

Tesis
SIG



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

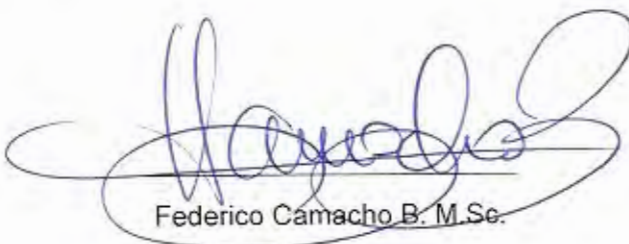
TRIBUNAL DE SUSTENTACION



Ing. Jorge Duque R.

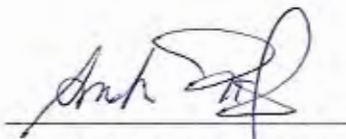
DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE



Federico Camacho B. M.Sc.

DIRECTOR



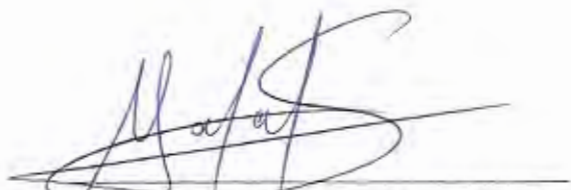
Ing. Andrés Rigail Cedeño

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

AEADE:	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.
ASTM:	American Society of Testing Materials
CEMA:	Conveyor Equipment Manufacturers Association
CEN:	Comité Europeo de Normalización.
ETRA :	European Tyre Recycling Association
F.O.B:	Free on Board.
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
MIPRO:	Ministerio de Industria y Productividad.
NFU:	Neumáticos Fuera de Uso.
NFPA:	National Fire Protection Association.
TDA:	Tyre Derived Agregate
TDF:	Tyre Derived Fuel
T.I.R:	Tasa Interna de Retorno
VAN:	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 ² :	Metros Cuadrados
α :	Angulo de reposo.
β :	Angulo de sobrecarga.
kCal:	Kilocaloría.
MJ:	Mega joule.
ft:	Pie.

ÍNDICE DE FIGURAS

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

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

Figura 3. 1. Fotos de dos tramos de carretera con asfalto convencional y asfalto-caucho.	201
Figura 3. 2. Elementos principales en canchas de hierba artificial.	206
Figura 3. 3. Losetas de seguridad en varios colores.....	207
Figura 3. 4. Colocación de Suelos de seguridad.....	208
Figura 3. 5. 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 ¹	47	45	Estructural - Deformación
NEGRO DE HUMO ²	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 ³	7,5	5	-----
MATERIALES BASADOS EN CARBÓN⁴	74	67	-----
PESO APROXIMADO (kg)	9,9	52,7	

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 realizará 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 (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° , 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° 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.

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.

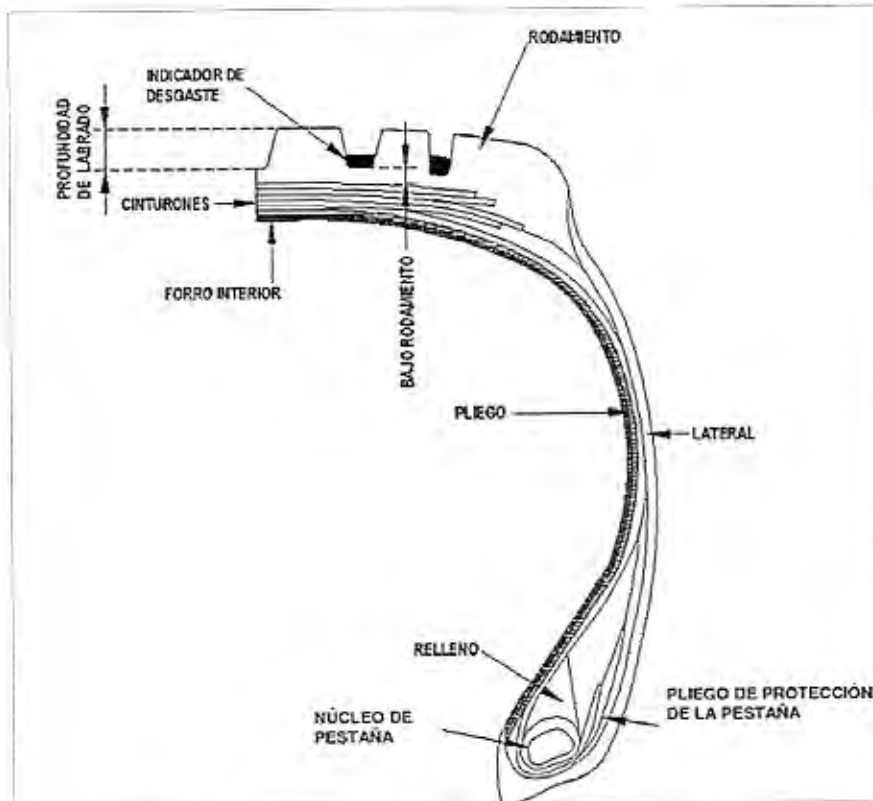


Figura 1. 3. Corte de sección de un neumático radial. [3].

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.

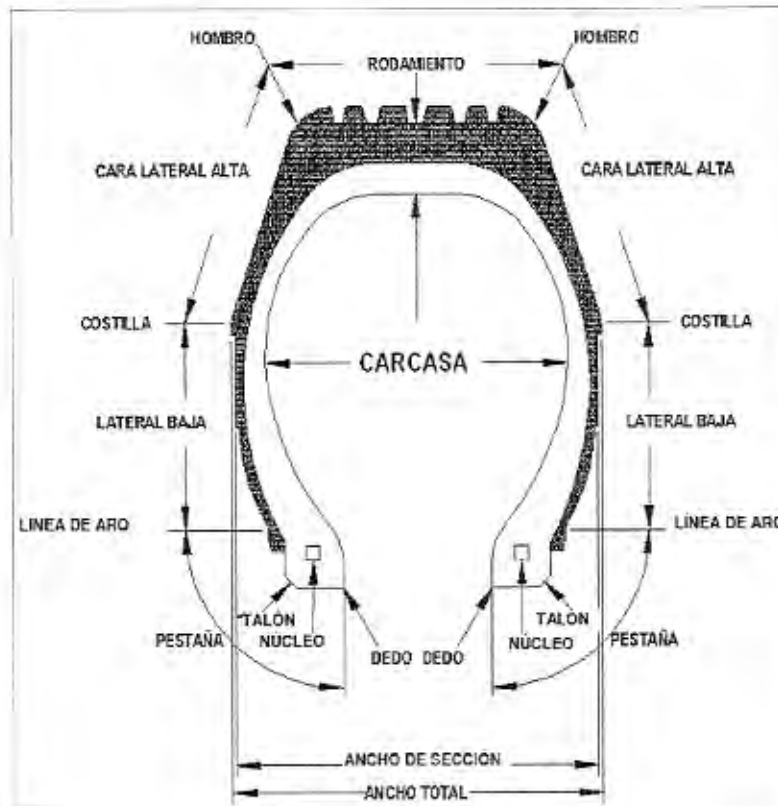


Figura 1. 4. Corte de sección de un neumático convencional. [3]

