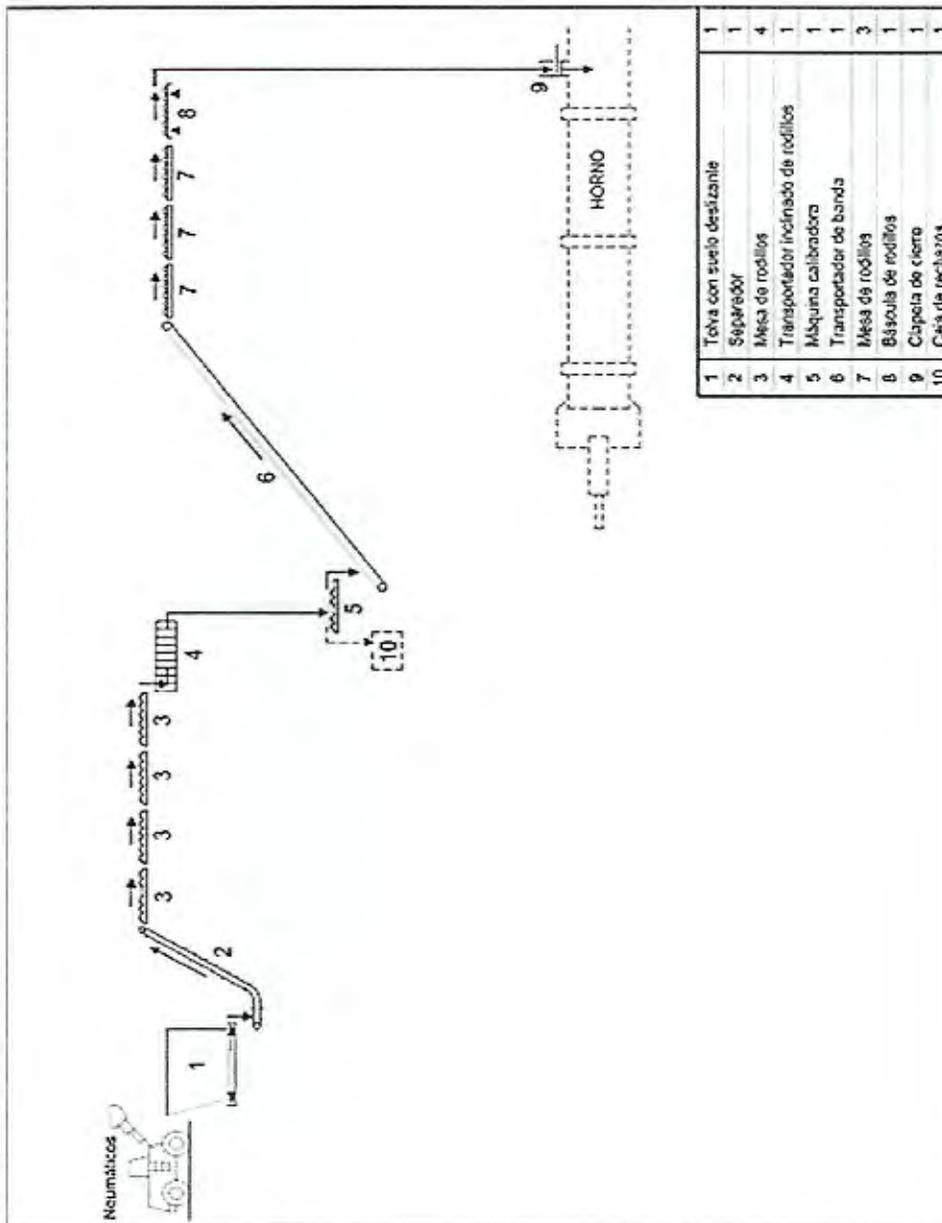


Figura 3. 5. Esquema de tecnología Mid-Kiln, para uso de NFU enteros como combustible. [54]

Otro tipo de aprovechamiento energético es por gasificación o mediante pirólisis. La gasificación es un proceso a 600°C donde el combustible sólido reacciona con un gasificante ya sea este aire, oxígeno o vapor de agua, de tal forma que existe una descomposición de la materia orgánica en un ambiente donde existe un déficit de aire respecto al estequiométrico, el cual es un proceso termoquímico. Por otra parte la Pirólisis es un método específico de la valorización energética por gasificación.

Debido a la gasificación de los NFU se obtiene 2 fases; una sólida que es la mezcla de negro de carbono y acero, y una fase gaseosa. Por lo general los elementos de la fase sólida son fáciles de separar mediante el uso de un trompel rotatorio de tamizado; mientras que el gas sale a una temperatura superior a 350°C, en donde este también contiene 2 fases separables como, la fase gaseosa no condensable y la fase gaseosa condensable. De la fase no condensable formada por gases de gasificación tales como CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, entre otros; representan el aproximadamente el 37% en peso del total de NFU procesados. Estos gases son empleados en motores de gas adaptados al respecto.

En cuanto a la fase condensable constituida por alquitranes, aceites, BTX (benceno, tolueno, xileno), etc. Estos pueden sustituir al fuel-oil ligero o en aplicaciones industriales específicas.



Mediante la pirolisis se puede obtener generalmente, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso) [9].

El carbón pirolítico que contempla de mayores ventajas en cuanto a su valorización debido a sus usos como: Combustible de sustitución, negro de carbono para carga en materiales poliméricos, así mismo se aplica como materia prima para la producción de carbón activado. Por otra parte el aceite obtenido en el proceso puede ser utilizado como combustible en hornos convencionales; los gases no condensables contemplan de un poder calorífico de aproximadamente 68 a 84 MJ/m<sup>3</sup> [9]

El coste de las instalaciones necesarias para el proceso de pirolisis es elevado, por esta razón el proceso no contempla grandes avances actualmente.

### **3.3. Aplicaciones Industriales.**

**Entre las aplicaciones industriales** que se pueden desarrollar a partir del caucho de neumáticos reciclado se tienen:

- Mangueras para jardín.

- Mantas antivibración.
- Materiales para techo/tejado.
- Moquetas.
- Piezas para vehículos.
- Pisos antideslizantes.
- Pisos antifatiga
- Productos moldeados.
- Reúso en llantas de vehículos.
- Tapetes.
- Tubería porosa de irrigación.
- Tubos.
- Paneles termo acústicos y anti vibración.
- Suelas y tacones de zapatos.
- Juntas amortiguadoras.
- Ruedas de goma maciza.

## **CAPÍTULO 4.**

### **4.IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.**

En este capítulo se desarrolla el presupuesto para la puesta en marcha e implementación de la planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso y una evaluación de la misma en un plazo de 5 años. Por otra parte se realizara un cronograma de implementación de la planta.

#### **4.1.Presupuesto Referencial.**

##### ***Inversión total inicial.***

La inversión total inicial se ve reflejada por la inversión fija o de activos tangibles más la inversión diferida o de activos intangibles y adicionalmente el capital de trabajo también representa una inversión inicial.

*Inversión fija o de activos tangibles.* Entiéndase como activos tangibles aquellos bienes de la empresa tales como: maquinarias y equipos para

el proceso productivo (tabla 4.1 y 4.2), terrenos y edificaciones (tabla 4.3), equipos de oficina y ventas (tabla 4.4).

**TABLA 4. 1.COSTO EQUIPOS PARA PROCESO PRODUCTIVO.**

Cantidad	Descripción	Costo
1	Banda transportadora de alimentación	\$ 13.665,0
1	Triturador principal de eje simple	\$ 325.465,0
1	banda transportadora de descarga	\$ 14.900,0
1	Triturador secundario de eje simple	\$ 276.420,0
1	banda transportadora de descarga	\$ 8.550,0
1	Banda magnética cruzada para separación de metales.	\$ 24.015,0
1	Banda transportadora de descarga de metal	\$ 7.250,0
1	Transportadores para alimentar el material triturado en el granulador	\$ 14.405,0
1	Polea magnética	\$ 12.115,0
1	Granulador principal	\$ 147.220,0
1	Máquina de detección para separar el material molido	\$ 24.500,0
1	Granulador secundario	\$ 147.220,0
1	Tamiz para separar la fibra del caucho	\$ 49.000,0
1	Separador de tambor magnético	\$ 16.500,0
1	Máquina de detección para separar el material molido	\$ 24.500,0
	<b>Subtotal F.O.B. Shanghai</b>	\$ 1.105.725,0
	<b>Flete</b>	\$ 22.500,0
	<b>Advalorem</b>	\$ -
	<b>I.V.A. (12%)</b>	\$ 135.387,0
	<b>Fodinfra (0,5%)</b>	\$ 5.641,1
	<b>TOTAL USD</b>	\$ 1.269.253,1

Fuente: Zerma [38]

TABLA 4. 2. COSTO EQUIPOS EXTRA PARA PROCESO PRODUCTIVO.

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO
1	Montacarga	\$ 15.000,0
1	pala mecánica	\$ 25.000,0
1	Chiller y sistema de enfriamiento	\$ 5.000,0
<b>Total</b>		<b>\$ 45.000</b>

TABLA 4. 3. COSTO DE TERRENO Y EDIFICACIONES

Descripción	Cantidad (m2)	Costo
Terreno	10.000	\$ 800.000,0
Galpones	5.300	\$ 265.000,0
Oficinas	300	\$ 60.000,0
<b>total terrenos y edificios</b>		<b>\$ 1.125.000,0</b>

TABLA 4. 4. COSTO DE EQUIPOS DE OFICINA Y VENTAS.

Cantidad	Descripción	Costo
5	Computadoras	\$ 4.000,0
3	Escritorios de oficina	\$ 600,0
10	Sillas oficina	\$ 70,0
1	Impresoras	\$ 300,0
2	Camión	\$ 60.000,0
10	Archivadores	\$ 30,0
10	Tachos de basura	\$ 60,0
2	Aire acondicionado	\$ 3.000,0
<b>total equipos de oficina y ventas</b>		<b>\$ 68.060,0</b>

*Inversión diferida o de activos intangibles.* Son los bienes de la empresa necesarios para el funcionamiento de la misma tales como [55]: planeación, ingeniería del proyecto, supervisión del proyecto y

administración del mismo, así mismo se incluyen los costos de instalación.

La planeación e integración del proyecto se estima que el 3% de la inversión total inicial (sin inversión diferida) corresponden a este rubro [55].

La ingeniería del proyecto en la cual se incluyen los costos de instalación y puesta en marcha de los equipos utilizados en proceso de producción se estiman alrededor del 3.5% de la inversión en activos de producción [55].

La supervisión del proyecto en la cual se incluyen los costos por traslados de equipos, verificación de servicios contratados, supervisión de precios, etc.; es aproximadamente 1.5% de la inversión inicial sin tomar en cuenta los activos diferidos [55].

La administración del proyecto en la que se incluyen los costos de construcción así como el costo del control de las obras civiles e instalaciones, hasta la puesta en marcha de la empresa se estima en 0.5% del costo de inversión inicial [55].

TABLA 4. 5. INVERSIÓN DIFERIDA

descripción	Costo
Planeación e integración	\$ 75.219,4
Ingeniería del proyecto	\$ 44.423,9
Supervisión	\$ 37.609,7
Administración del proyecto.	\$ 12.536,6
<b>Total Activos Diferidos.</b>	<b>\$ 169.789,5</b>

Así mismo se debe tomar en cuenta un valor destinado a imprevistos de la empresa, este valor se estima en 5% a 10% de la inversión total de activos fijos y diferidos [55].

En la tabla 4.6 se puede observar la inversión total en activos fijos y diferidos.

TABLA 4. 6. COSTO TOTAL DE INVERSIÓN.

Descripción.	Costo
Equipos de producción	\$ 1.269.253,1
Equipos auxiliares.	\$ 45.000,0
Terreno y edificaciones	\$ 1.125.000,0
Equipos de oficina y ventas	\$ 68.060,0
<b>Subtotal Activos Fijos.</b>	<b>\$ 2.507.313,1</b>
<b>Activos Diferidos.</b>	<b>\$ 169.789,5</b>
Subtotal Inversión Inicial	\$ 2.677.102,6
5% - 10% Imprevistos.	\$ 200.782,7
<b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL.</b>	<b>\$ 2.877.885,3</b>

**Capital de trabajo.**

El capital de trabajo se define como la diferencia aritmética entre el activo circulante y el pasivo circulante. Es el capital adicional con el cual se debe contar para que la planta recicladora de neumáticos fuera de uso empiece a funcionar, a diferencia de la inversión total inicial que se puede recuperar por vía fiscal mediante depreciación y amortizaciones, la inversión por capital de trabajo no puede recuperarse por este medio debido a su naturaleza [55].

El activo circulante conforma en si tres rubros como los son: valores e inversiones, inventarios y cuentas por cobrar.