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

Tipo de Neumático	Ancho de Sección Max (mm)	Diámetro Exterior Max. (mm)
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/m³. [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/m³, mientras que para el mismo material compactado se han obtenido densidades entre 730 y 570kg/m³. [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/m³. [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/m³ 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/m³ [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 CO₂, 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 frío 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 frío 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 μm . 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.-

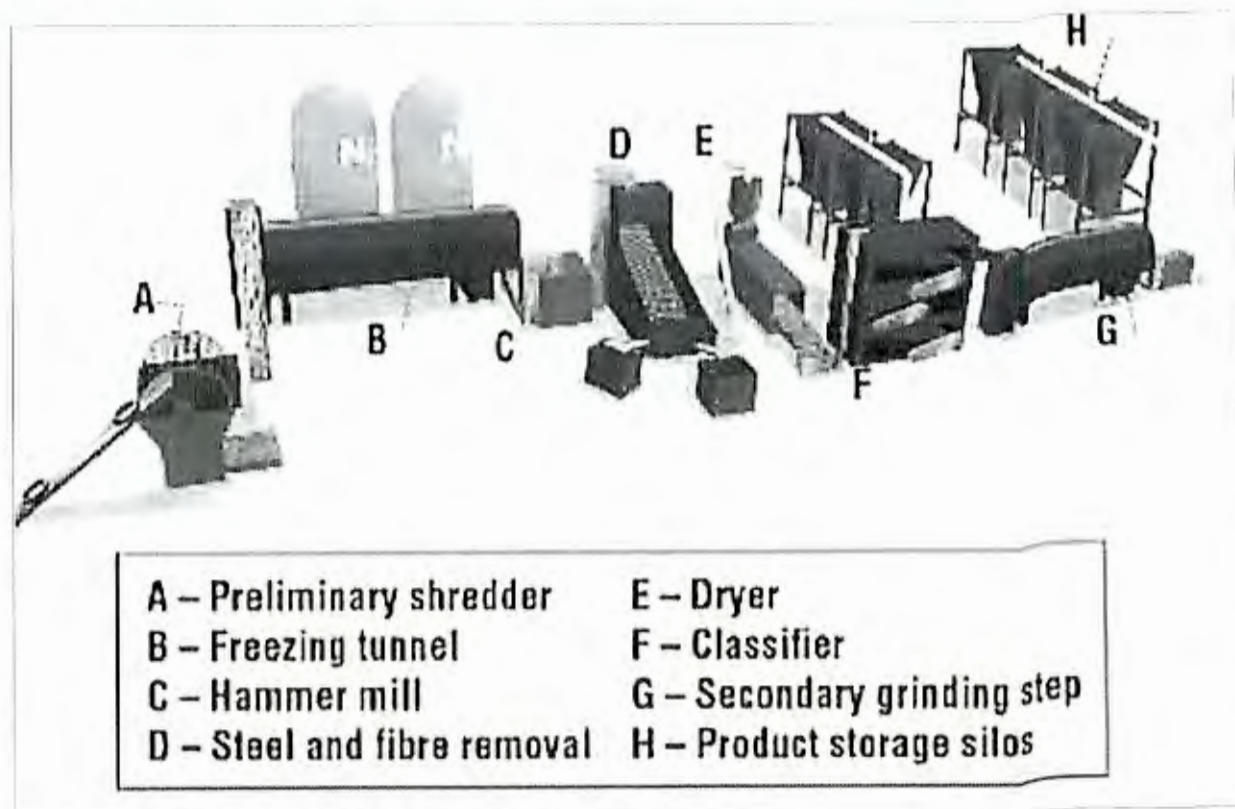
Los chips congelados son transportados hacia un molino de impacto donde son procesados; en este molino el caucho y los demás elementos se rompen en una gama de partículas con diferentes tamaños.

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.

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
TOTAL		391		390		284	

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.

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

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].

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

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

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
Neumáticos fuera de uso en un año 2012 ecuador (38%)*	1.296.971	65.353	438.213	780.225	521.998	47.240	3.150.000
Neumáticos fuera de uso en un año. 2012 guayas (38%)*	374.497	10.902	99.514	172.655	118.073	13.877	789.518

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
NFU menos neumáticos reencauchados a nivel nacional en 2012	2.584.622	256.318	2.840.940
NFU menos neumáticos reencauchados en guayas en 2012	663.648	48.605	712.253

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	—
TONELADAS PROMEDIO DE NFU EN UN AÑO (2012) ECUADOR	25.588	13.508	39.096
TONELADAS PROMEDIO DE NFU EN UN AÑO (2012) EN GUAYAS	6.570	2.561	9.132
<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>
TOTAL DESECHADO MAS REENCAUCHADO A NIVEL NACIONAL			57.325

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.

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.

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE CAUCHO NATURAL Y SINTÉTICO AÑO 2013			
NANDINA	DESCRIPCION	PESO (t)	FOB (MILES USD)
IMPORTACIONES AÑO 2013			
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
EXPORTACIONES AÑO 2013			
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)

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.

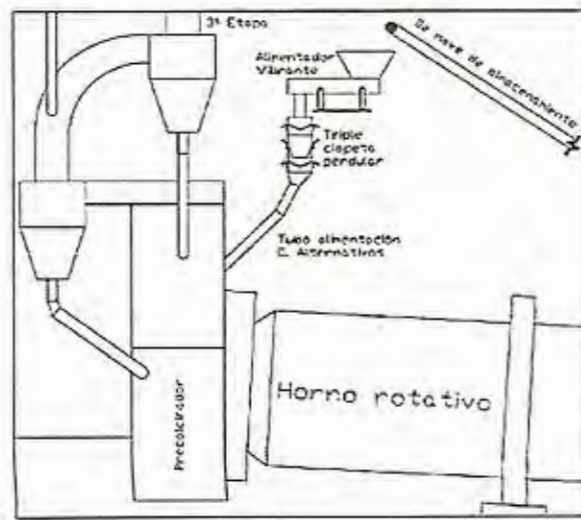


Figura 1. 7. Esquema del Sistema de Inyección en el Precalcinador de Clinker [29]

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_x 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 ³	60	60
mg/m ³ de NOx	1180	800
mg/m ³ de SOx	500	500
mg/m ³ de COx	985	948
mg/m ³ de cloro y flúor	1,13	1
mg/m ³ de VOC	129	68
mg/m ³ 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/m² 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

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].

- 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.

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.