- Valores e inversiones.- Es el efectivo que debe tener la empresa para afrontar gastos cotidianos así como imprevistos, este dinero puede ser invertido a muy corto plazo en alguna institución bancaria; se considera que se debe tener en valores e inversiones el equivalente a 45 días en gastos por ventas.
- Inventarios.- Es el dinero necesario para tener un inventario de materia prima de aproximadamente 60 días de producción antes de empezar a recibir ingresos por ventas.
- Cuentas por cobrar.- Es la inversión necesaria como consecuencia de las ventas a crédito, para este proyecto se

pretende otorgar crédito por 30 días, este cálculo se realiza tomando en cuenta el costo operacional de la planta durante los días de crédito.

*El pasivo circulante*, comprende los sueldos, proveedores de materia prima e impuestos, así como intereses, se considera que el pasivo circulante es un crédito a corto plazo, para facilidad de este cálculo se estima que los activos circulantes (AC) y pasivos circulantes (PC) guardan una relación de:

$$\frac{AC}{PC} = 2 \text{ a } 2.5$$

A parte de la inversión inicial, se debe determinar los costos de operación anuales, se deberá tomar en cuenta: los costos de producción, costos de administración, costos de ventas así como los costos de financiamiento.

**TABLA 4. 7. CAPITAL DE TRABAJO.**

<b>Activo circulante</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo.</b>
Valores e inversiones	\$ 12.700,14
Inventarios	\$ 19.723,54
Cuentas por cobrar	\$ 47.334,49
<b>total Activo Circulante</b>	<b>\$ 79.758,17</b>
Pasivo Circulante	\$ 35.448,08
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	<b>\$ 44.310,09</b>

Para determinar los costos de operación de la planta durante los 5 primeros años, se tomara en cuenta los costos de producción, costos administrativos, costos de ventas y los costos financieros.

*Costos de producción.* Son un reflejo de las determinaciones realizadas en el estudio técnico [55]. Entre los ítems que afectan a los costos de producción se tiene: costos de materia prima, costos de mano de obra, costos de servicios básicos, costos de mantenimiento, así mismo se debe tomar en cuenta la depreciación de los equipos. Para el primer año se estima trabajar al 70% de la capacidad instalada de la planta con un aumento anual del 5%, teniendo como meta trabajar al 90% de su capacidad instalada. El desglose de los costos de producción se pueden observar en el anexo D.

*Costos de administración.* Son aquellos costos que sirven para la administración de la empresa, tales como: sueldos, insumos de oficina, servicios básicos; así mismo se toma en cuenta la depreciación de los equipos. Los costos administrativos se encuentran detallados en el anexo E.

*Costos de ventas.* Estos costos son aquellos que afectan directamente a la venta del producto terminado, tales como comercialización, publicidades, distribución. Ver anexo F.

*Costos de Financiamiento.* Para financiamiento del proyecto se toma en cuenta, realizar un préstamo a la Corporación Financiera Nacional, con un plazo a 10 años y una tasa de interés anual del 11%. Se estima que el 70% de la inversión total sea privada, mientras el restante 30% será financiado por la institución mencionada. En la tabla 4.8 se muestra una tabla de amortización de la deuda.

**TABLA 4. 8. AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO.**

PERIODO EN AÑOS	PAGO	AMORTIZACION	SALDO
Año 0			\$ 863.365,60
Año 1	\$ 146.600,71	\$ 51.630,50	\$ 811.735,11
Año 2	\$ 146.600,71	\$ 57.309,85	\$ 754.425,26
Año 3	\$ 146.600,71	\$ 63.613,93	\$ 690.811,32
Año 4	\$ 146.600,71	\$ 70.611,47	\$ 620.199,86
Año 5	\$ 146.600,71	\$ 78.378,73	\$ 541.821,13
Año 6	\$ 146.600,71	\$ 87.000,39	\$ 454.820,74
Año 7	\$ 146.600,71	\$ 96.570,43	\$ 358.250,32
Año 8	\$ 146.600,71	\$ 107.193,18	\$ 251.057,14
Año 9	\$ 146.600,71	\$ 118.984,43	\$ 132.072,71
Año 10	\$ 146.600,71	\$ 132.072,71	\$ -

A partir de los costos antes mencionados, se puede determinar el costo operacional durante los 5 primeros años, como se puede observar en la tabla 4.9.

Para determinar los el costo unitario de cada producto, se toma en cuenta los costos de producción, costos de administración y costos de ventas. En la tabla 4.10 se estiman los costos unitarios para la producción de una tonelada de cada producto terminado durante el primer año, trabajando al 70% de la capacidad instalada, con un aumento anual del 5%. Cabe recalcar que de la producción total el 40% será destinado para producir chips (1.210 t. anuales), el 42% para producir gránulos (1.270 t anuales), y el restante 18% para producir polvo de caucho (544 t anuales). Así mismo en la tabla 4.10 se representa el costo unitario por tonelada de acero producida (774 t. anuales).

TABLA 4. 9. COSTOS OPERACIONALES PROYECTADOS A 5 AÑOS.

Costos de Producción					
DESCRIPCIÓN	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mano de obra directa e indirecta	40.591	42.620	44.751	46.989	49.338
Mano de obra Indirecta	37.735	39.622	41.603	43.683	45.867
Materia prima	165.678	180.589	196.842	214.558	233.868
Servicios básicos	133.529	140.206	147.216	154.577	162.306
Mantenimiento	36.716	36.716	36.716	36.716	36.716
<b>Subtotal costos de producción</b>	<b>414.249</b>	<b>439.752</b>	<b>467.128</b>	<b>496.522</b>	<b>528.095</b>
Depreciación y Amortización	161.654	161.654	161.654	161.654	161.654
<b>Total costos de producción</b>	<b>575.903</b>	<b>601.407</b>	<b>628.782</b>	<b>658.176</b>	<b>689.749</b>
Costos de Administración					
Sueldos	24.096	25.301	26.566	27.894	29.289
Suministros de oficina	2.500	2.600	2.704	2.812	2.925
Servicios Básicos	8.566	8.566	8.566	8.566	8.566
<b>Subtotal costos de administración</b>	<b>35.162</b>	<b>36.467</b>	<b>37.836</b>	<b>39.272</b>	<b>40.779</b>
Depreciación equipos administración	1.809	1.809	1.809	376	376
<b>Total costos de Administración</b>	<b>36.971</b>	<b>38.276</b>	<b>39.645</b>	<b>39.648</b>	<b>41.155</b>
Costos de Ventas					
Sueldos	34.268	35.981	37.780	39.669	41.652
Comercialización	50.400	54.936	59.880	65.269	71.144
<b>Subtotal costos de ventas</b>	<b>84.668</b>	<b>90.917</b>	<b>97.660</b>	<b>104.938</b>	<b>112.796</b>
Depreciación Equipos de ventas	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
<b>Total costos de Ventas</b>	<b>96.668</b>	<b>102.917</b>	<b>109.660</b>	<b>116.938</b>	<b>124.796</b>
Costos financieros					
Total costos Financieros	146.601	146.601	146.601	146.601	146.601
<b>Gran total</b>	<b>856.142</b>	<b>889.200</b>	<b>924.688</b>	<b>961.364</b>	<b>1.002.301</b>



**TABLA 4. 10. COSTO UNITARIO DE LA TONELADA DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS.**

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo para producir 1 toneladas de chips de caucho	\$ 300,93	\$ 300,58	\$ 300,56	\$ 299,84	\$ 300,52
Costo para producir 1 tonelada de caucho granulado <4mm;	\$ 295,66	\$ 295,28	\$ 295,23	\$ 294,52	\$ 295,15
Costo para producir 1 tonelada polvo <1 mm	\$ 435,96	\$ 436,45	\$ 437,39	\$ 436,52	\$ 438,48
Costo para producir 1t. de acero	\$ 531,32	\$ 515,31	\$ 500,28	\$ 484,58	\$ 471,46

#### 4.2. Evaluación de la Inversión.

El objetivo de la evaluación es determinar cuan rentable sería el proyecto. Tomando en cuenta los costos operacionales anuales, para el primer año se calcula el punto de equilibrio que es el nivel en el que los beneficios por ventas son iguales a los costos fijos (CF) más costos variables (CV); si bien esto no es una herramienta para medir la rentabilidad del proyecto representa una buena referencia para calcular el mínimo de ventas que se deben llevar a cabo para no incurrir en pérdidas; para su aplicación no se considera la inversión inicial, por lo tanto el punto de equilibrio no es una herramienta económica.

Los costos fijos y variables son calculados en base a los costos anuales de operación, y estos se muestran en la tabla 4.11.

Como podemos observar en la tabla 4.12. el punto de equilibrio en unidades es menor a las ventas estimadas durante el primer año; lo que representa que con el precio de venta establecido y con la producción estimada de cada producto, no se incurrirá en pérdidas.

La tasa anual que solicita ganar el inversionista para adquirir lo equipos e instalar la planta, así como para llevar a cabo la operación de la misma, denominada como Tasa Mínima aceptable de Rendimiento (TMAR), representa el riesgo que correría el inversionista al no obtener las ganancias pronosticadas [55].

El cálculo de la TMAR global mixta (tabla 4.13), toma en cuenta la TMAR de la institución bancaria que es del 11%; mientras que TMAR privada es calculada en base al riesgo país (16), más la inflación del país (4%), y adicionalmente un factor riesgo por invertir en la industria de reciclaje de neumáticos (1.7) [10].

TABLA 4. 11. COSTOS FIJOS Y VARIABLES.

descripción	costos de producción		
	Costo total	Costo fijo	Costo Variable
Mano de obra directa	\$ 40.590,8	\$ 36.531,7	\$ 4.059,08
Mano de obra indirecta	\$ 37.735,0	\$ 37.735,0	-
Materia prima	\$ 165.677,8	-	\$ 165.677,8
Servicios básicos	\$ 133.529,2	\$ 13.352,9	\$ 120.176,3
Mantenimiento	\$ 36.715,9	\$ 7.343,2	\$ 29.372,7
	<b>costos de administración</b>		
Sueldos	\$ 24.096,16	\$ 24.096,16	\$ -
Suministros de oficina	\$ 2.500,00	\$ 1.250,00	\$ 1.250,00
Servicios Básicos	\$ 8.565,60	\$ 1.713,12	\$ 6.852,48
	<b>Costos de ventas</b>		
Sueldos	\$ 34.267,60	\$ 34.267,60	\$ -
Comercialización	\$ 50.400,00	\$ 5.040,00	\$ 45.360,00
	<b>Costos financieros.</b>		
		\$ 146.600,71	\$ -
Financiamiento.			
	<b>Depreciación de activos fijos y amortización de activos diferidos</b>		
Depreciación + amortización	\$ 175.463,60	\$ 175.463,60	\$ -
<b>Total</b>	<b>\$ 709.541,62</b>	<b>\$ 483.394,01</b>	<b>\$ 372.748,32</b>

TABLA 4. 12. PUNTO DE EQUILIBRIO

PT	%	Costos fijo	Costo Variable	Ventas Anuales en toneladas	Precio de Venta de tonelada	punto de equilibrio
Chips de caucho	40%	\$ 193.358	\$ 149.099	1209,60	\$ 450	49%
Gránulos <4mm	42%	\$ 203.025	\$ 156.554	1270,08	\$ 500	42%
Gránulos <2mm	18%	\$ 87.011	\$ 67.095	544,32	\$ 700	28%
Acero		\$ 96.679	\$ 74.550	774,14	\$ 350	49%

TABLA 4. 13. TMAR GLOBAL MIXTA

Tipo de inversión	% aportación	%TMAR	TOTAL
Bancaria	0.3	0.11	0.033
Privada	0.7	0.22	0.154
<b>TMAR global</b>			<b>0.187</b>

Una estimación de los ingresos considerando que el primer año se trabajara al 70% de la capacidad instalada con un aumento anual del 5%, se pueden ver en la tabla 4.14.

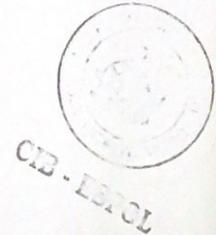
En la tabla 4.15 se puede observar el VAN calculado con una proyección de 5 años. El VAN es de \$ 651.082 lo cual es mayor a cero; por otro lado el TIR calculado es de 21%, mayor al TMAR mixto global de 18%, con estos dos tipos de criterios se concluye que el proyecto es rentable y aceptable.

TABLA 4. 14. INGRESOS POR VENTAS PROYECTADOS A 5 AÑOS.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Toneladas Chips producidos	1.210	1.270	1.334	1.400	1.470
Toneladas Granulados producidos	1.270	1.334	1.400	1.470	1.544
Toneladas de Polvo	544	572	600	630	662
Costo Unitario por tonelada de chips	\$ 300,93	\$ 300,58	\$ 300,56	\$ 299,84	\$ 300,52
Costo Unitario por tonelada de granulados	\$ 295,66	\$ 295,28	\$ 295,23	\$ 294,52	\$ 295,15
Costo unitario de polvo	\$ 435,96	\$ 436,45	\$ 437,39	\$ 436,52	\$ 438,48
Precio de venta de la tonelada de chips	\$ 450,00	\$ 468,00	\$ 486,72	\$ 506,19	\$ 526,44
Precio de venta de la tonelada de granulados	\$ 500,00	\$ 520,00	\$ 540,80	\$ 562,43	\$ 584,93
Precio de Venta de Polvo de Caucho	\$ 700,00	\$ 728,00	\$ 757,12	\$ 787,40	\$ 818,90
<b>Toneladas Acero producido</b>	<b>774</b>	<b>813</b>	<b>853</b>	<b>896</b>	<b>941</b>
Costo Unitario por Tonelada de acero	\$ 531,32	\$ 515,31	\$ 500,28	\$ 484,58	\$ 471,46
Precio Tonelada de acero	\$ 350,00	\$ 364,00	\$ 378,56	\$ 393,70	\$ 409,45
<b>Ingresos</b>	<b>\$ 1.831.334</b>	<b>\$ 1.999.817</b>	<b>\$ 2.183.800</b>	<b>\$ 2.384.710</b>	<b>\$ 2.604.103</b>

TABLA 4. 15. FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 5 AÑOS.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ 1.831.334	\$ 1.999.817	\$ 2.183.800	\$ 2.384.710	\$ 2.604.103	\$ 2.604.103
Egresos	\$ 680.679	\$ 713.737	\$ 749.224	\$ 787.333	\$ 828.271	\$ 828.271
Flujo operacional	\$ 1.150.656	\$ 1.286.080	\$ 1.434.576	\$ 1.597.377	\$ 1.775.832	\$ 1.775.832
Amortización intangible	\$ 16.979	\$ 16.979	\$ 16.979	\$ 16.979	\$ 16.979	\$ 16.979
Depreciación	\$ 158.485	\$ 158.485	\$ 158.485	\$ 157.051	\$ 157.051	\$ 157.051
Utilidad antes de impuestos	\$ 975.192	\$ 1.110.617	\$ 1.259.112	\$ 1.423.346	\$ 1.601.802	\$ 1.601.802
22% Impuesto a la renta	\$ 214.542	\$ 244.336	\$ 277.005	\$ 313.136	\$ 352.396	\$ 352.396
15% Participación de trabajadores	\$ 146.279	\$ 166.593	\$ 188.867	\$ 213.502	\$ 240.270	\$ 240.270
Utilidad Neta	\$ 614.371	\$ 699.689	\$ 793.241	\$ 896.708	\$ 1.009.135	\$ 1.009.135
Depreciación y amortización intangible	\$ 175.464	\$ 175.464	\$ 175.464	\$ 174.030	\$ 174.030	\$ 174.030
Inversión Inicial	\$ -2.877.885					
Valor de Salvamento						\$ 857.757
Capital de trabajo	\$ -44.310					
Saldo por préstamo						\$ 454.821
Flujo Neto del Proyecto	\$ -2.922.195	\$ 789.835	\$ 875.152	\$ 968.704	\$ 1.070.738	\$ 1.586.101
TIR		21%				
VAN	\$ 651.082					



#### **4.3. Cronograma.**

En el anexo G se puede observar el cronograma para la implantación de la planta recicladora de neumáticos fuera de uso. Se estima que el proyecto tenga una duración de 270 días laborables, trabajando a una sola jornada de 8 horas de lunes a sábado.

## **CAPÍTULO 5.**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.1. Conclusiones.**

Este tipo de proyecto tendría un impacto ambiental positivo, ya que se pretende captar 5.000 toneladas de neumáticos usados en la provincia del Guayas en el primer año de implementación del mismo.

El desarrollo industrial del reciclaje de neumáticos para la producción de nuevos productos a partir de caucho reciclado en Ecuador es casi nulo, actualmente existen recicladores del tipo artesanal para este tipo de materiales, lo que representa un escenario favorable para la creación de una planta de este tipo; esta industria se la podría comparar con la industria del reencauche, esta industria en los últimos años ha sobresalido gracias al apoyo del gobierno al emitir nuevos reglamentos y políticas para fomentar el reencauche en el país. Específicamente para el reciclaje de neumáticos fuera de uso, en abril del 2013 mediante

Acuerdo Ministerial N020 se expidió EL INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS", de tal forma que se elabore un plan de gestión integral para estos elementos, con la puesta en marcha de estos planes se espera que los proyectos de este tipo tengan un mayor realce de tal forma que sea rentable el reciclaje de neumáticos.

La localización de la planta sería en Guayaquil ya que en esta ciudad la demanda del caucho para formar parte de los combustibles alternativos de los hornos de Clinker se estima en unas 44 mil toneladas anuales solo para la cementera local. Así mismo se verifica que en Guayas se localiza aproximadamente el 25% del total de automotores del país. Este porcentaje del parque automotor representa cerca de 9.132 toneladas anuales de neumáticos fuera de uso para el año 2012; así mismo se estima que a nivel nacional se desechan cerca de 39.096 toneladas de neumáticos.

Tomando en cuenta las normativas tanto nacionales como internacionales se diseñó la planta de reciclaje de neumáticos, donde sobresale la normativa NFPA 231 D, la cual debe emplearse para desarrollar la distribución de las zonas de almacenamiento de



CID - LB. 07

neumáticos fuera de uso, así como los sistemas contra incendios para zonas de almacenamiento tanto de materia prima como de producto terminado.

La capacidad de producción de la planta se estableció en base a la disponibilidad de materia prima (9.132 t en 2012) así como la demanda del producto terminado, por lo que se eligió una capacidad de 3 t/h. El primer año la planta trabajaría en jornadas de 8 horas diarias (1 turno), durante 240 días al año, lo que representaría aproximadamente un procesamiento de 5,760 toneladas de NFU si se trabajaría al 100% de su capacidad instalada. Mediante el análisis económico y técnico, se estima que en el primer año se trabaje al 70% de la capacidad instalada; lo que representaría una producción de caucho vulcanizado de unas 3.024 toneladas, 774 toneladas de acero y 202 toneladas de fibras. Así mismo se estima que anualmente la producción aumente 5%; éste incremento de la producción fue analizado en conjunto con la evaluación de la inversión.

Se seleccionó el fabricante en base a los costos de inversión, capacidad de producción requerida, calidad del producto terminado, costos de operación así como la procedencia de los equipos. Una de las empresas

que cumple con estos factores es *ZERMA Machinery & Recycling Technology*, esta empresa proporciona la línea completa para la producción de caucho reciclado para varias granulometrías.

Los materiales a producirse son trozos de caucho de 20 mm, gránulos de 4mm y polvo con dimensiones menores a 2 mm; a parte de estos productos principales el acero es otro de los elementos que se pudiese vender como chatarra a las acerías del país. Para determinar los porcentajes de producción más adecuados para que el proyecto sea rentable, se realizó una evaluación de la inversión en la que se concluye que se producirá 40% de trozos de caucho de 20 mm, 42% de gránulos de 4 mm y 18% de polvo de caucho con dimensiones menores a 2 mm.

La inversión inicial para la implementación del proyecto se estima en \$ 2.877.885; donde el 30% de los activos fijos y diferidos podría ser con financiamiento local, mientras que el restante 70% es financiado por inversionistas privados.

Se evaluó el proyecto mediante el uso de dos criterios como lo son el TIR y el VAN, teniendo un TIR de 19%, mayor al TMAR de 18%;

mientras que el VAN es de \$ 493.452. Por lo que se determinó que el proyecto es rentable.

## 5.2. Recomendaciones.

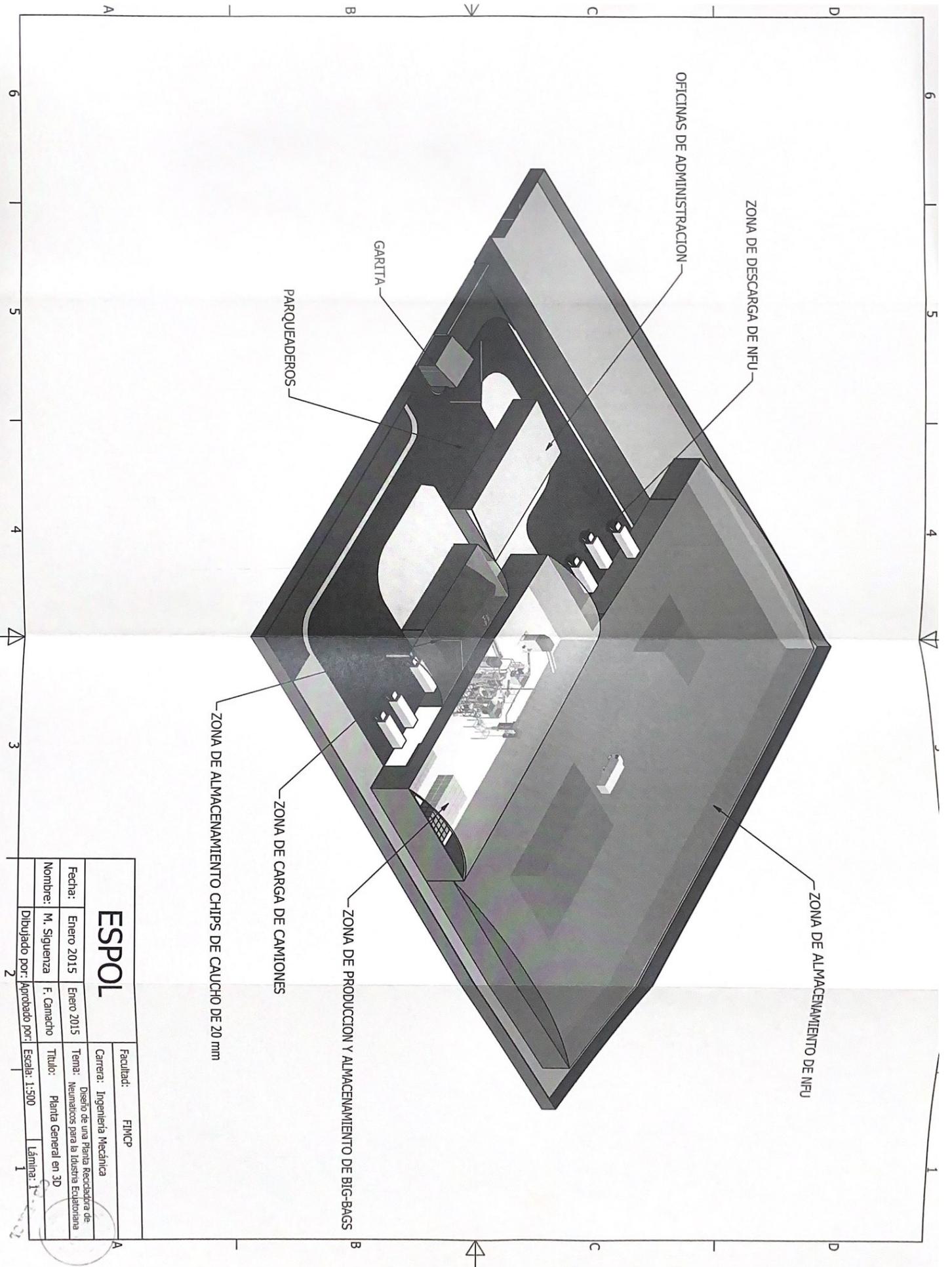
Realizar un plan de gestión de neumáticos fuera de uso detallado, de esta forma se podrá garantizar la disponibilidad de materia prima.

Dado que la calidad de los productos terminados es de suma importancia, se debería realizar el respectivo control de calidad de los mismos, tomando en cuenta la normativa *UNE – CEN/TS 14243 EX; Materiales Producidos a partir de Neumáticos fuera de Uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e Impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas.*

Realizar un análisis de mercado más detallado de tal forma que pueda obtener cifras más precisas. Así mismo se debería realizar un análisis financiero antes de la implementación del proyecto.

Realizar el diseño completo del sistema contra incendios para la planta podría formar parte de un nuevo tema como Proyecto de Graduación.