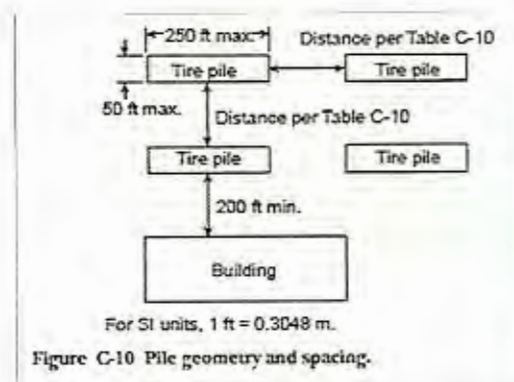


Figura 2. 3. Geometría de las pilas de NFU y la separación [20].

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.

transportador hacia la parte superior de una separador de materiales.

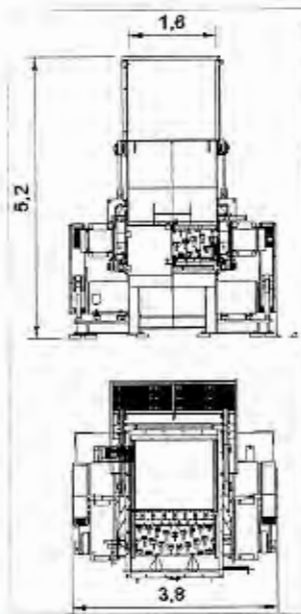


Figura 2. 5. Triturador de Neumáticos enteros. [40]

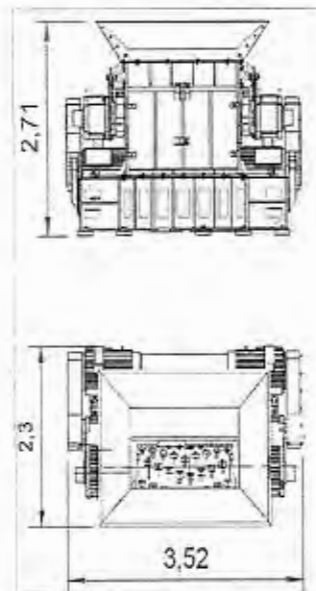


Figura 2. 6. Triturador secundario [40].

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

- 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.

***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 propileno dieno) 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

(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

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%

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.

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



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.

GRUPO A.- TRITURADOR PRINCIPAL DE UN SOLO EJE.				
Fabricante	Procedencia	Capacidad (t/h)	Potencia (kW)	Relación (kW/t/h)
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

- 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. 13. ESPECIFICACIONES DEL TRITURADOR
SECUNDARIO.**

Descripción	
ZTTS 1500 ZERMA Single-shaft Shredder Type ZTTS 1500	
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	
GSH 800/1200-H9-3 (1st) ZERMA Heavy duty Granulator Type GSH 800/1200-H9-3	
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).

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 descargar su producto hacia una banda y esta descargará 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° . 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].

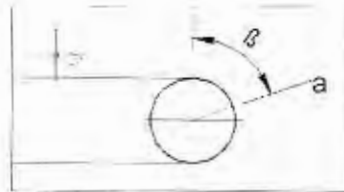


Figura 2. 17. Punto de fuga del Material de la banda.

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° y 70° , 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.

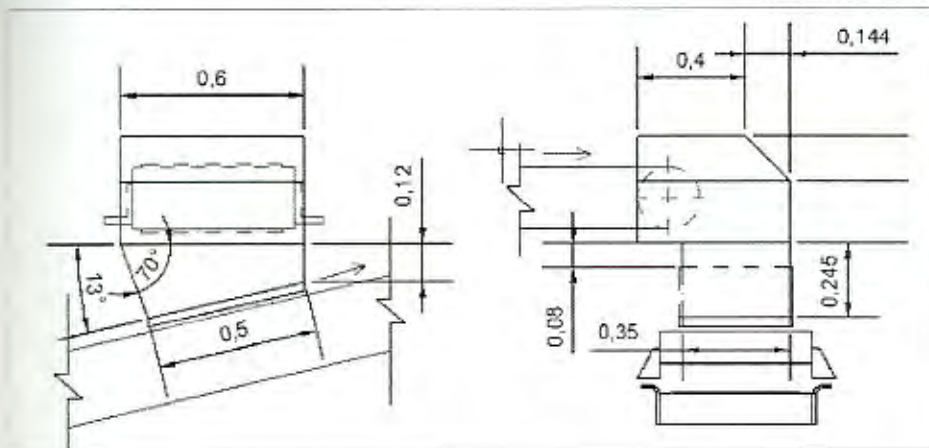


Figura 2. 18. Dimensiones principales de tolva.

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.

ρ =densidad aparente.

θ =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.

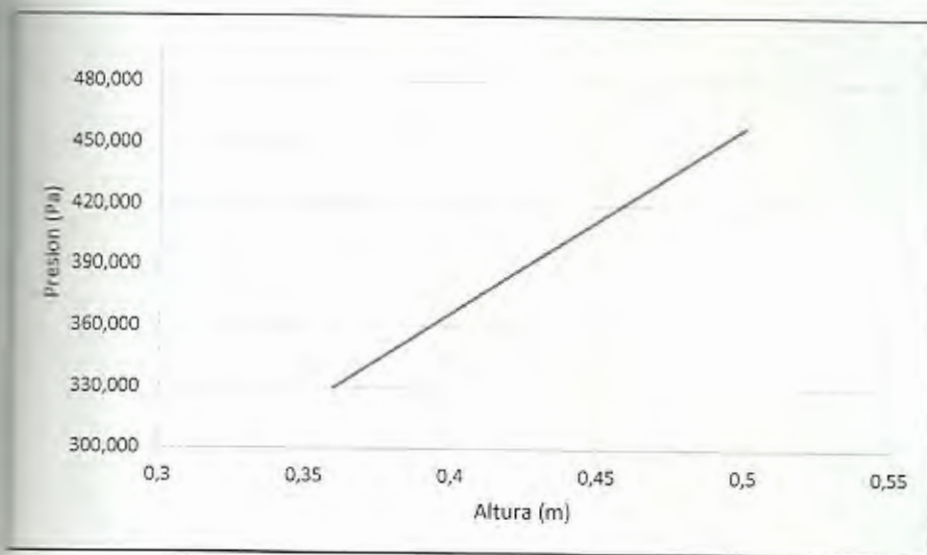


Figura 2. 19. Presión de impacto cara de tolva.

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.