**PLANOS**



# ESPOL

Facultad: FIMCP

Carrera: Ingeniería Mecánica

Tema: Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana

Título: Planta General en 3D

Fecha: Enero 2015

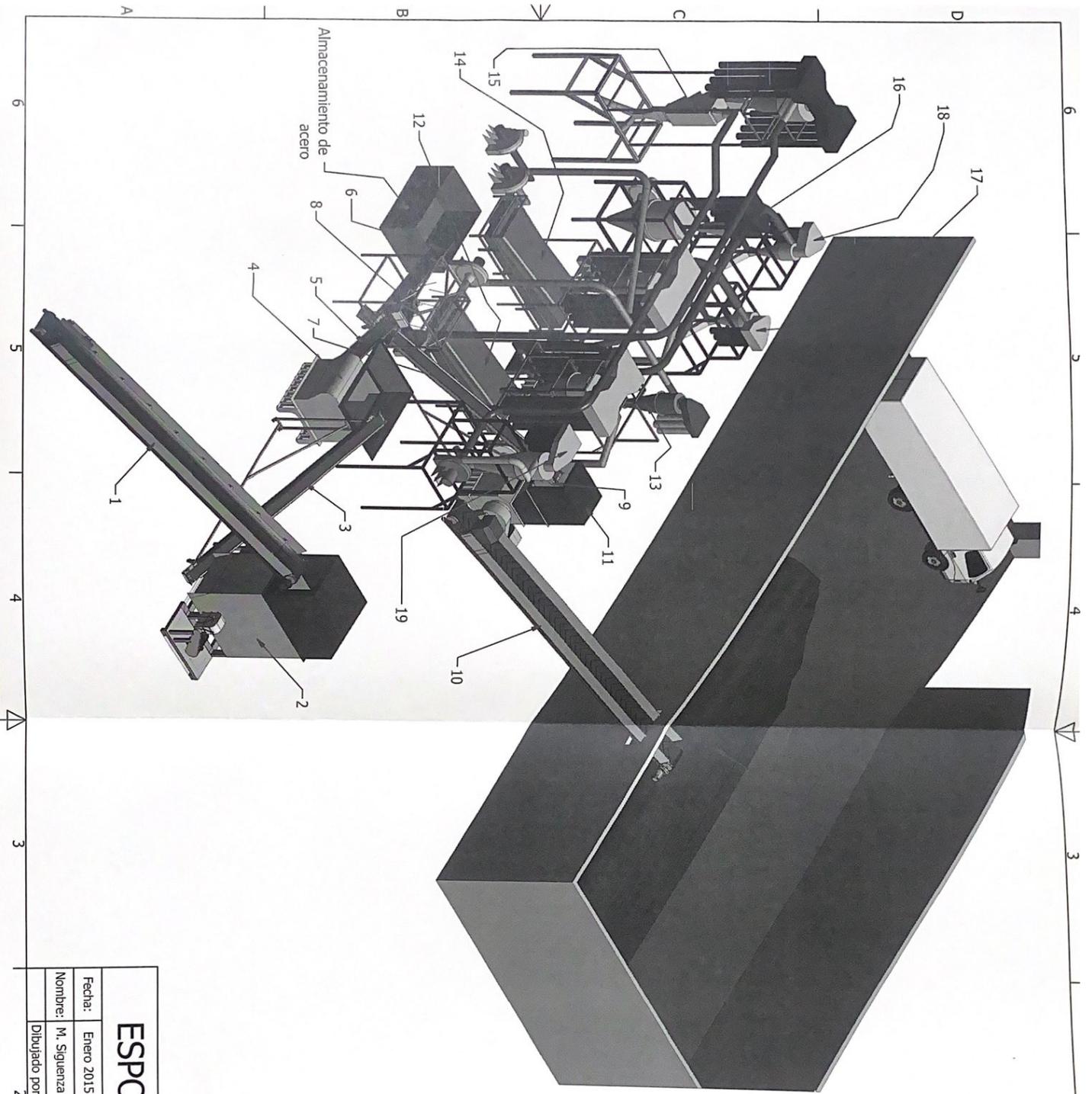
Nombre: M. Siguenza

Dibujado por: F. Camacho

Aprobado por:

Escala: 1:500

Lámina: 1



Item	Description
1	BT1
2	Triturador principal
3	BT2
4	Triturador Secundario
5	BT3
6	BT4 (para metal)
7	BT5
8	Separador magnetico tipo banda
9	Polea de cabeza magnetica
10	BTe (Banda diseñada para transportar caucho de 20 mm)
11	Granulador Principal
12	Mesa Vibratoria 1
13	Granulador Secundario
14	Mesa Vibratoria 2
15	Separador de materiales y estacion de carga de 4mm
16	Separadora de polvo de caucho y fibras
17	Estacion de llenado de polvo de caucho <2mm
18	Estacion fibras de textil
19	Colector de polvo y fibras

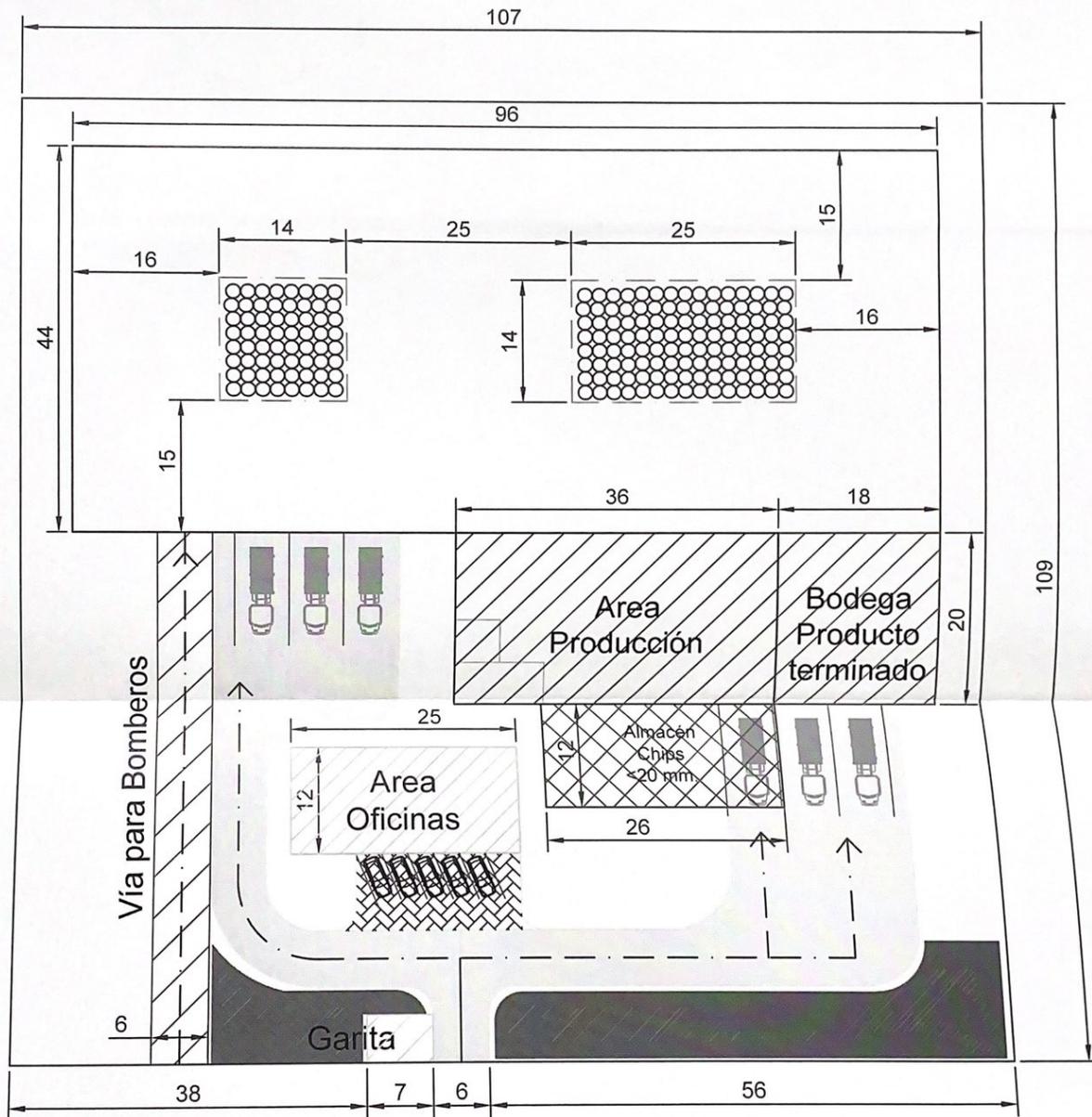
# ESPOL

Facultad: FIMCP  
Carrea: Ingeniería Mecánica

Fecha: Enero 2015  
Nombre: M. Siguenza

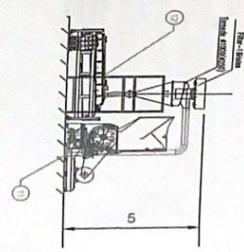
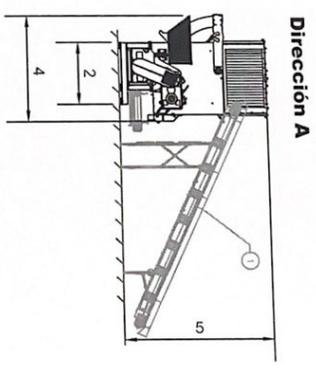
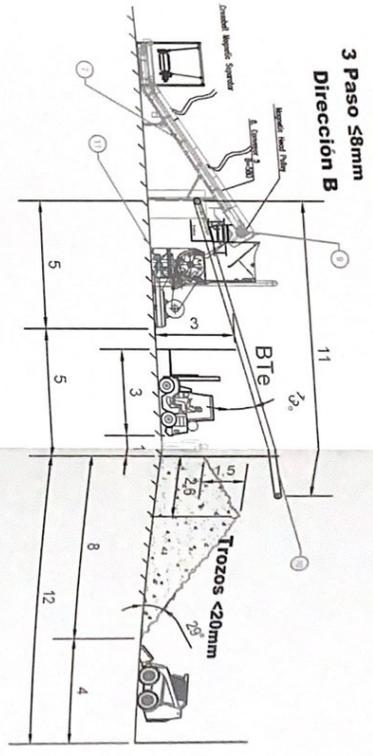
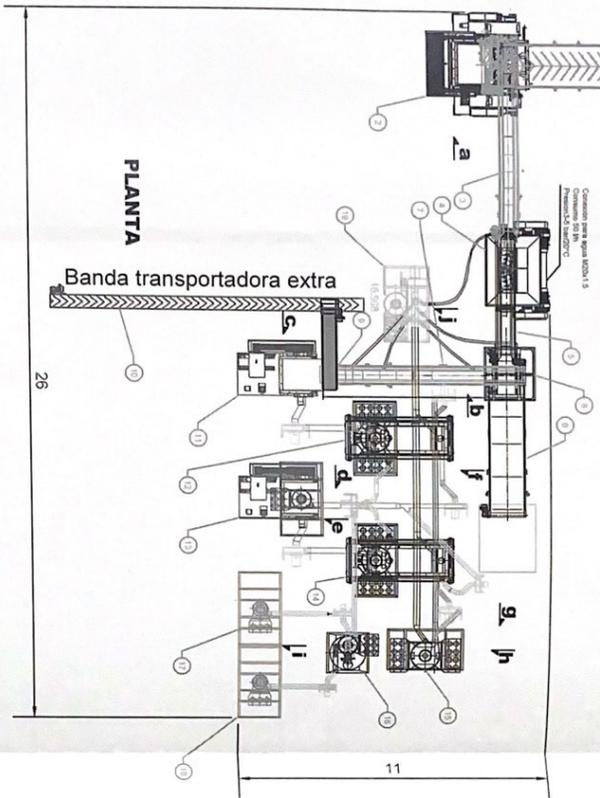
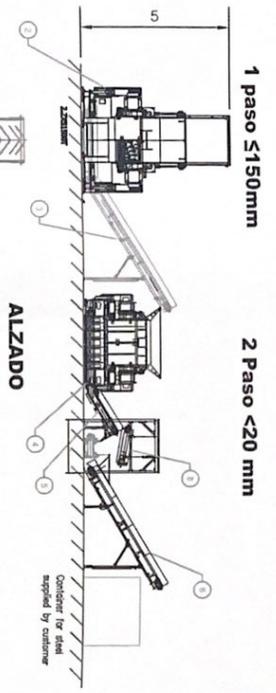
Fecha: Enero 2015  
Nombre: F. Camacho

Título: Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana de Producción en 3D  
Escala: 1:100  
Lámina: 2



<b>ESPOL</b>			Facultad: FIMCP
			Carrera: INGENIERÍA MECÁNICA
Fecha: Enero 2015	Enero 2015	Tema: Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana	
Nombre: M. Siguenza	F. Camacho	Título: Distribución General de Planta	
Dibujado por:	Aprobado por:	Escala: 1:500	Unidades: metros    Lamina: 3