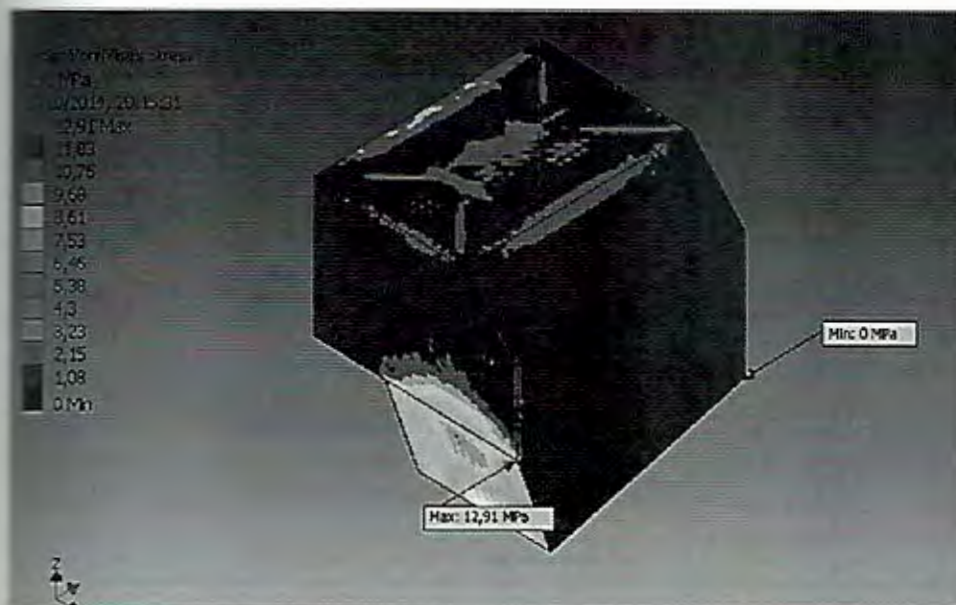


Figura 2. 20.Esfuerzo Resultante en Tolva de Alimentación.

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/m³.
- 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].

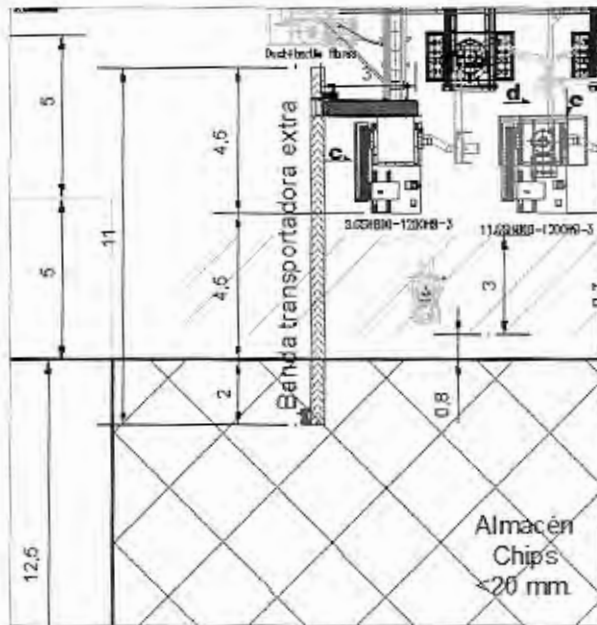


Figura 2. 21. Vista Planta de la trayectoria de la Banda extra.

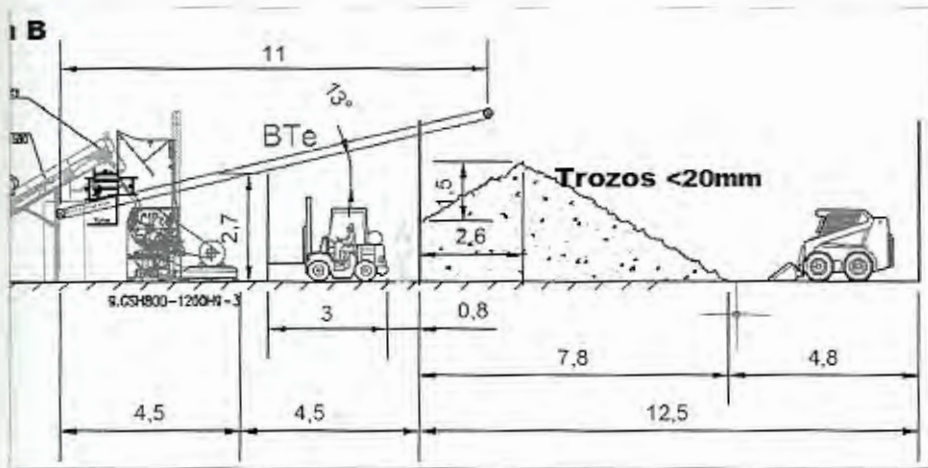


Figura 2. 22. Vista lateral de la banda extra.

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

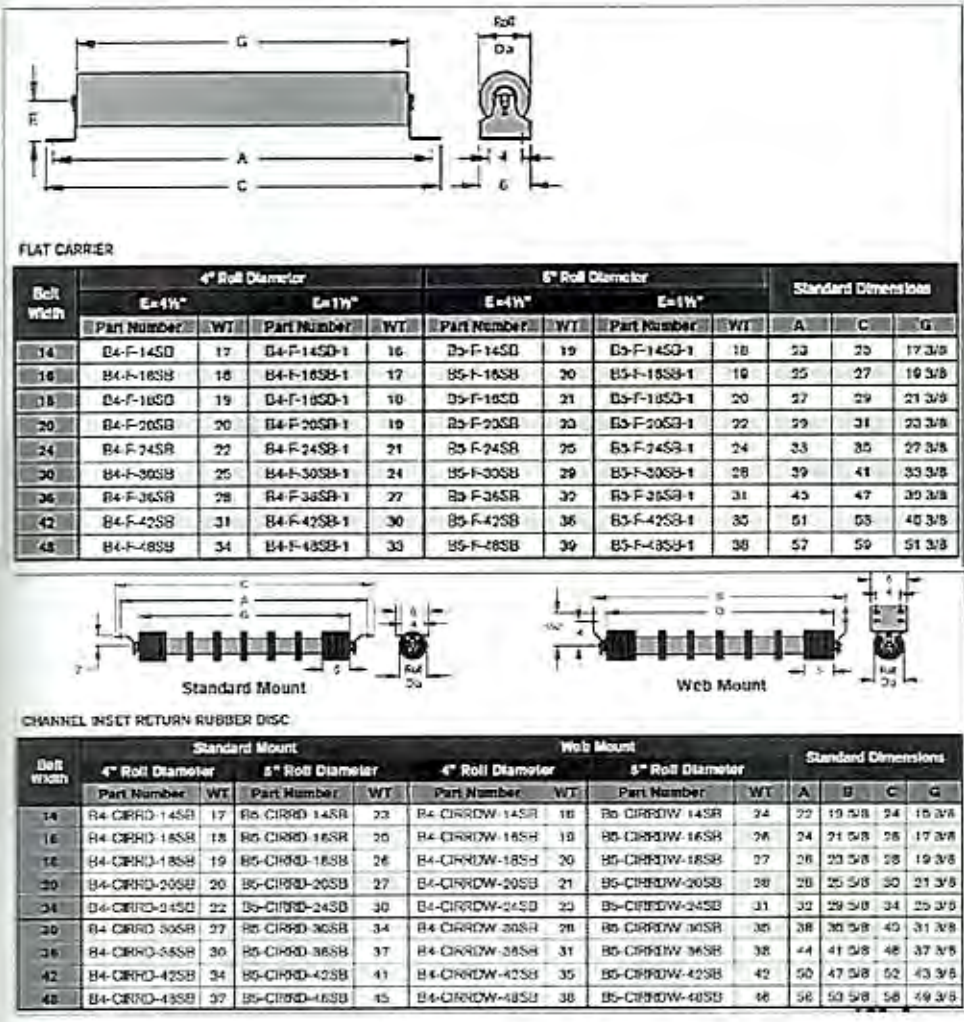


Figura 2. 25. Características de Rodillos CEMA B [21]

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:

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

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/s²)

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:

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

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° y en nuestro diseño se tiene una pendiente de 13° ; 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° 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].