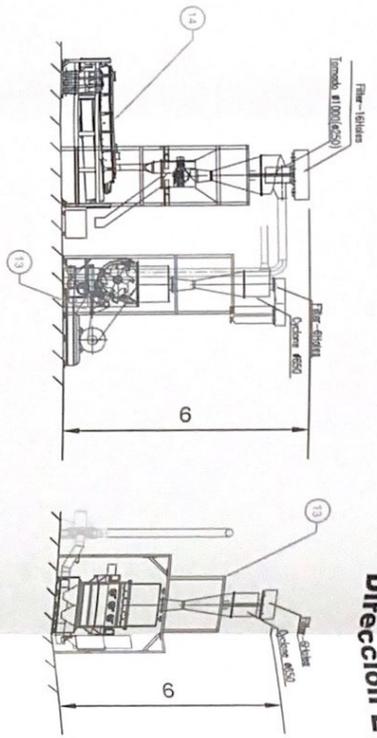




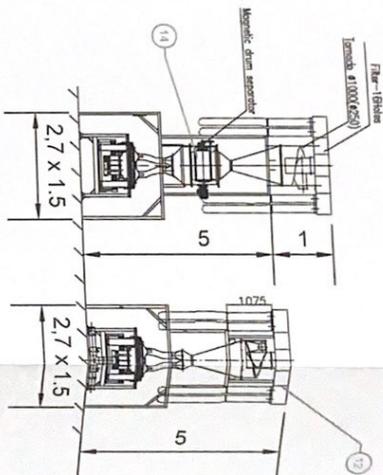
- 1.- Banda transportadora de NFU enteros. (B11)
- 2.- Triturador Principal
- 3.- Banda transportadora de trozos <150 mm (B12)
- 4.- Triturador secundario
- 5.- Banda transportadora salida de triturador secundario. (B13)
- 6.- Banda transportadora de metal (B14)
- 7.- Banda transportadora de ingreso a granulador principal (B15)
- 8.- Separador magnético tipo banda
- 9.- Polea de cabeza magnética en B15
- 10.- Banda transportadora extra (B1e)
- 11.- Granulador Principal.
- 12.- Mesa vibratoria para separación de materiales (MV1)
- 13.- Granulador Secundario.
- 14.- Mesa vibratoria para separación de materiales (MV2)
- 15.- Separador de granulos <4mm SG1
- 16.- Separador de polvo de caucho y fibras SG2.
- 17.- Estación polvo de caucho <2 mm SG3
- 18.- Estación de fibras de textil
- 19.- Estación de polvo y fibras

<b>ESPOL</b>		Facultad:	FIMCP
<b>ESPOL</b>		Carrera:	INGENIERIA MECANICA
Fecha:	Enero 2015	Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana	
Nombre:	M. Siguenza	Título:	Equipos de Produccion 1/2
	F. Camacho	Escala:	1:175
Dibujado por:	Aprobado por:	Unidades:	meios
		Laminas:	5

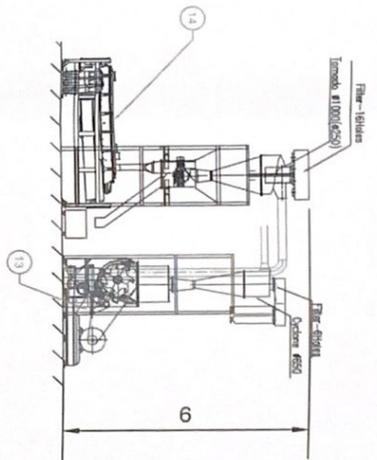
### 3 Paso ≤ 4mm Dirección E



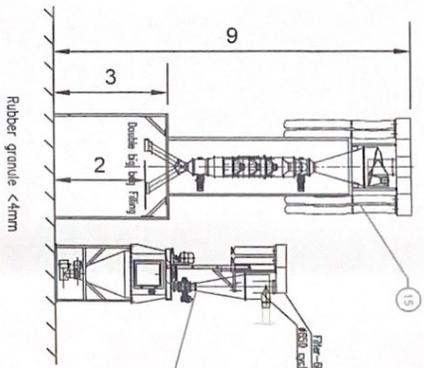
### Dirección F



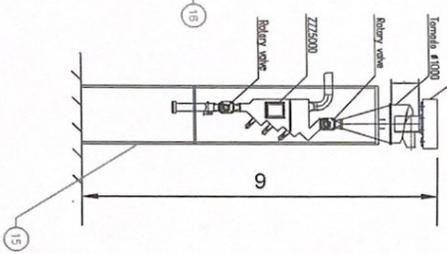
### Dirección D



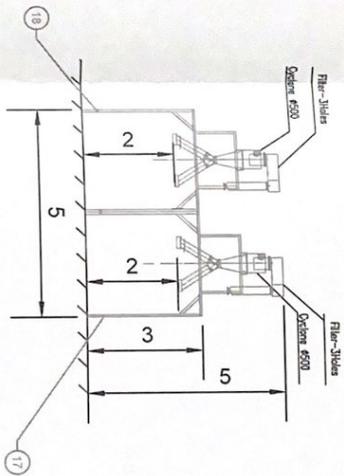
### Dirección G



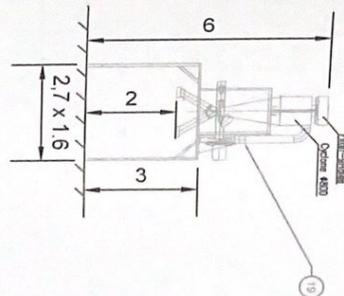
### Dirección H



### Dirección I



### Dirección J



- 1.- Banda transportadora de NFU enteros. (BT1)
- 2.- Triturador Principal
- 3.- Banda transportadora de trozos <150 mm (BT2)
- 4.- Triturador secundario
- 5.- Banda transportadora salida de triturador secundario. (BT3)
- 6.- Banda transportadora de metal (BT4)
- 7.- Banda transportadora de ingreso a granulador principal (BT5)
- 8.- Separador magnetico tipo banda
- 9.- Polesa de cabeza magnetica en BT5
- 10.- Banda transportadora extra (BT6)
- 11.- Granulador Principal.
- 12.- Mesa vibratoria para separacion de materiales (MV1)
- 13.- Granulador Secundario.
- 14.- Mesa vibratoria para separacion de materiales (MV2)
- 15.- Separador de granulos <4mm SG1
- 16.- Separador de polvo de caucho y fibras SG2.
- 17.- Estacion polvo de caucho <2 mm SC3
- 18.- Estacion de fibras de textil
- 19.- Estacion de polvo y fibras

**ESPOL**

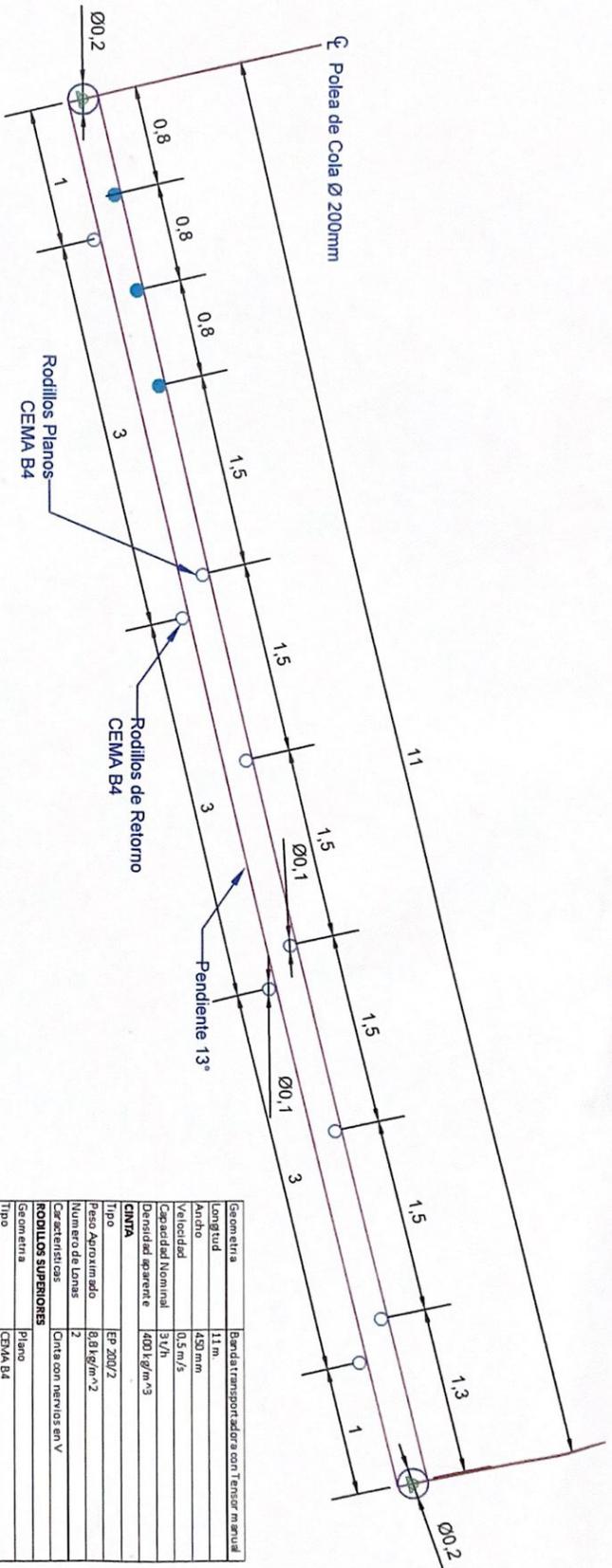
Facultad: **FIMCP**

Carrera: **INGENIERIA MECANICA**

Fecha: Enero 2015 | Tema: **Diseño de una Planta Procesadora de Neumáticos para la Industria Escaroliana**

Nombre: M. Siguenza | Título: **Equipos de Producción 22**

Dibujado por: Aprobado por: Escala: 1:125 | Unidades: metros | Laminas: 6



Geometría	Banda transportadora con Tensor manual
Longitud	11 m
Ancho	450 mm
Velocidad	0,5 m/s
Capacidad Nominal	3 t/h
Densidad aparente	400 kg/m <sup>3</sup>
<b>CINTA</b>	
Tipo	EP 200/2
Peso Aproximado	8,81 kg/m <sup>2</sup>
Numero de Lanas	2
Características	Cinta con nervios en V
<b>RODILLOS SUPERIORES</b>	
Geometría	Plano
Tipo	CEMA B4
Diámetro	4 pulgadas
Separación	1.500 mm
Cantidad	3
<b>RODILLOS INFERIORES</b>	
Geometría	Plano
Tipo	CEMA B4
Separación	3.000 mm
Cantidad	4

# ESPOL

Facultad: FIMCP

Carrera: INGENIERÍA MECÁNICA

Fecha: Enero 2015

Tema: Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana

Nombre: M. Siguenza

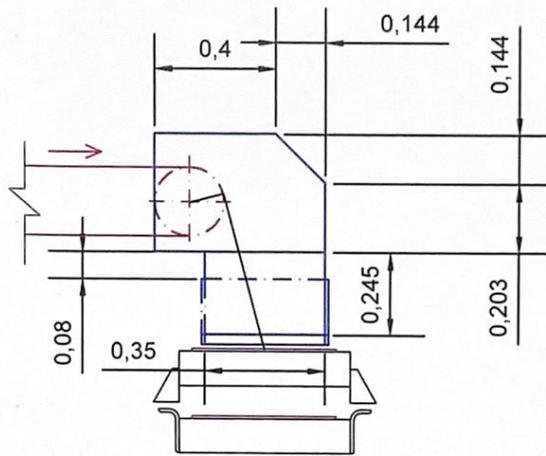
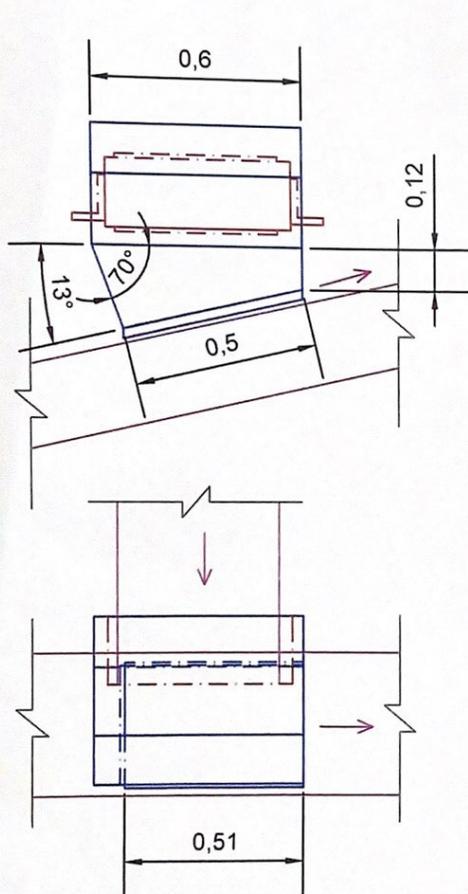
Título: Características Principales de Banda Transportadora extra

Dibujado por: F. Camacho

Aprobado por: Escala: 1:50

Unidades: metros

Lamina: 7



TOLVA DE ALIMENTACION	
Material	Acero ASTM A36
Espesor	3 mm

ESPOL			Facultad:	FIMCP
			Carrera:	INGENIERÍA MECÁNICA
Fecha:	Enero 2015	Enero 2015	Tema:	Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana
Nombre:	M. Siguenza	F. Camacho	Título:	Tolva de Alimentación
	Dibujado por:	Aprobado por:	Escala:	1:20
			Unidades:	metros
			Lamina:	8

ANEXOS.

## ANEXO A.- INEN 2110 DIMENSIONES DE NEUMÁTICOS ECUADOR

**TABLA 1. Para neumáticos de pasajeros convencional (tipo bias)**

DESIGNACIÓN TAMAÑO DE LLANTA	P.R.	L.R.	Límites de carga (kg) a varias presiones de inflado en frío												Ancho aro de prueba pulg	diseño de neumático			Factor mínimo de tamaño n.m.	aros aprobados
																Ancho de sección n.m.	Diámetro exterior n.m.			
			MPa	110	125	138	152	165	179	193	207	221	234	248			rod.dirrec	rod.trac		
psi	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	tracción	profunda							
diámetro nominal 10"																				
* 5.20-10	4	B	152	179	209	220	240	252	261	274	283			3,50	132	508		631	3.50D, 4J	
diámetro nominal 12"																				
* 6.00-12	4	B	225	247	274	297	315	333	356	370	383			4,00	156	572		720	4 D, 4½J	
* 155/6,15-12	4	B	229	247	274	297	315	333	352	365	379			4,50	157	554		695	4J, 4½J	
diámetro nominal 13"																				
* 5.90-13	4	B	252	284	315	342	370	390	408	424	440			4,00	150	616		755	4J, 4½J	
* 5.95-13	4	B	293	338	365	391	404	420	438	448	463			4,00	147	570		701	4J, 4½J	
* 6.15-13	4	B	294	351	390	418	440	454	472	488	503			4,50	157	582		722	4J, 4½J	
* 6.95-13	6	C	288	324	360	383	413	433	456	474	492	508	528	5,00	178	610		770	4½J, 5J	
* 7.25-13	6	C	331	374	415	449	485	503	526	544	565	585	608	5,00	184	654		828	5J, 5½J	
* 7.35-13	6	C	315	358	394	428	458	481	508	528	547	565	585	5,50	188	628		798	5J, 5½J	
diámetro nominal 14"																				
* 6.45-14	6	C			390	413	435	453	472	490	508	526	544	4,50	168	626		785	4½J, 5K	
* 6.95-14	6	C			431	453	476	499	517	536	556	576	594	5,50	178	643		812	4½J, 5K, 6J	
* 7.35-14	6	C			472	499	526	549	571	594	617	635	658	5,00	185	659		836	4½J, 5K, 6J	
* 7.75-14	6	C			522	549	578	603	630	653	680	703	726	5,50	197	678		866	5½J, 6J, 7J	
* 8.25-14	6	C			567	594	626	653	680	708	733	758	786	6,00	208	693		892	5½J, 6J, 7J	
diámetro nominal 15"																				
* 6.35-15	6	C	285	299	318	334	379	397	415	431	447	463	479	4,50	157	634		773	4 C, 4 5/8J	
* 7.35-15	6	C			468	513	535	562	585	606	630	653	671	5,50	191	678		860	4½J, 5½J, 6J	
* 7.75-15	6	C			521	549	576	603	626	653	676	699	721	5,50	194	692		877	4½J, 5½J, 6J, 7J	
* 8.25-15	6	C			567	594	626	653	680	708	735	756	785	6,00	208	705		903	5½J, 6½J, 8½J	

NOTA : La presión máxima de inflado para cada neumático es la presión a la cual tiene la máxima carga posible.

P.R. : Capacidad de carga expresado en números 2,4,6,8,...etc.

L.R. : Capacidad de carga expresada en letras A,B,C,D,... etc.

<sup>2</sup> = Datos tomados Year book the tire and rim association Inc 1971

<sup>1</sup> = Datos tomados de las practicas Standars

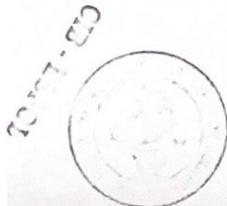




TABLA 3. Para neumáticos excepto pasajeros (camión), convencional (tipo bias)

DESCRIPCIÓN de neumático	P.R.	L.R.	Tipo de uso	Listado de cargas (kg) a varias velocidades de inflado en los 1/2																Ancho de la pneuma tira, mm.	Dinámicos de neumático			Módulos de elasticidad			Factor de ajuste de carga, %	Espacio libre, mm.	Ancho de la tapa, mm.	TR de 18000	Área aproximada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
																					Ancho de pneuma tira, mm.	Dinámicos de neumático			Ancho de la tapa, mm.	Módulos de elasticidad																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275	1350	1425			1500	1575	1650		1725						1800	1875	1950	2025	2100	2175	2250	2325	2400	2475	2550	2625	2700	2775	2850	2925	3000	3075	3150	3225	3300	3375	3450	3525	3600	3675	3750	3825	3900	3975	4050	4125	4200	4275	4350	4425	4500	4575	4650	4725	4800	4875	4950	5025	5100	5175	5250	5325	5400	5475	5550	5625	5700	5775	5850	5925	6000	6075	6150	6225	6300	6375	6450	6525	6600	6675	6750	6825	6900	6975	7050	7125	7200	7275	7350	7425	7500	7575	7650	7725	7800	7875	7950	8025	8100	8175	8250	8325	8400	8475	8550	8625	8700	8775	8850	8925	9000	9075	9150	9225	9300	9375	9450	9525	9600	9675	9750	9825	9900	9975	10050	10125	10200	10275	10350	10425	10500	10575	10650	10725	10800	10875	10950	11025	11100	11175	11250	11325	11400	11475	11550	11625	11700	11775	11850	11925	12000	12075	12150	12225	12300	12375	12450	12525	12600	12675	12750	12825	12900	12975	13050	13125	13200	13275	13350	13425	13500	13575	13650	13725	13800	13875	13950	14025	14100	14175	14250	14325	14400	14475	14550	14625	14700	14775	14850	14925	15000	15075	15150	15225	15300	15375	15450	15525	15600	15675	15750	15825	15900	15975	16050	16125	16200	16275	16350	16425	16500	16575	16650	16725	16800	16875	16950	17025	17100	17175	17250	17325	17400	17475	17550	17625	17700	17775	17850	17925	18000	18075	18150	18225	18300	18375	18450	18525	18600	18675	18750	18825	18900	18975	19050	19125	19200	19275	19350	19425	19500	19575	19650	19725	19800	19875	19950	20025	20100	20175	20250	20325	20400	20475	20550	20625	20700	20775	20850	20925	21000	21075	21150	21225	21300	21375	21450	21525	21600	21675	21750	21825	21900	21975	22050	22125	22200	22275	22350	22425	22500	22575	22650	22725	22800	22875	22950	23025	23100	23175	23250	23325	23400	23475	23550	23625	23700	23775	23850	23925	24000	24075	24150	24225	24300	24375	24450	24525	24600	24675	24750	24825	24900	24975	25050	25125	25200	25275	25350	25425	25500	25575	25650	25725	25800	25875	25950	26025	26100	26175	26250	26325	26400	26475	26550	26625	26700	26775	26850	26925	27000	27075	27150	27225	27300	27375	27450	27525	27600	27675	27750	27825	27900	27975	28050	28125	28200	28275	28350	28425	28500	28575	28650	28725	28800	28875	28950	29025	29100	29175	29250	29325	29400	29475	29550	29625	29700	29775	29850	29925	30000	30075	30150	30225	30300	30375	30450	30525	30600	30675	30750	30825	30900	30975	31050	31125	31200	31275	31350	31425	31500	31575	31650	31725	31800	31875	31950	32025	32100	32175	32250	32325	32400	32475	32550	32625	32700	32775	32850	32925	33000	33075	33150	33225	33300	33375	33450	33525	33600	33675	33750	33825	33900	33975	34050	34125	34200	34275	34350	34425	34500	34575	34650	34725	34800	34875	34950	35025	35100	35175	35250	35325	35400	35475	35550	35625	35700	35775	35850	35925	36000	36075	36150	36225	36300	36375	36450	36525	36600	36675	36750	36825	36900	36975	37050	37125	37200	37275	37350	37425	37500	37575	37650	37725	37800	37875	37950	38025	38100	38175	38250	38325	38400	38475	38550	38625	38700	38775	38850	38925	39000	39075	39150	39225	39300	39375	39450	39525	39600	39675	39750	39825	39900	39975	40050	40125	40200	40275	40350	40425	40500	40575	40650	40725	40800	40875	40950	41025	41100	41175	41250	41325	41400	41475	41550	41625	41700	41775	41850	41925	42000	42075	42150	42225	42300	42375	42450	42525	42600	42675	42750	42825	42900	42975	43050	43125	43200	43275	43350	43425	43500	43575	43650	43725	43800	43875	43950	44025	44100	44175	44250	44325	44400	44475	44550	44625	44700	44775	44850	44925	45000	45075	45150	45225	45300	45375	45450	45525	45600	45675	45750	45825	45900	45975	46050	46125	46200	46275	46350	46425	46500	46575	46650	46725	46800	46875	46950	47025	47100	47175	47250	47325	47400	47475	47550	47625	47700	47775	47850	47925	48000	48075	48150	48225	48300	48375	48450	48525	48600	48675	48750	48825	48900	48975	49050	49125	49200	49275	49350	49425	49500	49575	49650	49725	49800	49875	49950	50025	50100	50175	50250	50325	50400	50475	50550	50625	50700	50775	50850	50925	51000	51075	51150	51225	51300	51375	51450	51525	51600	51675	51750	51825	51900	51975	52050	52125	52200	52275	52350	52425	52500	52575	52650	52725	52800	52875	52950	53025	53100	53175	53250	53325	53400	53475	53550	53625	53700	53775	53850	53925	54000	54075	54150	54225	54300	54375	54450	54525	54600	54675	54750	54825	54900	54975	55050	55125	55200	55275	55350	55425	55500	55575	55650	55725	55800	55875	55950	56025	56100	56175	56250	56325	56400	56475	56550	56625	56700	56775	56850	56925	57000	57075	57150	57225	57300	57375	57450	57525	57600	57675	57750	57825	57900	57975	58050	58125	58200	58275	58350	58425	58500	58575	58650	58725	58800	58875	58950	59025	59100	59175	59250	59325	59400	59475	59550	59625	59700	59775	59850	59925	60000	60075	60150	60225	60300	60375	60450	60525	60600	60675	60750	60825	60900	60975	61050	61125	61200	61275	61350	61425	61500	61575	61650	61725	61800	61875	61950	62025	62100	62175	62250	62325	62400	62475	62550	62625	62700	62775	62850	62925	63000	63075	63150	63225	63300	63375	63450	63525	63600	63675	63750	63825	63900	63975	64050	64125	64200	64275	64350	64425	64500	64575	64650	64725	64800	64875	64950	65025	65100	65175	65250	65325	65400	65475	65550	65625	65700	65775	65850	65925	66000	66075	66150	66225	66300	66375	66450	66525	66600	66675	66750	66825	66900	66975	67050	67125	67200	67275	67350	67425	67500	67575	67650	67725	67800	67875	67950	68025	68100	68175	68250	68325	68400	68475	68550	68625	68700	68775	68850	68925	69000	69075	69150	69225	69300	69375	69450	69525	69600	69675	69750	69825	69900	69975	70050	70125	70200	70275	70350	70425	70500	70575	70650	70725	70800	70875	70950	71025	71100	71175	71250	71325	71400	71475	71550	71625	71700	71775	71850	71925	72000	72075	72150	72225	72300	72375	72450	72525	72600	72675	72750	72825	72900	72975	73050	73125	73200	73275	73350	73425	73500	73575	73650	73725	73800	73875	73950	74025	74100	74175	74250	74325	74400	74475	74550	74625	74700	74775	74850	74925	75000	75075	75150	75225	75300	75375	75450	75525	75600	75675	75750	75825	75900	75975	76050	76125	76200	76275	76350	76425	76500	76575	76650	76725	76800	76875	76950	77025	77100	77175	77250	77325	77400	77475	77550	77625	77700	77775	77850	77925	78000	78075	78150	78225	78300	78375	78450	78525	78600	78675	78750	78825	78900	78975	79050	79125	79200	79275	79350	79425	79500	79575	79650	79725	79800	79875	79950	80025	80100	80175	80250	80325	80400	80475	80550	80625	80700	80775	80850	80925	81000	81075	81150	81225	81300	81375	81450	81525	81600	81675	81750

TABLA 4 Para neumáticos de pasajeros radial

Designación tamaño de neumático	P.R.	L.R.	Límites de carga (kg) a varias presiones de inflado en frío																Ancho de pneu	Diseño de neumático				Factor mínimo de carga	Años aprobados					
			carga estándar												carga extra					sección m.m.	rod. trac. m.m.	rod. trac. probada	m.m.		No. recomendada	permisido				
			124	140	152	160	185	180	195	200	207	230	204	240	245	índice de carga	290	250									índice de carga			
			16	20	22	23	24	26	28	29	30	32	34	35	36	carga	38	41									carga			
Diámetro nominal 12"																														
*155R12	6	G			284	302	316			333	348	363			379	392	408							4,90	157	550		695	4,5	
Serie 70																														
*P16570*13		SL			325	350	370	390	410	425														5,00	170	562	568	720	4.008, 4.508, 5.008	5.508, 6.008
*P17570*13		SL			380	385	405	430	480	470														5,00	177	578	562	740	4.508, 5.008, 5.508	6.008
*P18570*13		SL			395	420	450	470	495	515														5,50	188	590	598	766	4.508, 5.008, 5.508	6.508
*P19570*13		SL			430	460	490	515	540	585														6,00	211	604	610	791	5.008, 5.508, 6.008	6.508, 7.008
*P18570*14		SL			415	445	470	495	520	545														5,50	199	616	622	792	4.508, 5.008, 5.508	6.508
*P19570*14		SL			455	485	515	545	570	595														6,00	201	630	636	817	5.008, 5.508, 6.008	6.508, 7.008
*P20570*14		SL			495	520	550	580	620	650														6,00	209	644	650	838	5.508, 6.008, 6.508	7.008, 7.508

NOTA: La Presión máxima de inflado para cada tamaño es la presión a la cual tiene la máxima carga posible.