La carga del material por metro de la banda es:

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

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

$$Cdr = \frac{m * T1}{g(6 * S1)}$$

Donde:

m: desalineamiento de los rodillos (0.003 m.)

T1: Tensión en el lado apretado (1275.44 N)

g: Gravedad (9.8 m/s²).

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

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

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

$$Crs = [(8.8 + 1 * 1.7) * 1.5] + 0.044$$

$$Crs = 15.75 \text{ kg} = 34.7 \text{ lbs.}$$

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

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

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:

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

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/m³
- 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 ³)	Volumen de diseño (m ³)
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 m³ [36].

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 kg/m^3 , y 500 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 m^3 , mientras que 1 tonelada de polvo de caucho ocupa 0.86 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 observar el área ocupada de los big bag si estos se almacenan en una sola final 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 ³)	Presentación para la venta	# Big-Bag	Área Ocupada (m ²)
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 m², mientras que el área proyectada para el big-bag con polvo de caucho es de 27 m². 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.

- 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].

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:



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

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.

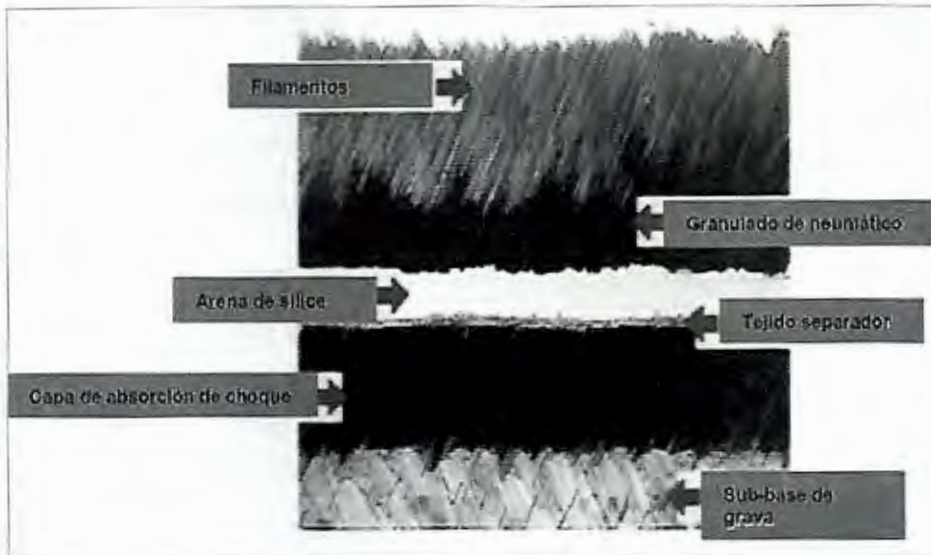


Figura 3. 2.Elementos principales en canchas de hierba artificial. [44]

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.**

Combustible	PCS (MJ/kg)
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

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.

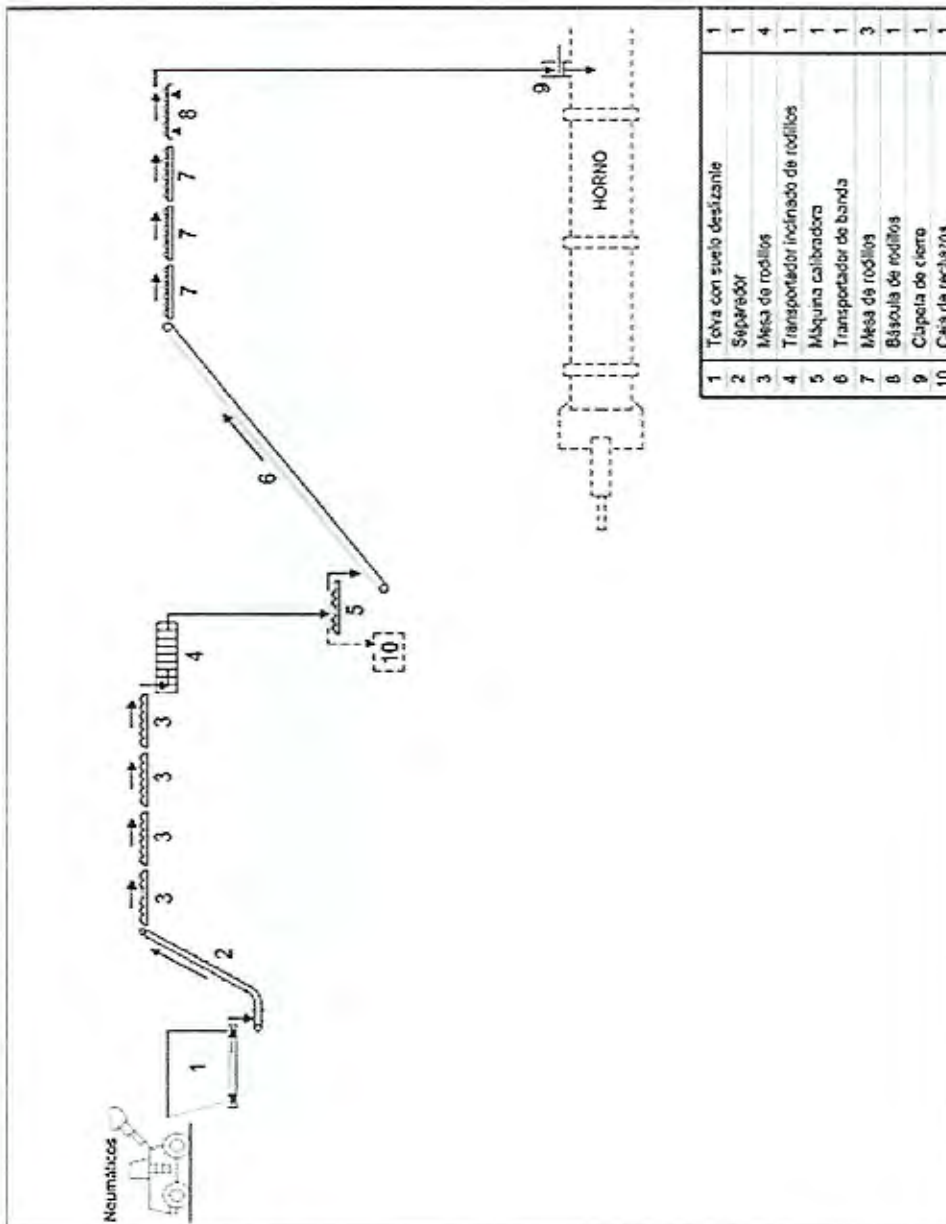


Figura 3. 5. Esquema de tecnología Mid-Kiln, para uso de NFU enteros como combustible. [54]