- P.R. : Capacidad de carga expresado en números 2,4,6,8,....etc.
- L.R. : Capacidad de carga expresado en letras A,B,C,D,....etc.
- S.L. : Carga Estándar.
- INDICE DE CARGA : Capacidad de carga expresado en números 70, 75, 80,....etc.
- \* : tomado de Year Book the tire and rim association INC 1988
- † : tomado de Year Book the tire and rim association INC 1999

TABLA 5. Para neumáticos excepto pasajeros (camioneta) radial

Designación denominado de neumático	P.R.	L.R.	Tipo de uso	Límites de carga (kg) a varias presiones de inflado en frío (PSI)								Ancho de aro de prueba pulg	Diámetro de neumático		Neumático estándar		Mínimo espacio en duelas	Factor mínimo de masa m.m.	Ancho mínimo de flap	TA tubo válvula	Axe aprobadas		
				kPa.	250	300	350	400	450	500	550		Ancho de sección m.m.	Diámetro exterior		Ancho total m.m.						Diámetro estándar	
														Dinámico	Tracción							Dinámico	Tracción
Serie 75																							
*LT210/75 14	6	C	dual	545	623	690	757					6,00	218	678	684	229	690	698	251	878	13	5%J, 6J, 6%J 7J	
				600	680	750	820																
*LT220/75 14	6	C	dual	530	605	680	755					5,50	205	669	695	215	701	707	235	877	13	5%J, 6J, 6%J	
				585	665	735	810																
*LT230/75 15	6	C	dual	645	735	825	915					6,50	235	733	738	249	745	753	273	950	13	6J, 6J, 6%J 7J	
				710	810	900	1000																
Serie 85																							
*LT240/85 16	10	E	dual	720	820	910	1000	1090	1170	1260	1350	6,50	235	806	812	249	822	828	273	1022	188	185	8J, 8C, 8L, 8%J 8%L, 7J, 7K, 7L
				790	900	1000	1100	1190	1290	1390	1490												

NOTA: La Presión máxima de inflado para cada llanta es la presión a la cual tiene la máxima carga posible.

P.R. : Capacidad de carga expresado en números 2, 4, 6, 8, etc.

L.R. : Capacidad de carga expresada en letras A, B, C, D, etc.

INDICE de CARGA: Capacidad de carga expresado en números ejm. 78, 79, 80...etc.

\* : tomadas del Year Book the tire and rim association MIC 1986

## ANEXO B.- PARQUE AUTOMOTOR ECUADOR 2012.

PROVINCIA	AUTOMÓVIL	BUS	CAMIÓN	CAMIONETA	SUV	VAN	TOTAL
AZUAY	55.651	1.948	12.321	39.255	31.267	2.161	142.603
BOLÍVAR	4.533	382	2.381	5.699	1.782	96	14.873
CAÑAR	11.128	571	4.564	13.017	5.422	321	35.023
CARCHI	8.036	479	3.398	6.024	4.248	119	22.304
CHIMBORAZO	24.220	1.239	5.528	15.681	7.420	620	54.708
COTOPAXI	18.360	814	7.846	19.023	6.645	462	53.150
EL ORO	18.868	1.172	7.520	19.057	6.868	875	54.360
ESMERALDAS	7.976	653	3.560	7.044	3.000	261	22.494
GALÁPAGOS	48	28	159	348	66	11	660
GUAYAS	243.588	4.808	43.456	113.717	76.868	9.026	491.463
IMBABURA	24.467	1.132	6.114	16.276	10.089	800	58.878
LOJA	19.352	634	5.106	15.176	7.739	500	48.507
LOS RÍOS	18.272	1.160	8.504	20.150	4.977	456	53.519
MANABÍ	38.720	1.282	10.278	31.751	12.050	1.039	95.120
MORONA SANTIAGO	858	217	1.052	2.265	896	34	5.322
NAPO	1.009	150	768	1.649	821	56	4.453

ORELLANA	957	170	1.732	2.652	492	53	<b>6.056</b>
PASTAZA	2.449	191	982	1.996	1.128	100	<b>6.846</b>
PICHINCHA	286.637	8.232	46.031	132.954	136.584	11.532	<b>621.970</b>
SANTA ELENA	1.675	91	535	1.469	295	33	<b>4.098</b>
SANTO DOMINGO	11.166	665	5.904	12.384	5.699	508	<b>36.326</b>
SUCUMBÍOS	1.925	328	2.035	3.282	895	77	<b>8.542</b>
TUNGURAHUA	42.759	2.423	11.467	34.572	14.235	1.556	<b>107.012</b>
ZAMORA CHINCHIPE	949	106	806	1.485	499	31	<b>3.876</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>843.603</b>	<b>28.875</b>	<b>192.047</b>	<b>516.926</b>	<b>339.985</b>	<b>30.727</b>	<b>1.952.163</b>
Porcentaje de participación por tipo de automotor	43,2%	1,5%	9,8%	26,5%	17,4%	1,6%	100%

Fuente: Anuario 2012 AEADE

## ANEXO C.-VEHÍCULOS MATRICULADOS DEL ESTADO EN EL AÑO 2012 SEGÚN EL INEC

Fuente: INEC

PROVINCIA	TOTAL	USO DEL VEHÍCULO			
		PARTICULAR	ALQUILER	ESTADO	MUNICIPAL
TOTAL	1.509.458	1.436.303	49.996	17.721	5.438
AZUAY	92.590	88.664	2.920	628	378
BOLÍVAR	13.267	12.257	554	371	85
CAÑAR	34.221	32.841	951	240	189
CARCHI	16.827	15.525	963	268	71
COTOPAXI	48.772	46.694	1.392	548	138
CHIMBORAZO	38.652	35.823	1.870	744	215
EL ORO	57.572	55.127	1.818	467	160
ESMERALDAS	34.577	33.214	941	368	54
GUAYAS	399.516	382.975	13.028	2.982	531
IMBABURA	42.622	39.771	2.253	436	162
LOJA	33.926	31.621	1.513	643	149
LOS RÍOS	69.124	67.347	1.111	584	82
MANABÍ	119.886	113.350	5.237	1.106	193
MORONA SANTIAGO	6.001	5.198	329	313	161
NAPO	3.943	3.312	278	258	95
PASTAZA	6.739	6.017	334	265	123
PICHINCHA	347.694	331.246	8.995	5.363	2.090
TUNGURAHUA	70.497	67.003	2.653	596	245
ZAMORA CHINCHIPE	4.531	3.987	244	195	105
GALÁPAGOS	844	603	107	121	13
SUCUMBÍOS	15.809	14.796	506	402	105
ORELLANA	8.321	7.588	430	269	34
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	29.252	27.626	1.255	333	38
SANTA ELENA	14.275	13.718	314	221	22

## ANEXO D.- COSTOS DE PRODUCCION.

- Costo de mano de obra directa.

Descripción	Cant.	Salario	Tiempo	Décimo tercero	Décimo cuarto	Vacación	Aporte iess anual	Salario anual
Operadores	3	500	12	500	340	250	729	23.457,0
Técnico de Mantenimiento.	1	600	12	600	340	300	874,8	9.314,8
operador de equipo de carga	1	500	12	500	340	250	729	7.819,0
<b>Total Anual.</b>								<b>40.590,8</b>

- Costo de mano de obra indirecta.

Descripción	Cant.	Salario	Tiempo	Décimo tercero	Décimo cuarto	Vacación	Aporte patronal anual	Salario anual
GERENTE GENERAL	1	\$ 2.500	12	2500	340	1250	3645	37.735,0
<b>Total Anual.</b>								<b>37.735,0</b>

- Costos de mantenimiento.

Descripción	Costo Anual
Técnico de mantenimiento	\$ 6.000
Cambio y rectificación	\$ 2.727,70
Mantenimiento externo	\$ 27.988,20
<b>Total Mantenimiento</b>	<b>\$ 36.715,90</b>

- Costos totales de producción.

Descripción	Costos producción chips	Costos producción Granulado y polvo	Costos totales	solo polvo
Mano de obra directa e indirecta	\$ 40.590,80	\$ 40.590,80	\$ 40.590,80	\$ 40.590,80
Mano de obra Indirecta	\$ 37.735,00	\$ 37.735,00	\$ 37.735,00	\$ 37.735,00
Materia prima	\$ 66.271,10	\$ 69.584,66	\$ 165.677,76	\$ 29.822,00
Servicios básicos	\$ 33.896,38	\$ 99.632,82	\$ 133.529,20	\$ 99.632,82
Mantenimiento	\$ 18.357,95	\$ 18.357,95	\$ 36.715,90	\$ 18.357,95
<b>Subtotal costos de producción</b>	<b>\$ 196.851,23</b>	<b>\$ 265.901,23</b>	<b>\$ 414.248,66</b>	<b>\$ 226.138,56</b>
Depreciación y Amortización	\$ 80.827,13	\$ 161.654,26	\$ 161.654,26	\$ 161.654,26
<b>Total costos de producción</b>	<b>\$ 277.678,37</b>	<b>\$ 427.555,49</b>	<b>\$ 575.902,92</b>	<b>\$ 387.792,83</b>

- Costos de materia prima.

Materia Prima directa	Unidad	Cantidad Diaria	Cantidad Mensual	Unidades de NFU diarios	Unidades de NFU mensuales	Costo Unitario (\$/unidad)	Costo Mensual	Costo Anual.
Neumáticos tipo liviano	kg	16.800	336.000	1.697	33.939	\$ 0,34	\$ 11.369,70	\$ 136.436,36
Neumáticos tipo pesado	kg	7.200	144.000	138	2.769	\$ 1,50	\$ 4.153,85	\$ 49.846,15
Materia Prima Indirecta	Unidad	Cantidad Diaria	Cantidad Mensual		480.000	Costo Unitario (\$/unidad)	Costo Mensual	Costo Anual.
Sacos de 1 Tonelada.	Unid.	30	600	----	----	\$ 7,00	\$ 4.200,00	\$ 50.400,00
<b>Sub- Total materia prima primer año</b>								<b>\$ 236.682,52</b>
<b>% de producción</b>								<b>70%</b>
<b>Total materia prima primer año</b>								<b>\$ 165.677,76</b>

## ANEXO E.- COSTOS DE ADMINISTRACION.

- Sueldos.

Descripción	CANTIDAD	SALARIO	TIEMPO	DÉCIMO TERCERO	DÉCIMO CUARTO	VACACION	Aporte patronal anual	SALARIO ANUAL
Recepcionista	1	500	12	500	340	250	729	\$ 7.819,0
Guardia	2	340	12	340	340	170	495,72	\$ 10.851,4
Limpieza	1	340	12	340	340	170	495,72	\$ 5.425,7
<b>Total Sueldos Administrativos</b>								<b>\$ 24.096,2</b>

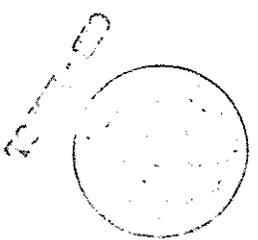
- Suministros de oficina

Descripción	Cantidad anual	Costo anual
Insumos varios	1	2500
<b>Total</b>		<b>\$ 2.500,00</b>

- Costos de servicios básicos.

Descripción	Unidad	Cantidad diaria	Cantidad Mensual	Costo unitario	costo mensual	costo anual
Agua de procesos	m3	10,00	200	0,60	120,00	\$ 1.440,00
Corriente eléctrica toda la planta	kw.h	4.262	85.248	0,135	11.508,48	\$ 138.101,76
<b>Sub-Total servicios básicos</b>						<b>\$ 139.541,76</b>
Costos por alumbrado en áreas y oficinas de producción (2%)						\$ 2.790,84
<b>Sub-Total servicios básicos planta total</b>						<b>\$ 142.332,60</b>
<b>Porcentaje de producción</b>						<b>70%</b>
<b>Total servicios básicos planta total</b>						<b>\$ 99.632,82</b>

corriente eléctrica planta chips	kw.h	1.420,80	28.416	0,135	3.836,16	\$ 46.033,92
agua de procesos	m3	10,00	200	0,60	120,00	\$ 1.440,00
Costos por alumbrado en áreas y oficinas de producción (2%)						\$ 949,48
<b>Sub-Total servicios básicos planta chips</b>						<b>\$ 48.423,40</b>
<b>Porcentaje de producción</b>						<b>70%</b>
<b>Total servicios básicos planta CHIPS</b>						<b>\$ 33.896,38</b>



- Costo servicios básicos.