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/m³ [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
	Subtotal F.O.B. Shanghai	\$ 1.105.725,0
	Flete	\$ 22.500,0
	Advalorem	\$ -
	I.V.A. (12%)	\$ 135.387,0
	Fodinfra (0,5%)	\$ 5.641,1
	TOTAL USD	\$ 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
Total		\$ 45.000

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
total terrenos y edificios		\$ 1.125.000,0

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
total equipos de oficina y ventas		\$ 68.060,0

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
Total Activos Diferidos.	\$ 169.789,5

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
Subtotal Activos Fijos.	\$ 2.507.313,1
Activos Diferidos.	\$ 169.789,5
Subtotal Inversión Inicial	\$ 2.677.102,6
5% - 10% Imprevistos.	\$ 200.782,7
TOTAL INVERSIÓN INICIAL.	\$ 2.877.885,3

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.

Activo circulante	
Descripción	Costo.
Valores e inversiones	\$ 12.700,14
Inventarios	\$ 19.723,54
Cuentas por cobrar	\$ 47.334,49
total Activo Circulante	\$ 79.758,17
Pasivo Circulante	\$ 35.448,08
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 44.310,09

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. 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.

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
TMAR global			0.187

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
Toneladas Acero producido	774	813	853	896	941
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
Ingresos	\$ 1.831.334	\$ 1.999.817	\$ 2.183.800	\$ 2.384.710	\$ 2.604.103

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

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.*

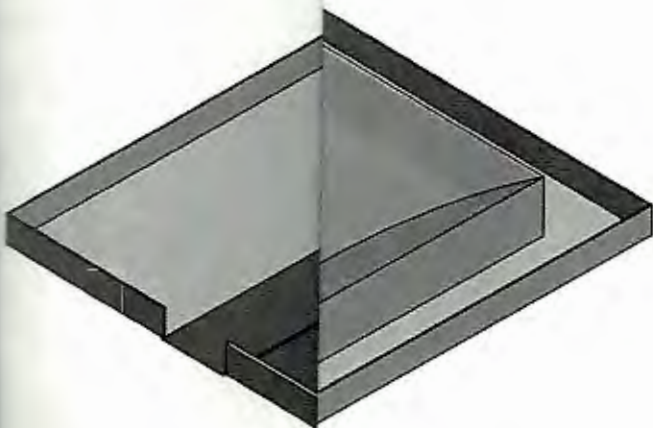
Realizar un análisis de mercado más detallado de tal forma que pueda obtener cifras más precisas. Así mismo se debería realizar un análisis financiero antes de la implementación del proyecto.

Realizar el diseño completo del sistema contra incendios para la planta podría formar parte de un nuevo tema como Proyecto de Graduación.

ALMACENAMIENTO DE NFU

ZONA DE DESCARGA

ADMINISTRACION



GARITA

PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE BIG-BAGS

PASE

ESPESOR DE 20 mm

D

C

B

A

L	Facultad: FIMCP	
	Carrera: Ingeniería Mecánica	
Enero 2015	Tema: Diseño de una Planta Recicladora de Neumaticos para la Idustria Ecuatoriana	
F. Camacho	Titulo: Planta General en 3D	
Aprobado por:	Escala: 1:500	Lámina: 1