Descripción	Unid.	Cantidad diaria	Cantidad Mensual	Costo unitario	costo mensual	costo anual
Consumo eléctrico	kW.h	250	5000	\$ 0,13	\$ 650,00	\$ 7.800,00
Internet	--	--	--	--	\$ 50,00	\$ 600,00
Agua	m3	1,15	23	\$ 0,60	\$ 13,80	\$ 165,60
					<b>total servicios básicos</b>	<b>\$ 8.565,60</b>

- Costos totales de administración.

Descripción	Costo
Sueldos	\$ 24.096,16
Suministros de oficina	\$ 2.500,00
Servicios Básicos	\$ 8.565,60
<b>Subtotal costos de administración</b>	<b>\$ 35.161,76</b>
Depreciación equipos administración	\$ 1.809,33
<b>Gran total</b>	<b>\$ 36.971,09</b>

## ANEXO F.- COSTOS DE VENTAS.

- Sueldos

Descripción	CAN.	SALARIO	TIEMP	DÉCIMO TERCERO	DÉCIMO CUARTO	VACACION	Aporte patronal anual	SALARIO ANUAL
Chofer	2	600	12	600	340	300	874,8	\$ 18.629,60
Distribuidor	2	500	12	500	340	250	729	\$ 15.638,00
							<b>Total</b>	<b>\$ 34.267,60</b>

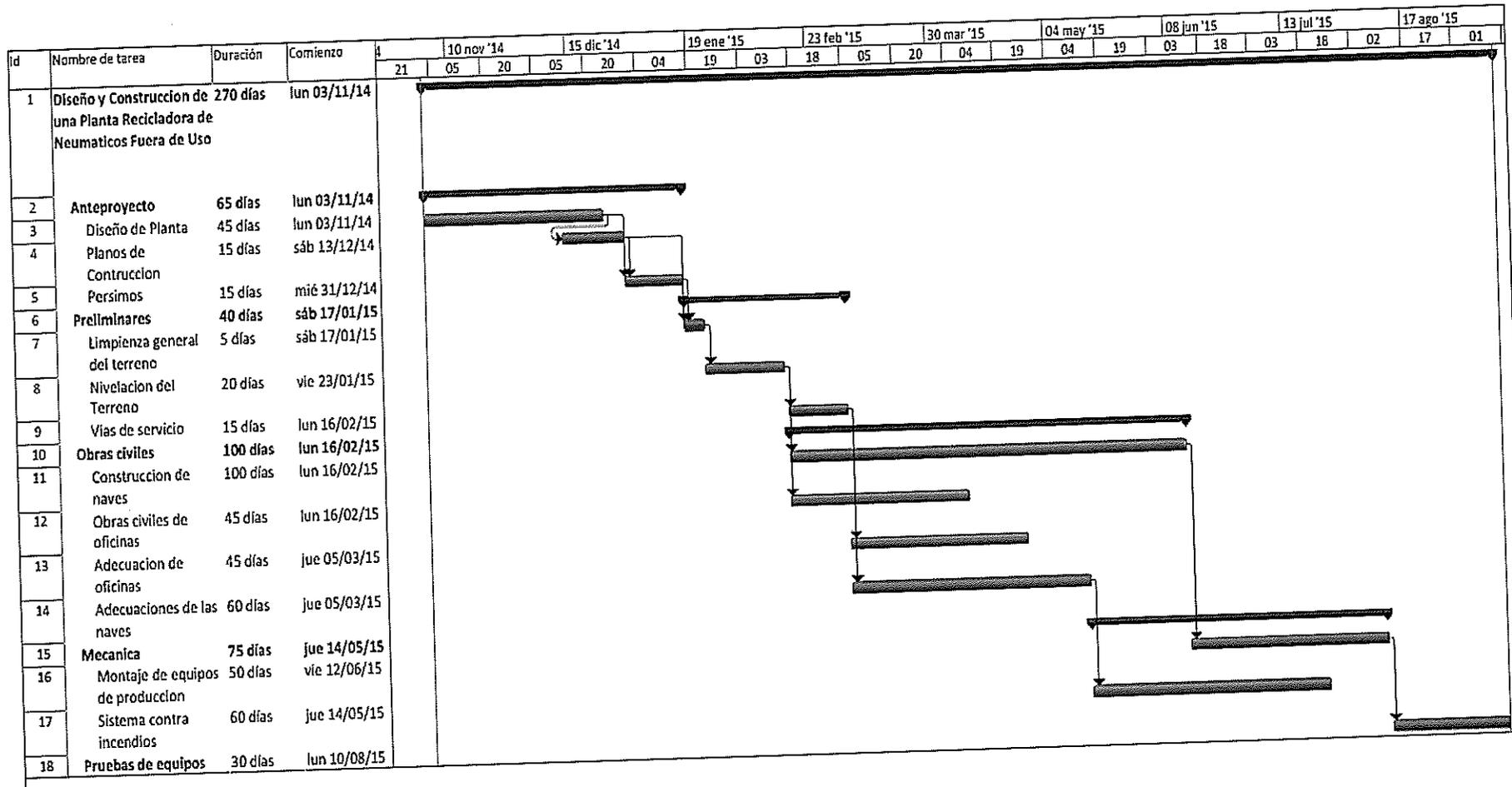
- Costos de comercialización

Descripción	Mensual	Anual
Mantenimiento	\$ 200,00	\$ 2.400,00
Publicidad	\$ 2.000,00	\$ 24.000,00
Logística y distribución	\$ 2.000,00	\$ 24.000,00
<b>total costos de comercialización</b>		<b>\$ 50.400,00</b>

- Costos totales de ventas.

Descripción	Costos
Sueldos	\$ 34.267,60
Comercialización	\$ 50.400,00
<b>Total</b>	<b>\$ 84.667,60</b>
Depreciación Equipos de ventas	\$ 12.000,00
<b>gran total</b>	<b>\$ 96.667,60</b>

## ANEXO G.- CRONOGRAMA DE IMPLANTACION DEL PROYECTO.



## BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ETRA (European Tyre Recycling Association)  
[[http://www.etraeu.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=76&Itemid=61](http://www.etraeu.org/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=61)]
- [2] Ecología Hoy: Noticias de Ecología y Medio Ambiente  
[<http://www.ecologiahoy.com/reciclaje-de-circuito-cerrado>]
- [3] NTE INEN 2096:2012; Segunda Revisión; Neumáticos, Definiciones y Clasificación
- [4] EDESKÅR TOMMY, Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications;; Department of Civil and Mining Engineering Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering Luleå University of Technology; Marzo 2004
- [5] NTE INEN 2101:98; Neumáticos. Neumáticos Para Vehículos, Dimensiones, Cargas Y Presiones. Requisitos; Primera Edición.

[6] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), España.

[7] Guidance Manual for P Engineering Uses of Scrap Tires, Sponsored and Funded by: Maryland Department of the Environment's Scrap Tire Program

[8] Editorial AZETA S.A., Asunción, Paraguay, [<http://www.abc.com.py/>]

[9] Valorización material y energética de NFU; España 2008; [[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)]

[10] Gavilanes Josué, Proyecto para Implementación de una Planta Reencauchadora de Neumáticos para Transporte Pesado, Tesis de Grado, ESPOL-2013

[11] prEN 14243-2004 Post-consumer tyre – Materials and applications. EN (European Standards)

[12] Phoenix Industries, LLC; PI 3000 Waste Tyre Recycling Plant

[13] WAST MANAGEMENT WORLD; [<http://www.waste-management-world.com/articles/2003/07/scrap-tyre-recycling.html>]

[14] GENOX RECYCLING TECH CO; [<http://www.genotech.com/>].

[15] INEN 2680 – 2013, Productos Derivados del Petróleo. Asfalto Modificado con Caucho Reciclado. Requisitos e Inspección; Primera edición.

[16] Acuerdo Ministerial 020.- Expedir el Instructivo para la Gestión Integral de los Neumáticos Usados

[17] Decreto Ejecutivo 1327, 11 de octubre del 2012.

[18] ASTM D6270 - 08(2012).-Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications

[19] UNE – CEN/TS 14243 EX; Materiales Producidos a partir de Neumáticos fuera de Uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e Impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas

[20] NFPA 231D, Standard for Storage of Rubber Tires, 1998 Edition, Appendix C.

[21] CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association); "Belt Conveyor for Bulk Material".

[22] MIPRO.- Revista Pais Productivo 2012, pg 4-5

[23] ANUARIO INEC 2012 NUMERO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS MATRICULADOS, POR USO, SEGÚN CLASE

[24] Corporación para la Promoción Proactiva de Inversiones INVEC  
[<http://www.invec.ec/default.aspx>]

[25] LUNA, Patricio; Estudio de la Aplicación Potencial de Compuestos Obtenidos con Residuos de Caucho Reciclado Provenientes de Continental

Tire Andina como Materiales Estructurales; Tesis de Grado, Cuenca  
Septiembre 2013

[26] Vega Daniela, Factibilidad técnica y económica para la Implementación de una planta de reciclaje de Llantas, Proyecto de Graduación, ESPE, 2013.

[27] Boada Pablo, Elaboración de un proyecto para la creación de una planta de Reciclado de neumáticos en la ciudad de Quito, UTE, 2012.

[28 ] Dra. Claude Lorea & Dr. Willen Van Loo, Aprovechamiento energético de neumáticos usados en la Industria Cementera Europea.

[29] Lopez ,A; Blanco, F; Gutiérrez, M.A.; Mejora Del Rendimiento De Una Cementera Mediante El Empleo De Combustibles Alternativos; Revista Electrónica de Medio Ambiente UCM, ESPAÑA 2012.

[30] Diana Carolina Cedano de León Tesis de Master, Valorización energética de residuos como Combustibles alternativos en plantas Cementeras.

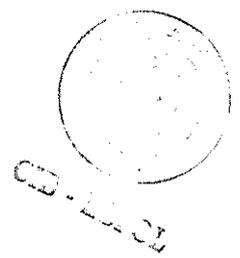
[31] Revista Lideres, [[http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/ecuador-crece-consumo-cemento-empresas-cifras-ventas\\_0\\_1120087996.html](http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/ecuador-crece-consumo-cemento-empresas-cifras-ventas_0_1120087996.html)]

[32] ICIS China, [<http://www.icis.com/global/icis/pdfs/sample-reports/energy-petroleum-coke.pdf>]

[33] Bunkerword, [<http://www.bunkerworld.com/prices/port/ec/gye/>]

[34] Unidad de Planeación Minero Energética; Colombia.

- [35] NEO-TURF SYSTEMS, INC., Chile,  
[<http://www.pastosinteticoenchile.com/G-Max.html>]
- [36] Diario El Telégrafo, 13 de julio de 2013  
[<http://www.telegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/item/el-verde-sintetico-reemplaza-al-natural.html>]
- [37] Cruz Christian, Plan de Negocios de Reciclado de Lantas Usadas Como Oportunidad de Negocios, en la utilización de Productos Innovadores; Proyecto de Graduacion; Quito 2012.
- [38] Garzón Karina, Viabilidad Técnico – Económica Para la Implementación de una Planta Recicladora De Neumáticos en el Distrito Metropolitano de Quito, Trabajo de Fin de Carrera; Quito Septiembre del 2013.
- [39] Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso, Madrid 30 de diciembre de 2005.
- [40] ZERMA, [<http://www.zerma.com/es/home.html>]
- [41] ELDAN recycling, [<http://www.eldan-recycling.com/>].
- [42] Pallmann, [<http://www.pallmann.eu/language/VerticalNav/Home>].
- [43] Columbus McKinnon Corporation, CM Tire Recycling  
[<http://www.cmtirerecycling.com/default.aspx>]



[44] SIGNUS.- Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados;  
[<http://www.signus.es/es/cadena-de-valor/reciclaje-y-valorizacion-material/info/materiales-y-calidad>]

[45] NTE INEN 1488:87: Adoquines Requisitos.

[46] ECO GREEN Equipment, [<http://www.egtireshredders.com/es/>].

[47] SHERD-TECH [<http://shred-tech.com/home>]

[48] Moreno Altamirano Patricio, Proyecto de un Sistema Mecánico para la Recepción, Almacenamiento y Extracción de Carbón Mineral usado como Combustible Industrial, Tesis de Grado, ESPOL, 2005.

[49] Hinojosa Ruiz Heber, Software para Diseño de Transportadores de Banda, Tesis de Grado, ESPOL, 2002.

[50] Canning Conveyor; Material Handling Solutions [www.canningconveyor.co](http://www.canningconveyor.co)

[51] Jorge H. Botero, Milton O. Valentín, Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y Posibles usos como materia prima en Puerto Rico;

[52] Juan Antonio Téjela, CONAMA 2012, Congreso Nacional del Medio Ambiente, Experiencias en España del caucho de los neumáticos fuera de uso en carreteras.

[53] Félix A. López, Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso; Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM). CSIC

[54] Carmelo Daidone, Obtención de energía a partir de los residuos, La experiencia de la fábrica de Holcim en Lorca, Noviembre 2008.

[55] Baca, Gabriel. Evaluación de Proyectos. 4ta Edition. McGraw-Hill, 2001