PLANOS



ZONA DE AL

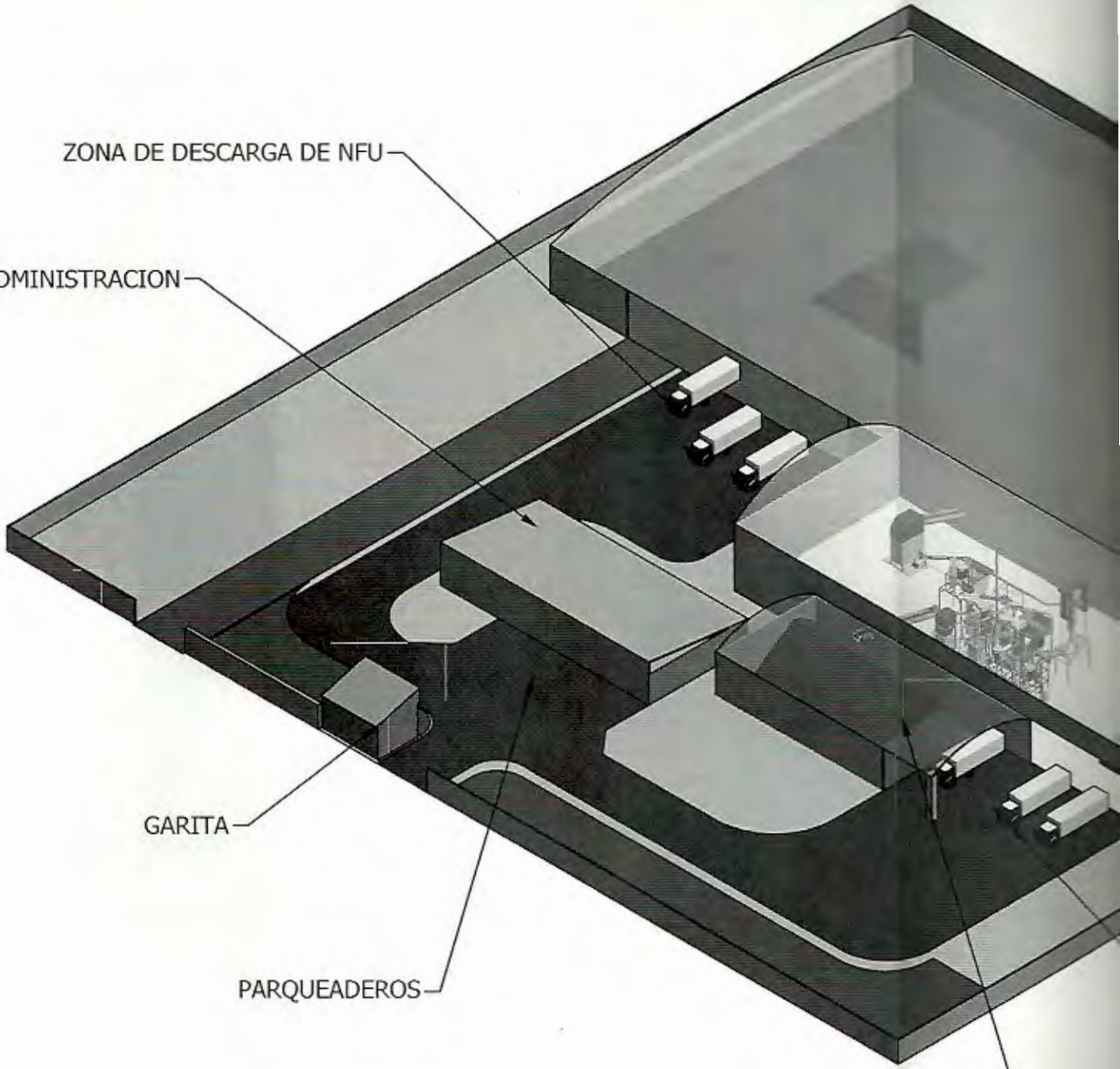
ZONA DE DESCARGA DE NFU

OFICINAS DE ADMINISTRACION

GARITA

PARQUEADEROS

ZONA D



6

1

5

1

4



3

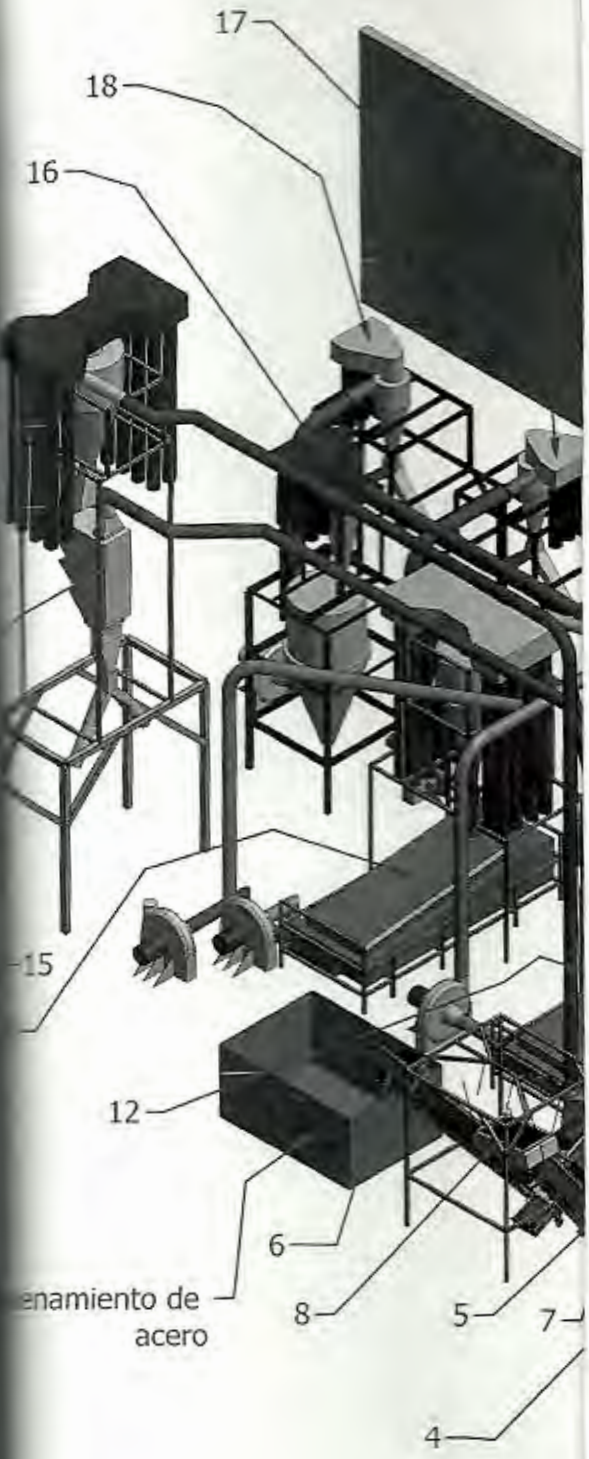
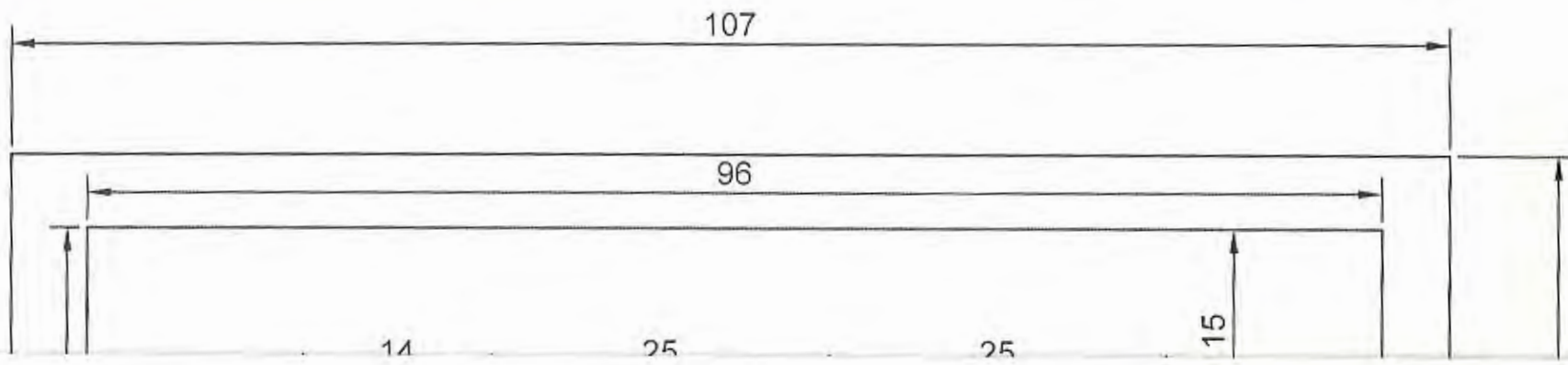


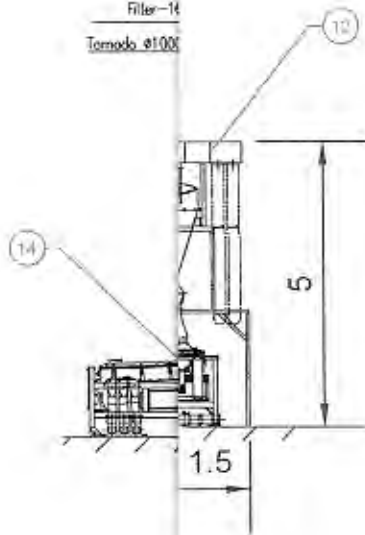
TABLE	
Item	Descripcion
1	BT1
2	Triturador principal
3	BT2
4	Triturador Secundario
5	BT3
6	BT4 (para metal)
7	BT5
8	Separador magnetico tipo banda
9	Polea de cabeza magnetica
10	BTe (Banda diseñada para transportar caucho de 20 mm)
11	Granulador Principal
12	Mesa Vibratoria 1
13	Granulador Secundario
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

L	Facultad:	FIMCP
	Carrera:	Ingeniería Mecánica
Enero 2015	Tema:	Diseño de una Planta Recicladora de Neumaticos para la Idustria Ecuatoriana
F. Camacho	Titulo:	Distribución de Equipos de Producción en 3D
Aprobado por:	Escala:	1:100
	Lámina:	2

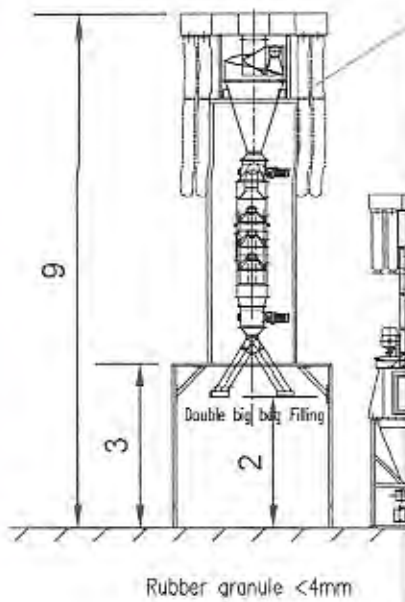


ESPOL			Facultad: FIMCP		
			Carrera: INGENIERÍA MECÁNICA		
Fecha:	Enero 2015	Enero 2015	Tema: Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana		
Nombre:	M. Siguenza	F. Camacho	Título: Distribución General de Planta		
	Dibujado por:	Aprobado por:	Escala: 1:500	Unidades: metros	Lamina: 3

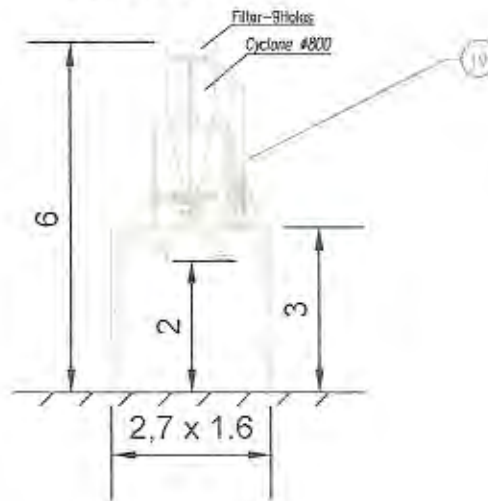
Filter-14
Tomado #1000



Dirección G



Dirección J



1.- Banda transportadora de NFU enteros. (BT1)

2.- Triturador Principal

3.- Banda transportadora de trozos <150 mm (BT2).

4.- Triturador secundario

5.- Bandi triturador

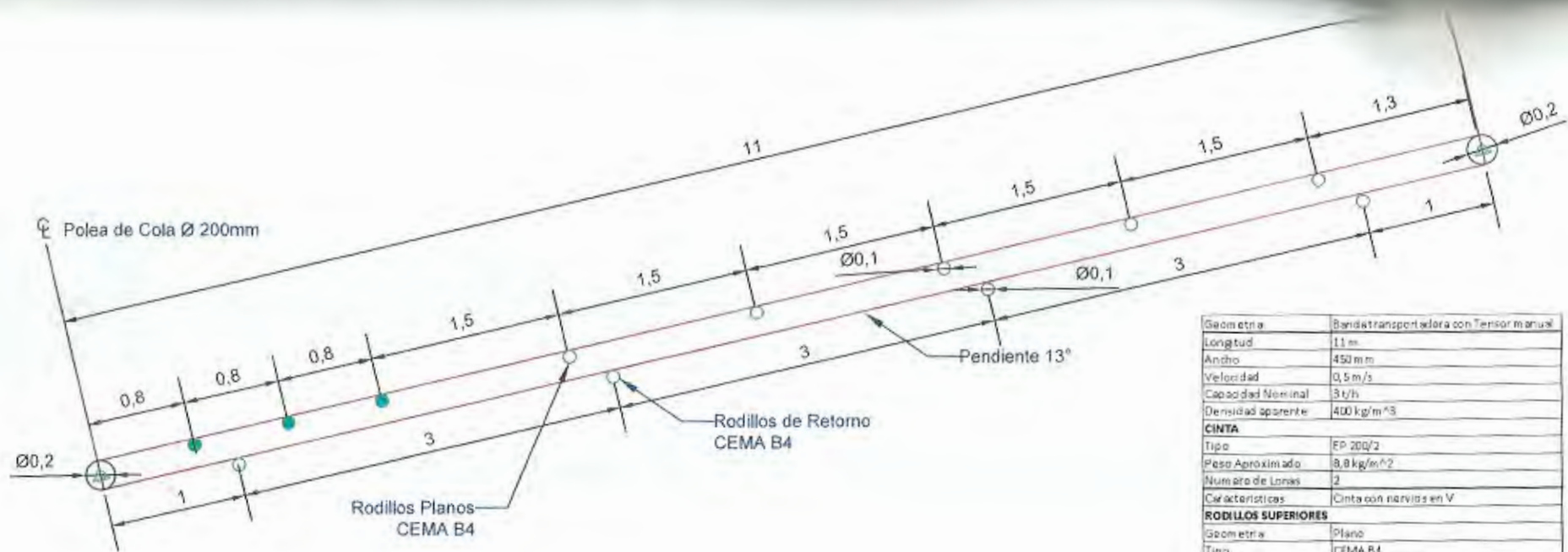
6.- Bandi (BT4)

7.- Bandi a granul

8.- Sepa

9.- Polea

	Facultad:	FIMCP	
	Carrera:	INGENIERÍA MECÁNICA	
Enero 2015	Tema:	Diseño de una Planta Recicladora de Neumáticos para la Industria Ecuatoriana	
F. Camacho	Título:	Equipos de Producción 2/2	
Aprobado por:	Escala: 1:125	Unidades: metros	Lamina: 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 ³
CINTA	
Tipo	EP 200/2
Peso Aproximado	8,8 kg/m ²
Numero de Lonjas	2
Características	Cinta con nervios en V
RODILLOS SUPERIORES	
Geometría	Plano
Tipo	CEMA B4
Diametro	4 pulgadas
Separación	1,500 mm
Cantidad	0
RODILLOS INFERIORES	
Geometría	Plano
Tipo	CEMA B4
Separación	3,000 mm
Cantidad	4

<h1>ESPOL</h1>			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: Características Principales de Banda Transportadora extra		
	Dibujado por:	Aprobado por:	Escala: 1:50	Unidades: metros	Lamina: 1

ANEXOS.

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

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
Total Anual.								40.590,8

- 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
Total Anual.								37.735,0

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
Total Sueldos Administrativos								\$ 24.096,2

- Suministros de oficina

Descripción	Cantidad anual	Costo anual
Insumos varios	1	2500
Total		\$ 2.500,00

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
							Total	\$ 34.267,60

- 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
total costos de comercialización		\$ 50.400,00

- Costos totales de ventas.

Descripción	Costos
Sueldos	\$ 34.267,60
Comercialización	\$ 50.400,00
Total	\$ 84.667,60
Depreciación Equipos de ventas	\$ 12.000,00
gran total	\$ 96.667,60

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ETRA (European Tyre Recycling Association)
[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]

[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]

[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.

[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

[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